

Raporty



Raport* o stanie polskiej biotechnologii, 1995

Andrzej Zabża¹

Stanisław Ułaszewski²

¹Instytut Chemii Organicznej,
Biochemii i Biotechnologii
Politechnika Wrocławska
Wrocław

²Instytut Mikrobiologii
Uniwersytet Wrocławski
Wrocław

Od Autorów

Biotechnologia jest niezwykle rozległym obszarem zainteresowań i działalności człowieka. Mieszczą się w nim rozwiązania technologiczne, bez których nie byłoby postępu cywilizacyjnego, mierzonego w tym przypadku nawet w skali wieków. Jest to również pewien sposób obserwacji i interpretacji procesów życiowych widzianych tak w skali makro, jak i pojedynczej komórki.

Patrzanie na ten rozległy obszar, jego

*Zawarte w „Raporcie” omówienie stanu biotechnologii w Polsce zostało opracowane przez prof. dr. hab. Andrzeja Zabżę (wraz z aktywnym współudziałem prof. S. Ułaszewskiego), na podstawie ekspertyzy autorstwa profesorów: H. Czembora, M. Fikus, E. Galasa, A.B. Legockiego, J. Łobarzewskiego, S. Malpieszego, R. Pohoreckiego, A. Polanowskiego, Cz. Radzikowskiego, W. Steca, T. Twardowskiego, K. L. Wierzychowskiego, T. Winnickiego, L. Zwierzchowskiego. Pełne teksty Ekspertyzy dostępne są u prof. A. Zabży. W opracowaniu wykorzystano również raporty opublikowane wcześniej w „Biotechnologii”.

opis, ocena dokonań, oraz próby syntezy i prognozowania, uwarunkowane są w dużym stopniu osobistym bagażem doświadczeń i ukierunkowań wyniesionych z uczelni i własnych fascynacji obserwatora i autora.

Dlatego też w opracowaniu tym, mimo starań ujęcia w nim opinii możliwie szerokiego grona osób odmiennych specjalności, działających w różnych dziedzinach biotechnologii, nie można było uniknąć pewnego spolaryzowania. W naszym przypadku jest to chemia produktów naturalnych (A. Z.), oraz genetyka i inżynieria genetyczna (S. U.).

W naszym głębokim przekonaniu przyroda dysponuje doskonałymi rozwiązaniami, które w sposób niemal idealny regulują współistnienie żywych organizmów. Ich znajomość, oraz umiejętność wykorzystania w organizacji życia na planecie Ziemia zwiększy naszą szansę na lepsze „dopasowanie” się do naturalnego środowiska i stworzenie możliwości egzystencji ciągle zwiększającej się populacji, pokonania plag i chorób, których pojawienie się nie zawsze można przewidzieć. Właśnie biotechnologia ma ambicję takich dokonań.

1. Wprowadzenie

Biotechnologia stała się w ostatnich dziesięcioleciach jednym z najbardziej intensywnie rozwijających się obszarów nauki i technologii. Zaspokaja ona bowiem nie tylko ciekawość intelektualną badaczy zajmujących się zagadkami funkcjonowania żywych organizmów, ale przede wszystkim wskazuje najbardziej rozsądne i obiecujące sposoby rozwiązania niezwykle trudnych i istotnych problemów, przed którymi stanęła ludzkość u progu XXI w. Są to problemy wyżywienia, zanieczyszczenia naturalnego środowiska, poszukiwania sposobów walki z chorobami (ciągle nie rozwiązany problem zwalczania nowotworów, AIDS i nowymi chorobami mogącymi pojawić się w przyszłości), poszukiwaniem nowych źródeł energii, itp. Biotechnologia należy też do najstarszych technologii wykorzystywanych w sposób świadomy przez człowieka. Na każdym etapie rozwoju cywilizacyjnego, metody którymi się w niej posługiwano, stanowiły istotny czynnik postępu.

Wykorzystanie żywych organizmów (lub ich części) do produkcji lub przetwarzania innych substancji stanowi w biotechnologii (już od jej zarania) podstawowy przedmiot zainteresowania. Początkowo wykorzystywano właściwości wybranych organizmów, bez większej ingerencji w sam proces wytwarzania (lub przetwarzania). W kolejnych etapach rozwoju zaczęto prowadzić wstępną selekcję organizmów, dobierając je na podstawie możliwości „produkcyjnych” organizmu, starając się je modyfikować i dalej ulepszać. Obecnie rozszyfrowano mechanizm funkcjonowania organizmu, a także poznano sposoby sterowania tym procesem, związane z przenoszeniem informacji genetycznej z jednego do drugiego organizmu, umożliwiającym pełną kontrolę nad procesem biosyntezy i biotransformacji.

Bogate tradycje, wielowiekowa historia biotechnologii i jej specyfika sprawiają, że wykorzystuje się w niej szeroki zakres różnych metodologii i technik

specyficznych dla poszczególnych dyscyplin naukowych. Metodologie biologiczne stanowią tu niewątpliwie punkt wyjścia. Niebagatelną rolę odgrywają techniki biochemiczne. W ostatnich latach nowy i istotny element postępu wniosła chemia organiczna. Wykorzystując możliwości wynikające z najnowszych osiągnięć w wielu działach fizyki, zwłaszcza w usprawnieniu metod zachowawczej izolacji i badań strukturalnych, włączono się efektywniej w rozwiązywanie bardziej złożonych problemów dotyczących funkcjonowania żywych organizmów. Precyzyjny język chemiczny, poprzez który tłumaczy się mechanizmy nawet bardzo złożonych procesów chemicznych i biochemicznych oraz wyjaśnia się stosunki przestrzenne skomplikowanych układów makrocząsteczkowych, stanowi ważny czynnik integrujący biotechnologię z nowoczesną biologią i fizyką.

Dlatego też jednym z ważniejszych czynników decydujących o prawidłowym, tj. możliwie szybkim i ekonomicznie uzasadnionym rozwoju biotechnologii jest dobrze zorganizowana współpraca chemików, biochemików i biologów. W historii nauki, w ważnych i obszernych dyscyplinach: biologii i chemii, stworzono dwie odrębne „kultury” badawcze (1,2). Historyczne korzenie obu tych dyscyplin przeplatały się jednak wzajemnie, a występujące niekiedy konflikty wynikały przede wszystkim z różnego sposobu traktowania materiału badawczego. Wielcy chemicy działający w XIX w. dysponowali już dostatecznie precyzyjną aparaturą badawczo-pomiarową, aby w sposób jednoznaczny identyfikować substancje organiczne i ich właściwości (np. temperatura topnienia i wrzenia, skręcalność właściwa, współczynnik refrakcji, analiza elementarna, itp). Makromolekularne obiekty biologiczne nie mogły być w tamtych czasach definiowane w sposób jednoznaczny, obowiązujący w chemii (3).

W ciągu wielu lat swego rozwoju biologowie i chemicy często rywalizowali ze sobą w opracowaniu bardziej korzystnych technologii wytwarzania wielu ważnych w latach I wojny światowej substancji, jak np. acetonu, butanolu w produkcji materiałów wybuchowych, czy też izoprenu, istotnego substratu do produkcji syntetycznego kauczuku. Rywalizacja ta, jak też okresy wzajemnej inspiracji, wyznaczały poszczególne etapy rozwoju biotechnologii (4).

Jeszcze w latach pięćdziesiątych tylko nieliczni liderzy chemii organicznej interesowali się chemią peptydów czy białek. Powodem były przede wszystkim trudności w uzyskaniu chemicznie czystego materiału do badań, zbyt złożonej struktury, trudnej do określenia w oparciu na dostępnej wówczas aparaturze badawczej, oraz małej wydajności ich syntezy, a zwłaszcza ich izolacji. Również wiązanie amidowe, charakterystyczne dla tych połączeń, nie stanowiło wtedy dla chemików zbyt atrakcyjnego obiektu badawczego. Kwasy nukleinowe (RNA i DNA) i ich prekursorzy, prawdopodobnie z tych samych powodów, nie były też u samych początków ich rewelacyjnej kariery biologicznej, przedmiotem szczególnie zainteresowania chemików. Uważano je raczej za domenę biochemików i biologów molekularnych.

Jednakże, mimo ogromnych możliwości jakie mogą stanowić enzymy w prowadzeniu wysoce enancjosecyplicznych syntez, nie są one zbyt często wykorzystywane w praktyce chemicznej. David Samuel, w artykule (3) kryty-

kującym program nauczania chemii organicznej na uniwersytetach brytyjskich pisze: „Wielu wybitnych chemików organicznych, (...) wciąż jest zwolennikami koncepcji tzw. «elegancji» w syntezie, która zaleca wykorzystywanie nawet niezwykle trudnych reakcji i przejść chemicznych, aby w efekcie otrzymać produkt o określonej stereochemii, bez uciekania się jednak do użycia enzymów, które dałyby ten sam efekt, tylko w o wiele prostszy sposób”. Ten szkodliwy pogląd D. Samuel ilustruje sytuacją, w której studenci przeprowadzają w laboratorium skomplikowaną syntezę organiczną mając jedną rękę uwiązaną za plecami.

Warto też zauważyć, że w powszechnie cenionym Raporcie Pimentala (5), po przeprowadzeniu szczegółowej analizy osiągnięć w szerokim zakresie nauk chemicznych, nakreślone zostały priorytetowe kierunki badań w tym obszarze. Pimental na jednym z pierwszych miejsc swoich rekomendacji wymienił badania ujęte pod hasłem „Chemia procesów życiowych”, w których proponowany jest „(...) rozwój i wykorzystanie technik chemicznych do wyjaśnienia procesów życiowych na poziomie molekularnym i przygotowanie kadry młodych naukowców o szerokiej kompetencji tak w zakresie nauk chemicznych jak i biologicznych”. Głównym celem tych poczynań jest „(...) przyspieszenie transformacji jakościowych informacji biologicznych w techniki i substancje użyteczne w biotechnologii, medycynie, weterynarii i rolnictwie (...)”.

W roku 1973 Cohen i Boyer udoskonaliли metody technik rekombinacji DNA, tworząc podstawy świadomego wprowadzenia nowego materiału genetycznego do komórek drobnoustrojów, roślin i zwierząt. Termin „biotechnologia” nabiera nowego znaczenia. W latach trzydziestych oznaczał selekcjonowanie gatunków w hodowli roślin czy zwierząt, w latach sześćdziesiątych — głównie technologiczną hodowlę mikroorganizmów, a w latach siedemdziesiątych potocznie oznaczał określone techniki i świadome genetyczne manipulacje laboratoryjne. Inżynieria genetyczna nie przekreśliła osiągnięć wcześniejszych dokonań biotechnologii. Przeciwnie, przewiduje się dalsze konsekwentne wykorzystanie metod inżynierii genetycznej właśnie w tradycyjnych działach biotechnologii, zwłaszcza w tych, które w najwyższym stopniu decydują o rozwoju i poziomie życia społeczeństwa. W USA większe zainteresowanie biotechnologią datuje się dopiero od roku 1980, kiedy to właśnie inżynieria genetyczna i wypracowane na jej podstawie metodologie umożliwiły kolejny krok w jej rozwoju. Stało się to przyczyną używania tam określenia „biotechnologia” jako synonimu „inżynierii genetycznej” (6).

Dane ilustrujące prognozy rozwoju światowego rynku produktów biotechnologicznych w odniesieniu do kilku ważnych dziedzin gospodarki zestawiono w tab. 1 (7).

TABELA 1
 PROPONOWANY RYNEK PRODUKTÓW BIOTECHNOLOGICZNYCH
 (Wartości wyrażone w tys. dolarów podane są na poziomie producenta.
 Przewidywana inflacja 6-8% na rok)

Rynek	Rok		
	1985	1990	2000
środki ochrony zdrowia			
leki	-	3500	20 000-30 000
środki diagnostyczne	100	1500	5000
środki weterynaryjne	100	1500	5000
inne	-	75	50
produkcja chemikaliów			
chemikalia o charakterze specjalnym	-	500	2000-4000
chemikalia domowego użytku	-	-	1000
środki dla rolnictwa			
materiał chemiczny i biologiczny	20	500	2000
rośliny i nasiona	25	1500	5000-6000
doskonalenie hodowli zwierząt	20	500	1000
żywność i karma dla zwierząt			
środki wzbogacające żywność	200	1500	4000
środki zwiększające atrakcyjność produktów spożywczych	10	100	500
wyposażenie biotechnologiczne i systemy inżynieryjne	1500	4000	10 000
w sumie	1975	15 175	56 000-69 000

Liczby te dowodzą, że w żadnym kraju w którym poważnie myśli się o przyszłości nie można uniknąć inwestowania w rozwój biotechnologii. Tak jak wcześniej podano, biotechnologia to dziedzina o wybitnie interdyscyplinarnym charakterze. Zarówno kształcenie kadr naukowych przygotowanych do prowadzenia badań naukowych, jak i realizacja ich wyników w praktyce gospodarczej państwa, jest zadaniem trudnym, wymagającym nie tylko dużych nakładów finansowych, ale także odpowiedniej organizacji i współdziałania sfery naukowej z przemysłem.

Z racji naszego położenia geograficznego i stopniowego wiązania się z Europą Zachodnią, warto uważniej śledzić sposoby finansowania i koordynowania badań w zakresie biotechnologii prowadzonych w krajach Unii Europejskiej. Nie umniejszając rangi osiągnięć Stanów Zjednoczonych Ameryki Północnej i Japonii, wyniki badań uzyskane w Europie Zachodniej są równie imponujące. Staje się to widoczne chociażby przy porównaniu dat wpro-

dzenia na rynek pierwszych produktów biotechnologicznych przez firmy europejskie i amerykańskie (zestawienie).

ZESTAWIENIE
PRODUKTY BIOTECHNOLOGICZNE WPROWADZANE NA RYNEK AMERYKAŃSKI I EUROPEJSKI

Europa	USA
monoklonalny test ciążyowy (1980, Organon Teknika, NL)	rekombinowana ludzka insulina (1982, E. Lilly/Genetech)
szczepionki rec. DNA <i>E. coli</i> (1982, Intervet, NL)	rekombinowana ludzka somatotropina (1985, Genetech)
ludzka insulina (Biochemical) (1982, Novo Nordisk, DK)	rekombinowane szczepionki przeciwko pseudowścieklicznie (1986, Ortho)
rekombinowana amylaza (1983, Novo Nordisk, DK)	monoklonalny przeszczep nerkowy (1986, Ortho)
rekombinowany α -interferon (1985, Boehringer Ingelheim, D)	rekombinowane szczepionki przeciwko wirusowemu zapaleniu wątroby (1986, Merck/Chiron)
rekombinowane lipazy (1987, Novo Nordisk, DK)	rekombinowany aktywator plazminogenu (1987, Genetech)
rekombinowane chymozyny (1988, Gist-Brocades, NL)	rekombinowana erytropoetyna (1988, Amgen)
—	rekombinowana interleukina-2 (1989, Cetus)

W opinii uczonych amerykańskich osiągnięcia naukowe w USA nie zawsze są tam dostatecznie szybko wykorzystane w praktyce. Przykładowo: w USA opracowano teoretyczne podstawy zastosowania membran do separacji biomolekuł, jednakże ich szersze, praktyczne wykorzystanie, np. w izolacji enzymów i aminokwasów ze złożonych mieszanin, zrealizowano wcześniej w Niemczech i Japonii. Sytuację tę ilustruje ciągle większa liczba „sztucznych nerek” produkcji japońskiej znajdująca się w amerykańskich szpitalach. Amerykanie tłumaczą to zbyt niskimi, w porównaniu do krajów Europy Zachodniej czy Japonii, nakładami na badania w zakresie inżynierii biochemicznej.

Jednym z pierwszych, większych programów koordynujących badania w zakresie biotechnologii realizowanym w Europie Zachodniej był *Biomolecular Engineering Programme* — BEP (8). W latach 1982-1986 z budżetu Komitetu Biotechnologicznego EWG wynoszącego 50 mln ECU wydano 3,2 mln ECU na finansowanie 77 grantów. Kolejne programy to *Biotechnology Action*

Programme (BAP) i *Biotechnology, Research for Innovation, Development and Growth in Europee* (BRIDGE), których raporty z badań wykonanych w latach 1985-1989 są ogólnie dostępne. O ile podstawowym celem pierwszego programu (BEP) było kształcenie kadr w obszarze biotechnologii, to głównymi zadaniami BAP i BRIDGE, szczególnie w pierwszych latach ich realizacji, było:

a) stworzenie infrastruktury dla interdyscyplinarnych badań w obszarze biotechnologii we wszystkich krajach Wspólnoty Europejskiej.

b) usuwanie przeszkód, które uniemożliwiają szybkie wykorzystanie nowoczesnych metod wywodzących się z nowoczesnej biotechnologii przez przemysł, rolnictwo i inne działy gospodarki.

Trudno w sposób wyczerpujący przedstawić wszystkie szczegóły dotyczące obu tych programów, ale niektóre zasady ich funkcjonowania warte są chociaż krótkiej relacji dla wskazania dróg i sposobów tworzenia infrastruktury koniecznej dla rozwoju biotechnologii.

Do programu BAP w roku 1985 zgłoszono 1357 wniosków, z których wybrano 262 propozycje, i jako 2-4-letnie kontrakty umieszczono w 93 projektach badawczych, zaszeregowanych dalej do kilku grup tematycznych. Są to:

1. Obszar działalności ogólnej i wspomagającej:

a) bioinformatyka;

b) banki materiału biologicznego (doskonalenie technik przechowywania, identyfikacji i klasyfikacji materiału biologicznego).

2. Biotechnologia podstawowa:

a) inżynieria białka (w tym m.in konstrukcje bioreaktorów, stabilizacja enzymów w procesach technologicznych, nowe koncepcje katalizy enzymatycznej, chemiczne i genetyczne modyfikacje, konstrukcja sztucznych enzymów);

b) inżynieria genetyczna:

— mikroorganizmy: charakterystyka genowa, przenoszenie genów,

— rośliny: analiza struktury i regulacja genomów, transfer i klonowanie materiału genetycznego,

— mikroorganizmy i rośliny: oddziaływania symbiotyczne, wczesne wykrywanie genetycznych lub patologicznych modyfikacji roślin uprawnych,

— zwierzęta: zwierzęta domowe, klonowanie substancji ważnych dla zwierząt hodowlanych, klonowanie materiału genetycznego i jego ekspresja w komórkach zwierzęcych;

c) inżynieria komórkowa i kultury tkankowe *in vitro*;

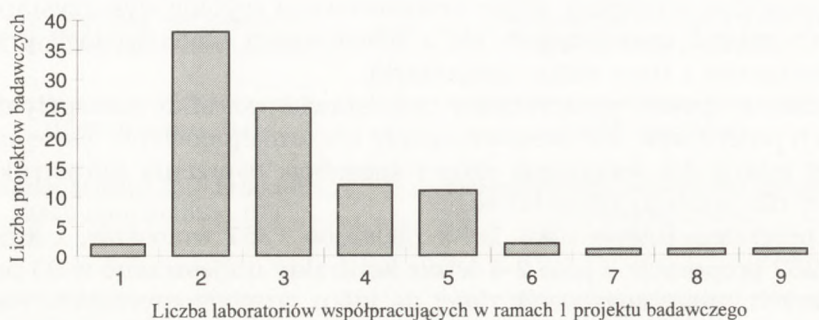
d) zagrożenia wynikające z zastosowania nowych metod w biotechnologii: opracowanie nowych metod wykrywania ujemnych efektów wprowadzania do środowiska organizmów o nowej konstrukcji genetycznej;

e) opracowanie nowych testów aktywności biologicznej i efektów toksykologicznych *in vitro*.

Prawie wszystkie 93 projekty miały charakter interdyscyplinarny i integrujący działania wielu zespołów (od 2 do 8 laboratoriów) z różnych krajów Unii Europejskiej (wykres 1).

WYKRES 1

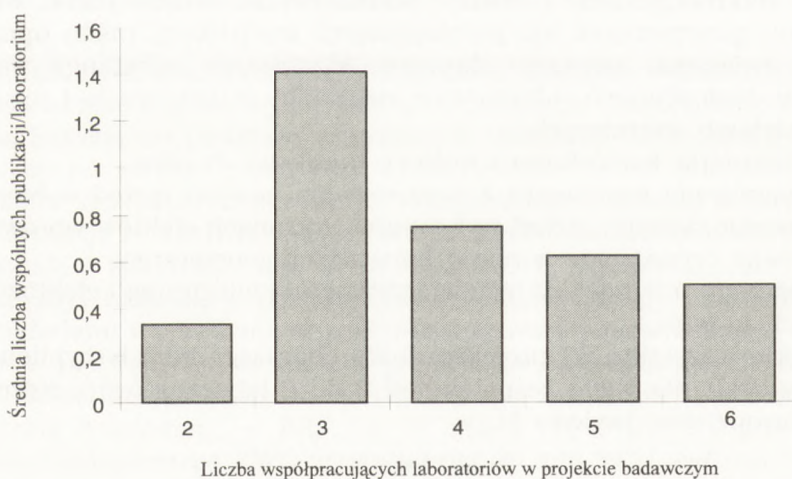
LICZBA LABORATORIÓW WSPÓLPRACUJĄCYCH W RAMACH 1 PROJEKTU BADAWCZEGO



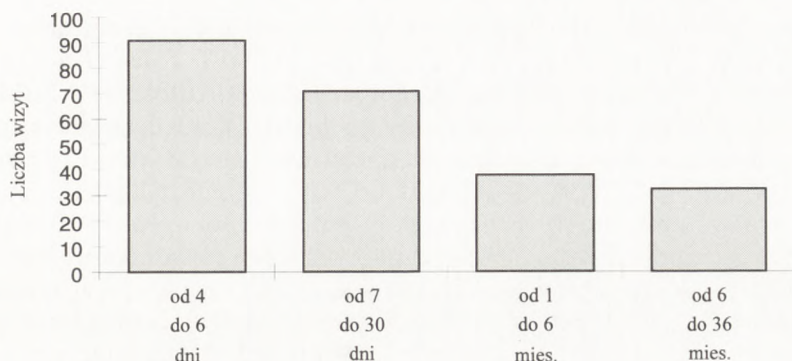
Większość zespołów badawczych (73%) zaangażowanych jest w rozwiązywanie wspólnych projektów, skupiających trzy lub więcej laboratoriów. Współpraca bilateralna ogranicza się do 37%, przy zupełnie znikomym udziale indywidualnych realizacji pełnego cyklu badawczego.

WYKRES 2

ZALEŻNOŚĆ EFEKTYWNOŚCI PUBLIKACYJNEJ OD KOOPERACJI



WYKRES 3
„WIZYTY NAUKOWE”



Efektywność wspólnie prowadzonych badań zilustrowana została na kolejnym wykresie na którym przedstawiono korelację pomiędzy średnią liczbą publikacji przypadających na pracowników w jednym laboratorium w zależności od liczby współpracujących ze sobą pracowni. Widać wyraźnie, że w ramach tego samego projektu badawczego konfiguracja „trójpartnerska” jest najbardziej efektywna (wykres 2).

Uznając interdyscyplinarny charakter badań w obszarze biotechnologii, w krajach Unii Europejskiej widzi się konieczność organizacji możliwie częstych spotkań naukowych, wizyt, oraz krótszych i dłuższych staży naukowych. Podjęto w tym celu wiele inicjatyw. Jest to m.in. organizacja *European Laboratories without Walls* (WLWW), która w roku 1989 obejmowała 35 europejskich instytucji badawczych. W latach 1985-1989, 232 naukowców spędziło we współpracujących ze sobą instytutach aż 640 osobomiesięcy (*man-months*). Na kolejnym wykresie przedstawiono, że preferowane były wyjazdy krótkoterminowe, 4-6-dniowe. 9 mln ECU przyznało BAP na 377 grantów, których zasadniczym celem była realizacja wizyt i spotkań naukowych (wykres 3).

Jakkolwiek w programie BAP główna uwaga skupiona była na pracach badawczych, nie angażujących się zbytnio w komercjalizację swoich osiągnięć, to w zamierzeniu były one ukierunkowane na rozwój rolnictwa i przemysłu. Udział przemysłu w BAP w latach 1985-1989 ograniczył się do szesnastu firm (jako oficjalnych zakładów kontraktujących badania), ale prawie 200 innych wyraziło zainteresowanie jednym lub kilkoma projektami badawczymi. Do realizacji transmisji „badania naukowe — przemysł” powołane zostały specjalne programy i rady programowe. Przykładem może być wspomniana

ny wcześniej program BRIDGE, czy IRDAC WP 5 (*Industrial Research and Development Advisory Committee*), które obok finansowania badań o szerokich możliwościach aplikacyjnych, swoją szczególną uwagę skupiają na wyselekcjonowanych, ukierunkowanych projektach badawczych [„T” (*target*) projects]. Jednakże zakres badań ujętych w projektach „T” jest również stosunkowo obszerny. Przykładem mogą być takie „T”-projekty jak: „Charakteryzacja lipaz dla celów przemysłowych, struktura trójwymiarowa i mechanizmy katalizy”, „Molekularna identyfikacja nowych genów roślin”, „Biotechnologia bakterii kwasu mlekowego”, czy „Sekwencjonowanie genomu drożdży”. Nakłady finansowe przyznane na realizację każdego projektu zależą oczywiście od jego złożoności, ale w zasadzie mieszczą się w granicach 1,0 – 3,0 mln ECU/rok/projekt.

Przedstawiony bardzo schematycznie stan biotechnologii i sposób jej kreacji w krajach Wspólnoty Europejskiej właśnie do roku 1990 wynika stąd, że Polska obecnie znajduje się na etapie tworzenia nowoczesnej biotechnologii.

Z biotechnologią mamy do czynienia w wielu miejscach w polskiej nauce. Wyniki badań uzyskanych w tej dziedzinie referowane są na sympozjach i zjazdach różnych organizacji i towarzystw naukowych (Biochemicznego, Chemicznego, Inżynierii Chemicznej, Chemii Spożywczej, itp.) Jest to z pewnością jeden z bardziej skutecznych sposobów propagacji problematyki biotechnologicznej i swoistej kreacji *lobby* osób zainteresowanych tym obszarem nauki. Jednakże z uwagi na wybitnie interdyscyplinarny charakter biotechnologii korzystniejsza, jak się wydaje, jest prezentacja i dyskusja naukowa prowadzona przy jednoczesnym udziale reprezentantów różnych dyscyplin współtworzących biotechnologię. Tak jak już to przedstawiono, szczególnie ważna jest współpraca chemików i biologów. Integracja tych dwóch dyscyplin jest skutecznie inspirowana w krajach Europy Zachodniej przez wiele interesujących inicjatyw. Niezależnie od integracji wynikającej z założeń programów Unii Europejskiej, we Francji w latach 1991 i 1992 powołano w tym celu specjalny zespół koordynacyjny (9). Jednym z podstawowych warunków uzyskania środków finansowych było wykazanie interdyscyplinarnego charakteru proponowanych badań, najczęściej przez wspólny udział laboratoriów chemicznych i biologicznych, niekoniecznie pracujących w tym samym ośrodku naukowym. W sumie zgłoszono aż 336 wniosków. Projekty badawcze dotyczyły m.in. badań nad mechanizmem reakcji biegnących w centrum aktywnym enzymu, czy też określenia budowy przestrzennej białek za pomocą metody magnetycznego rezonansu jądrowego, itp.

Podobne inicjatywy były podejmowane również w Polsce w latach 1986-1990. Realizowano wtedy sześć dużych programów badawczych skupiających znaczny potencjał naukowy (biologów, biochemików i chemików), które koncentrowały się na ważnych celach biotechnologicznych. Były to:

1. Molekularne Podstawy Biotechnologii — program (CPBR) koordynowany przez Instytut Biochemii i Biofizyki PAN w Warszawie (prof. K. L. Wierzchowski).

2. Molekularna Biologia i Inżynieria Genetyczna Roślin — program (CPBP) koordynowany przez Instytut Biochemii Akademii Rolniczej w Poznaniu (prof. J. Pawelkiewicz).

3. Doskonalenie Procesów Biotechnologicznych — program (CPBP) koordynowany przez Instytut Biochemii Technicznej Politechniki Łódzkiej (prof. E. Galas).

4. Aktywność Drobnoustrojów, ich wykorzystanie i zwalczanie, program (CPBP) koordynowany przez Uniwersytet Łódzki (prof. K. Kotelko).

5. Biotechnologie w Przemśle Chemicznym — program (CPBR) koordynowany przez Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Biotechnologii (obecnie Instytut Biotechnologii i Antybiotyków) w Warszawie (dr Z. Żukowski).

6. Biotechnologia w Rolnictwie i Przemśle Spożywczym — program (CPBR) koordynowany przez Instytut Przemysłu Fermentacyjnego (obecnie Instytut Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego) w Warszawie (prof. W. Rzędowski).

Osiągnięcia naukowe, a także wdrożeniowe tych programów są bardzo obszerne i przekraczające możliwości zamieszczenia ich w jednym zwięzłym „Raporcie”. Przedstawione one zostały w „Raportach Końcowych Programów” i są dostępne u poszczególnych koordynatorów.

Niewymiernym, ale równie ważnym osiągnięciem tych sześciu obszernych „Programów” były początki interdyscyplinarnej integracji wielu zespołów w nich współuczestniczących. Czynnikiem integrującym były nie tylko formalne naukowe sesje sprawozdawcze, ale przede wszystkim bezpośrednie kontakty personalne i wynikająca z nich możliwość wzajemnej pomocy w przekazywaniu konkretnych wskazówek metodologicznych, inspiracja badań uzupełniających, np. w syntezie określonych związków chemicznych, wykonywaniu pomiarów fizykochemicznych, czy odpowiednim zaplanowaniu testów biologicznych. Podejmowano też pierwsze wspólne bardziej ambitne interdyscyplinarne przedsięwzięcia badawcze.

Obecny system finansowania badań, zapewniający wprawdzie wsparcie finansowe dobrze pracującym zespołom, uniemożliwił w dużym stopniu kontynuację inicjatyw wspólnych, interdyscyplinarnych propozycji badawczych. Wprawdzie teoretycznie możliwe są „pakiety” projektów badawczych, to jednak w praktyce nie są one preferowane. W konsekwencji prowadzi to do izolacji i zamykania się zespołów w obrębie swojej własnej dyscypliny naukowej.

Poziom biotechnologii w Polsce przed 10 laty został bardzo krytycznie oceniony na tle ówczesnego stanu tej dziedziny w świecie. Przedstawiono to w *Raporcie o stanie biotechnologii — badania i zastosowania*, opracowanym przez Międzykomitetowy Zespół PAN ds. Biotechnologii (10). Wnioski i postulaty wynikające z tej oceny zostały uwzględnione przy kształtowaniu centralnych programów badawczych i badawczo-rozwojowych na lata 1986-1990. Realizowane w tych latach wymienione już Centralne Programy Badawcze (CPBR i CPBP) skupiały praktycznie cały krajowy potencjał badawczy biologii molekularnej, chemii bioorganicznej oraz klasycznej biotechnologii. Pomyślna ich realizacja przyczyniła się do wyraźnego podniesienia poziomu i zwiększenia potencjału kadry naukowej w tej dziedzinie oraz do lepszego zrozumienia wśród klasycznych biotechnologów znaczenia nowych biotechnologii, opartych na postęпах w poznaniu genetycznych mechanizmów regulacji ekspresji ge-

nów w komórkach i modyfikacji planu genetycznego organizmów przy zastosowaniu metod inżynierii genetycznej. Powołany w roku 1987 Komitet Biotechnologii przy Prezydium PAN opracował i opublikował w roku 1989 *Propozycje dotyczące strategii i metod sterowania rozwojem biotechnologii po 1990 r.* (11).

Wprowadzenie nowego systemu finansowania nauki w roku 1991, w którym zrezygnowano ze sterowania przez państwo rozwojem całych dziedzin nauki i techniki, uniemożliwiło wykorzystanie w praktycznej działalności Komitetu Badań Naukowych zawartych w tym opracowaniu doświadczeń wyniesionych z realizacji centralnych programów biotechnologicznych. Jednocześnie zmiana systemu gospodarczego spowodowała daleko idące konsekwencje we wzajemnych relacjach między nauką i przemysłem. W tej sytuacji Komitet Biotechnologii PAN w 1993 r. uznał za konieczne opracowanie nowego „Raportu o stanie polskiej biotechnologii”. Ocena ta oparta jest, jak już wspominałem, na cząstkowych materiałach przygotowanych przez poszczególne sekcje Komitetu.

Komitet Biotechnologii przyjął w swym założeniu programowym, że celem jego działalności jest promowanie nowoczesnych badań probiotechnologicznych i biotechnologicznych. Oceny cząstkowe dotyczą takich dziedzin jak:

- 1) molekularnych podstaw biotechnologii,
- 2) biotechnologii klasycznych,
- 3) biotechnologii w ochronie zdrowia społeczeństwa,
- 4) biotechnologii w wyżywieniu społeczeństwa,
- 5) biotechnologii proekologicznej,
- 6) biotechnologii w poszukiwaniu nowych źródeł energii,
- 7) inżynierii bioprosesowej,
- 8) kształcenia kadr dla celów „biotechnologii”,
- 9) działalności prolegislacyjnej i promocyjnej nowoczesnych biotechnologii.

2. Omówienie merytoryczne

2.1. Badania podstawowe w zakresie biologii molekularnej i szanse ich wykorzystania w różnych obszarach biotechnologii

W okresie poprzedzającym wprowadzenie nowego systemu finansowania nauki, tj. w latach 1986-1990, znakomita większość laboratoriów zajmujących się podstawowymi badaniami w zakresie biologii molekularnej skupiona była w dwóch programach badawczych: CPBR 3.13 „Molekularne podstawy biotechnologii” (główny wykonawca: Instytut Biochemii i Biofizyki PAN, kierownik prof. dr Kazimierz L. Wierzchowski) i CPBP 04.12 „Biologia molekularna i inżynieria genetyczna roślin” (jednostka koordynująca: Akademia Rolnicza w Poznaniu, koordynator: prof. dr Jerzy Pawełekiewicz). Zasadniczym celem tych programów był rozwój badań poznawczych i prac rozwojowych, ukierun-

kowanych na potrzeby współczesnej biotechnologii, w celu zwiększenia bardzo szczupłego, krajowego potencjału badawczego w tej dziedzinie („Raport o stanie biotechnologii — badania i zastosowania”, Polska Akademia Nauk, 1984). W świetle sprawozdań z realizacji programów, przyczyniły się one do zasadniczego zwiększenia potencjału badawczego w reprezentowanych w nich nowoczesnych dziedzinach biotechnologii oraz leżących u ich podstaw nauk: chemicznych, biochemicznych i biologicznych, mimo dalece odbiegających od założeń i potrzeb faktycznych nakładów przyznanych na realizację obu programów, zwłaszcza środków dewizowych. Szczupłość posiadanych środków pozwoliła na znaczącą poprawę stanu technicznego i aparaturowego wyposażenia tylko nielicznych laboratoriów, realizujących strategiczne cele programów dotyczących inżynierii genetycznej i białkowej oraz diagnostyki dziedzicznie uwarunkowanych chorób oraz zakażeń wirusowych. Dzięki temu powstały w Polsce warunki do syntezy lub izolacji oraz sekwencjonowania i klonowania całych genów, a w konsekwencji, do prowadzenia w pełnym cyklu prac nad otrzymywaniem za pomocą metod inżynierii genetycznej rekombinowanych białek dla celów badawczych, diagnostycznych i leczniczych, a także nad molekularnymi mechanizmami genetycznej regulacji procesów biochemicznych w komórkach bakterii i organizmów wyższych (grzyby, rośliny, organizmy zwierzęce). Znalazło to swoje odbicie w wynikach prac badawczych kilkunastu zespołów uczestniczących w realizacji tych programów, jak i kilku zespołów spoza nich. Prace te nawiązywały do aktualnych zagadnień biologii molekularnej przynosząc znaczące poznawczo wyniki oraz opanowanie w skali laboratoryjnej metod otrzymywania szeregu rekombinowanych białek dla diagnostyki medycznej i badań biomedycznych. Realizacja programów przyczyniła się wreszcie do integracji środowisk naukowych chemii bioorganicznej, genetyki i biochemii oraz do rozwoju współpracy między nimi, warunkującej postęp we współczesnej biotechnologii.

Podstawowe pytanie jakie należy postawić, po niemal pięciu latach funkcjonowania nowego systemu finansowania badań naukowych, dotyczy sytuacji materialnej zespołów naukowych, które poprzednio uczestniczyły w realizacji obu programów. Odpowiedź na nie może być obecnie oparta głównie na dostępnych danych dotyczących wyników pierwszych konkursów ogłoszonych na projekty badawcze przez Komitet Badań Naukowych. Zawierają one informacje na temat nazwiska i miejsca zatrudnienia kierownika oraz nazwy zaakceptowanego projektu, natomiast wysokość przyznanych środków została podana dopiero przy wynikach II konkursu. Nie ma również dostępu do informacji dotyczących poziomu finansowania interesujących nas zespołów badawczych ze środków statutowych, przyznawanych przez KBN placówkom PAN i wyższym uczelniom. Jedynym zatem kryterium uznania, że dany zespół badawczy posiada środki do kontynuacji prowadzonych przez siebie badań, jest zaakceptowanie przez KBN zgłoszonego projektu(ów) badawczego(ych).

Analiza zaakceptowanych projektów badawczych w latach 1991-1992 (I, II i III konkurs KBN, sekcje P2: biologii molekularnej i biotechnologii, biologii środowiskowej, nauk farmaceutycznych i nauk medycznych; sekcje P3: chemii

i fizyki; sekcje S3: genetyki stosowanej roślin i weterynarii) wykazała, że wśród nich znalazły się projekty dużej części zespołów naukowych, uczestniczących poprzednio w obu programach, jak też wielu innych zespołów, które zgłosiły projekty badawcze z zakresu szeroko pojętej biologii molekularnej i/lub inżynierii genetycznej oraz chemii bioorganicznej. Łącznie zaakceptowanych zostało około 160 takich projektów. Wiele spośród nich są to projekty z instytutów PAN i uczelnianych jednostek organizacyjnych, koordynujących lub współuczestniczących w koordynacji programów, a także najlepszych zespołów spośród wykonawców programów. Można na tej podstawie powiedzieć, że poprzez finansowanie projektów badawczych zapewniona została możliwość kontynuacji długofalowych zamierzeń badawczych zespołów i placówek naukowych badań podstawowych w obszarze biologii molekularnej i chemii bioorganicznej.

Placówki naukowe z tego obszaru otrzymały również znaczące środki inwestycyjne na poprawę warunków lokalowych oraz zakupy aparaturowe. W zakresie inwestycji budowlanych dotyczy to przede wszystkim instytutów PAN: Chemii Bioorganicznej w Poznaniu, Biochemii i Biofizyki, Cybernetyki i Inżynierii Biomedycznej oraz Centrum Medycyny Doświadczalnej i Klinicznej w Warszawie, a także niedawno utworzonego Centrum Mikrobiologii i Wirusologii w Łodzi. Inwestycje te przyczynią się również do poprawy warunków lokalowych niektórych laboratoriów uczelnianych. Na przykład, w Warszawie w nowym gmachu IBB PAN znalazły swoją nową siedzibę uniwersyteckie Zakłady Genetyki i Fizjologii Roślin; w nowym budynku IChB PAN w Poznaniu ulokowane jest międzyuczelniane centrum superkomputerowe, które dysponuje również dostępem do baz danych dla biologii molekularnej i biotechnologii. W zakresie inwestycji aparaturowych szczególnie ważne dla chemii bioorganicznej i biologii molekularnej były zakupy spektrometrów NMR o średniej zdolności rozdzielczej (Instytut Chemii Uniwersytetu Wrocławskiego, Centrum Badań Molekularnych i Makromolekularnych PAN w Łodzi, Instytut Chemii Bioorganicznej PAN w Poznaniu) oraz dużej zdolności rozdzielczej (500 MHz) dla Instytutów Chemii Uniwersytetu i Politechniki w Gdańsku. Istotnym czynnikiem zasadniczej, jakościowej poprawy zaopatrzenia laboratoriów w materiały, odczynniki i sprzęt laboratoryjny stała się częściowa wymienialność złotego.

Jeszcze trudniejsza jest obecnie odpowiedź na pytanie dotyczące szans wykorzystania badań podstawowych w różnych obszarach biotechnologii. Sądząc po zaakceptowaniu przez KBN szeregu projektów o charakterze aplikacyjnym, dotyczących rozwoju metod molekularnej diagnostyki lekarskiej, weterynaryjnej i z zakresu ochrony roślin, a także otrzymywania określonych białek rekombinowanych, istnieje wyraźne zapotrzebowanie na takie prace. Zbyt wcześnie jednak na ocenę w jakim stopniu ich wyniki znajdą praktyczne zastosowanie. Szansę sukcesu mają tylko oryginalne metody i produkty, ze względu na nowe warunki ekonomiczne wystawiające potencjalnych krajowych producentów na silną konkurencję ze strony dużych międzynarodowych firm biotechnologicznych.

Wreszcie pozostaje pytanie w jakim stopniu w nowym systemie finansowania badań, sprzyjającym ich atomizacji, udaje się utrzymać bieżącą infor-

mację o wynikach prac badawczych i wewnątrzrodowiskową współpracę. Wielu uczestników programów odczuwa brak, spełniających poprzednio tę rolę, dorocznych sympozjów sprawozdawczych. Wyrazem tego jest wyraźne ożywienie w tym zakresie działalności towarzystw naukowych.

Szczegółowe omówienie polskiej biologii molekularnej zawarte jest w raporcie Komitetu Biochemii i Biofizyki PAN.

Kazimierz L. Wierzchowski
Instytut Biochemii i Biofizyki PAN
Warszawa

2.2. Biotechnologia klasyczna — aktualny stan badań w Polsce

Prace realizowane z wykorzystaniem drobnoustrojów określane są terminem „biotechnologia drobnoustrojowa” lub „biotechnologia klasyczna” czy też „tradycyjna”. Badania z tego zakresu realizowane są w Polsce w niemal czterdziestu ośrodkach: wyższych uczelniach (politechniki, akademie rolnicze, rolniczo-techniczne, akademie ekonomiczne), instytutach Polskiej Akademii Nauk i innych samodzielnych placówkach badawczych. W badaniach uczestniczą również zakłady przemysłowe współpracujące z zespołami badawczymi wyższych uczelni. Zakres badań prowadzony w tych placówkach obejmuje podstawowe zagadnienia, składające się na „opracowanie technologii” wytwarzania określonych bioproduktów, jak również ich wykorzystania w poszczególnych gałęziach przemysłu. Do zasadniczych badań z tego zakresu włączone są również prace odnoszące się do ochrony środowiska. Prace te dotyczą nie tylko likwidacji skażeń związanych z realizacją danej BIO-technologii, ale także oczyszczania ścieków i utylizacji odpadów z innych gałęzi przemysłu. Do tych badań włączeni są specjaliści z różnych dziedzin: mikrobiologii, biochemii, genetyki, technologii żywności, technologii rolnej, specjaliści z zakresu farmacji i inżynierii procesowej, konstrukcji aparatury. W badaniach nad optymalizacją procesów fermentacyjnych, włączających techniki komputerowe współpracują informatycy, opracowujący oprogramowanie sterowania procesami i nadzorujący konstrukcje urządzeń niezbędnych do sprzężenia fermentorów z aparaturą kontrolno-pomiarową.

2.2.1. Najważniejsze osiągnięcia badawcze jednostek realizujących prace z zakresu klasycznej biotechnologii

Do najważniejszych osiągnięć należą:

- racjonalny skrining stosowany w ulepszaniu cech drobnoustrojów, przeznaczonych do różnych biosyntez (szczególnie cennych metabolitów), bio-konwersji, biotransformacji i biodegradacji;

- przechowywanie drobnoustrojów, jako zasobów biotechnologicznych w postaci monokultur i preparatów wieloskładnikowych (wieloszczepowych);
- hodowla tkanek roślinnych w kulturach kalusowych i *in vitro*, wykorzystanie tych metod w rolnictwie;
- nowe efektywne metody hodowli drobnoustrojów (hodowle: ciągłe z zagęszczoną biomasa oraz w stałym złożu);
- nowe rozwiązania bioreaktorów (fermentory: wieżowy, membranowy);
- separacja i oczyszczanie enzymów z wykorzystaniem m.in. swoistej separacji na nośnikach, chromatografii hydrofobowej, kowalencyjnej, cieczerwowej (HPLC i FPLC) itd.;
- inżynieria enzymowa — w tym opracowanie metod produkcji nośników do immobilizacji enzymów, unieruchamianie enzymów i komórek drobnoustrojów w nośnikach, konstrukcja aparatów do automatyzacji tego procesu;
- rozwój prac nad konstrukcją katalitycznych przeciwciał monoklonalnych;
- biokataliza w środowisku rozpuszczalników organicznych, gdzie w środowisku bezwodnym uzyskuje się cenne produkty o wysokiej czystości i znaczeniu użytkowym;
- matematyczne modelowanie, monitorowanie i komputerowe sterowanie procesami biotechnologicznymi dla podniesienia ich wydajności;
- biotechnologia środowiska — w tym biodegradacja i racjonalne wykorzystanie odpadów naturalnych i komunalnych, mikrobiologiczne ługowanie metali z odpadów elektrownianych, ługowanie siarki z węgla, bioekstrakcja metali z rud, oczyszczanie ścieków, zawierających węglowodory ropy naftowej;
- konstrukcja specjalnej aparatury i urządzeń (bioreaktory, ekstraktory, sterylizatory);
- opracowanie testów enzymatycznych (analitycznych i diagnostycznych);
- prowadzenie w dwóch ośrodkach kolekcji czystych kultur i bazy danych drobnoustrojów przemysłowych, nawiązanie współpracy ze Światową Federacją Kolekcji Kultur (WFCC).

Edward Galas

Ewa Kwapisz

Krystyna Siwińska

Instytut Biochemii Technicznej

Politechnika Łódzka

Łódź

2.3. Metody biotechnologiczne w wytwarzaniu leków

W kraju najbardziej zaawansowane są prace nad czynnikiem nekrozy nowotworów (α TNF), otrzymanym poprzez zastosowanie metody rekombinacji DNA *in vitro* w Zakładzie Chemii Bioorganicznej Centrum Badań Molekular-

nych i Makromolekularnych PAN w Łodzi. Metodą syntezy chemicznej oraz enzymatycznej ligacji i klonowania w bakteriach *E. coli*, otrzymano gen kodujący sekwencję białka α TNF. Opracowana i zastosowana metoda pozwala uzyskać aktywne białko z wymaganą wydajnością.

W ośrodku łódzkim zaawansowane są badania nad otrzymaniem mutein preparatu α TNF i uzyskaniem ilości umożliwiających podjęcie badań nad aktywnością i toksycznością tego preparatu. Zakład ten specjalizuje się w uzyskiwaniu techniką rekombinacji DNA innych aktywnych farmakologicznie białek, takich jak: interleukina 2 — czynnik stymulujący wzrost kolonii granulocytów (G-CSF), interleukina 1 oraz analogi tPA.

Metody biotechnologiczne, konwencjonalne, stosowane są szeroko w produkcji antybiotyków, natomiast inżynierii genetycznej stosowane są w pracach nad stabilizacją szczepów plazmidowych wytwarzających antybiotyki. Prace te wykonywane są w Instytucie Biotechnologii i Antybiotyków w Warszawie, a także w zakładach farmaceutycznych wytwarzających antybiotyki. W Instytucie Biotechnologii i Antybiotyków w Warszawie prowadzone są badania nad otrzymaniem drogą rekombinacji DNA insuliny ludzkiej, jednakże brak bardziej szczegółowych informacji na temat zaawansowania tych prac.

W Zakładzie Immunologii Nowotworów Instytutu Immunologii i Terapii Doświadczalnej PAN we Wrocławiu wdrożone zostało wytwarzanie przeciwciał monoklonalnych *in vitro* metodą hybrydoma. Wytworzone i scharakteryzowane przeciwciała monoklonalne rozpoznające antygeny białaczki mysiej, wykorzystane zostały w terapii doświadczalnej jako swoiste nośniki, m.in. dla łańcucha A rycyny. Skonstruowane immunotoksyny zastosowane zostały w badaniach modelowych. W warunkach *ex vivo* wykazano możliwość efektywnego wycięcia komórek białaczkowych ze szpiku kostnego, pochodzącego od zwierząt z uogólnioną białaczką. Aktualnie trwają prace nad skonstruowaniem immunotoksyn, wykorzystując przeciwciała monoklonalne rozpoznające epitelialny czynnik wzrostowy EGF i antygen 17 1A (glikoproteid) występujące na komórkach niektórych raków narządowych u ludzi.

Przeciwciała monoklonalne otrzymane z Instytutu Wistara w Filadelfii po połączeniu z genotoksycznymi preparatami wykorzystywane są jako swoiste nośniki dla cytostatyków. Badania te mają charakter modelowy i są prowadzone w warunkach *in vitro*.

W Zakładzie Badawczo-Wdrożeniowym Inżynierii Genetycznej TERPOL w Sieradzu otrzymano za pomocą inżynierii genetycznej szczepy bakterii produkujące antygeny wirusa HIV-1 — fragmenty GP120, GP41, p17, p24. Preparaty te mogą znaleźć zastosowanie w diagnostyce zakażeń wirusem HIV i w badaniach podstawowych z nim związanych.

Rekapitulując, w kraju pracuje wiele zespołów badawczych, przygotowanych teoretycznie i metodycznie do wykorzystania metod inżynierii genetycznej dla otrzymywania preparatów leczniczych. Istniejące banki referencyjnych szczepów bakteryjnych oraz zwierzęcych i ludzkich linii komórkowych oraz standard laboratoryjny wymagany dla technik inżynierii genetycznej i hodowli *in vitro* jest dostatecznie wysoki dla szerszego zastosowania tych technik dla

wytwarzania leków.

Na zakończenie chciałbym zwrócić uwagę na złożoność i długotrwałość prowadzonych badań nad biopreparatami, dla których otrzymania konieczny jest szczególnie duży nakład zarówno sił jak i środków finansowych.

Czesław Radzikowski

Instytut Immunologii i Terapii
Doświadczalnej PAN
Wrocław

2.4. Stan biotechnologii w rolnictwie

2.4.1. Biotechnologia w produkcji roślinnej

W badaniach i zastosowaniach biotechnologii w produkcji roślinnej można wyróżnić kilka wyraźnie zaznaczonych zagadnień, do nich należą:

1. Mikrorozmnażanie. Dotyczy ono zwiększenia wskaźnika namnażania, skrócenia okresu wegetacji, otrzymywania roślin o wybranej porze roku, reprodukcji wegetatywnej gatunków słabo zawiązujących nasiona w polskich warunkach klimatycznych, produkcji materiału nasiennego wolnego od chorób wirusowych, przechowywania w bankach genów kolekcji odmian. Prace badawcze prowadzone są nad ziemniakiem (IZi, AR Poznań), burakami (IHAR), zbożami, głównie pszenicy, jęczmienia i pszenżyta (IGR PAN, ZFR PAN, UŚI, IHAR, Ogród Botaniczny PAN), rzepakami (IHAR, IGR PAN, UW, AR Kraków) warzywami, głównie z roślin psiankowatych i kapustnych (IW, ATR Bydgoszcz, AR Kraków, SGGW), strączkowych (IHAR, IGR PAN, AR Poznań), roślin sadowniczych, głównie namnożenia podkładowe jabłoni i wiśni (ISiK), wielu gatunków roślin ozdobnych (ISiK, AR Kraków, UW) oraz roślin leczniczych (AM Warszawa, AM Poznań).

Odnotować należy, że mikrorozmnażanie szczególnie roślin ozdobnych znalazło największe zastosowanie w produkcji. Ocenia się, że w Polsce aktualnie funkcjonuje ponad 40 laboratoriów produkujących sadzonki w kulturach *in vitro*.

2. Androgeneza i gynogeneza. Dotyczą one wykorzystania możliwości uzyskiwania z populacji mieszańcowych monozygotycznego materiału roślinnego z mikrospor lub niezapylonych zalążków w warunkach *in vitro*. U wielu gatunków roślin androgeneza i gynogeneza wykorzystywana jest do przyspieszenia cyklu hodowli nowych odmian, co ma szczególne znaczenie w tworzeniu linii wsobnych w hodowli odmian mieszańcowych. W Polsce prowadzone są badania nad androgenezą u zbóż (IGR PAN, IHAR, UŚI, Ogród Botaniczny PAN, UAM, SGGW), buraków (IHAR), ziemniaka (IGR PAN, AR Poznań), ogórka i truskawek (SGGW) oraz rzepaku (IHAR).

3. Mieszańce somatyczne. Pozwalają one przynajmniej na częściowe przezwyciężenie barier niekrzyżowalności międzygatunkowej i łączenia się na drodze paraseksualnej cech gatunków rodzicielskich. W hybrydyzacji somatycznej wykorzystuje się kultury protoplastów. W Polsce prace nad fuzją protoplastów prowadzi się na rzepaku, u roślin warzywnych (SGGW), buraku (IHAR) i ziemniaku (AR Poznań).

4. Rośliny transgeniczne. Mowa tu o roślinach do których przeniesiono (stosując techniki rekombinacji DNA) użyteczne fragmenty materiału genetycznego z niespokrewnionych organizmów. Dają one możliwości tworzenia dotąd nie znanych w przyrodzie kombinacji cech użytkowych. W badaniach tych do przenoszenia genów wykorzystywane są: wektory (np. *Agrobacterium*), wstrzeliwanie genu do komórek oraz glikol polietylenowy. W Polsce w tym zakresie prowadzone są prace nad transformacjami u ziemniaka (AR Poznań, IHAR, IGR PAN), kukurydzy (IGR PAN), roślinami dyniowatymi (SGGW), strączkowymi, pszenżytem, żytem i pszenicą (IHAR). Celem prowadzonych badań jest uzyskanie roślin odpornych na szkodniki, choroby, herbicydy i niesprzyjające warunki środowiska.

2.4.2. Biotechnologia w produkcji zwierzęcej

W badaniach podstawowych i aplikacyjnych wyróżnić należy takie zagadnienia jak:

1. Przenoszenie zarodków. Głównym celem jest zwiększenie rozrodczości gatunków niskoplennych. Metody poliowulacji i transplantacji zarodków znalazły praktyczne zastosowanie w hodowli bydła pod nazwą MOET (*Multiple Ovulation and Embryo Transfer*). W celu doskonalenia tej metody prowadzone są prace badawcze nad superowulacją u bydła (IGiHZ PAN, IZt Balice), koni (AR Kraków) oraz biokonserwacją zarodków ssaków do czasu ich transplantacji (IZt).

2. Zapłodnienie *in vitro*. Pozwala ono na bardzo intensywną selekcję dużej liczby potomstwa od jednej samicy oraz uzyskiwanie dużej liczby potomstwa od sprawdzonych pod względem użytkowym rodziców. Prowadzone są prace nad zapłodnieniem *in vitro* oocytów bydłowych (IGiHZ PAN, IZt), koni (AR Kraków), ptaków (IGiHZ PAN, COBR Drobiarstwa). Zapłodnienie *in vitro* wykorzystywane jest również w badaniach cytogenetycznych gamet i zarodków (AR Poznań).

3. Regulacja płci potomstwa. Opiera się ona głównie na identyfikacji DNA chromosomu Y z zastosowaniem metody PCR (*Polymerase Chain Reaction*). Prowadzone są prace nad regulacją płci gamet i zarodków zwierząt hodowlanych (IZt).

4. Klonowanie zwierząt. Opiera się ono na możliwości wielokrotnego odтворzenia określonego osobnika przez klonowanie zarodków w stadium moruli lub blastocysty, transplantacji izolowanych jąder blastomerów i wykorzystania pluripotentnych komórek pnia. W Polsce prowadzi się badania nad klonowaniem zarodków zwierząt hodowlanych (IGiHZ PAN, IZt, AR Kraków).

5. Zwierzęta transgeniczne. Można je uzyskać poprzez wprowadzenie do genomu zwierzęcia zmodyfikowanych genów podwyższających znacznie ich wartość użytkową. Prowadzone są prace nad mikroiniekcją DNA do niedojrzałych oocytów bydłych w celu uzyskania transformowanych genetycznie blastocyst (IZt), wprowadzeniem ludzkiego genu hormonu wzrostu i czynnika uwalniającego hormon wzrostu (GRF) u królików (IGiHZ PAN), uzyskaniem bydła z promotorami genów białka mleka ludzkiego (IGiHZ PAN) oraz genów odporności świń na stresy (AR Kraków).

Henryk Czembor

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin
Radzików

2.5. Biotechnologia w ochronie środowiska naturalnego

Naturalne procesy biodegradacji odpadowej substancji organicznej w przyrodzie, tak w reakcjach tlenowych jak i beztlenowych, stały się doskonałym pierwowzorem procesów biotechnologicznych prowadzonych w celu rozkładu naturalnych i sztucznych, odpadowych związków organicznych.

W tym procesie „trawiennym”, katalizowanym przez enzymy reakcji aerobowych i anaerobowych, dochodzi do dwóch rodzajów sprzeczności wynikających z:

1) ilościowego nadmiaru cząsteczek naturalnych (lub zbliżonych do nich budową chemiczną molekuł sztucznych) co prowadzi do niewydolności układu;

2) wprowadzenia do układu związków sztucznych lub syntetycznych o skomplikowanej budowie, często wielkocząsteczkowej, nieznannej katalizatorom biologicznym i wymagających od nich adaptacji, która w praktyce nie zawsze jest możliwa.

W szeroko rozumianym zakresie ochrony środowiska człowieka mieści się również ochrona naturalnych walorów spożywanej żywności, a w tym wody. Filtracja powolna na prostych złożach piaskowych, na których wyhodowano cienką „błonkę biologiczną” złożoną z organizmów prowadzących oczyszczanie wody, jest chyba najdawniej stosowaną biotechnologią, na długo wcześniej niż uświadomiono sobie istotę tego procesu, a na pewno zanim powstało samo pojęcie biotechnologia. Ta doskonała naturalna operacja uzdatniania wody jest niestety coraz częściej eliminowana z ciągów technologicznych wodociągowych zakładów komunalnych dużych miast, ze względu na niezbędny czas przetrzymania oraz związane z nim małe szybkości przepływu, niewspółmierne do olbrzymich objętości wody, które muszą produkować te zakłady.

Operacje biologicznego oczyszczania ścieków są rutynowo poprzedzane oczyszczaniem mechanicznym (usunięcie makro- i mikrozwiesin opadających

i nieopadających) oraz chemiczne (utlenianie, strącanie, neutralizacja i inne). Oczyszczanie biologiczne ma na celu głównie biodegradację substancji organicznych (koloidalnych i rozpuszczonych), do produktów gazowych ulatniających się do atmosfery oraz substratów wzrostu biomasy osadu czynnego. Równolegle w operacjach biologicznych usuwa się związki pokarmowe (fosforowe i azotowe).

Występują znaczne dysproporcje w zakresie procesów tlenowych i beztlenowych. Procesami aerobowymi zajmują się prawie wszystkie jednostki akademickie, występujące pod szyldem inżynierii czy ochrony środowiska, wyższych szkół technicznych i rolniczych, a czasem również ekonomicznych oraz jednostki PAN i resortowe (IOŚ, IMGW, inne). Procesy anaerobowe tak w odniesieniu do stężonych ścieków komunalnych, fekaliów i gnojowicy, jak również do specyficznych ścieków przemysłowych, są słabo reprezentowane. Ta świadomość jest konieczna przy wprowadzaniu na polski rynek rozwiązań obcych, wielokrotnie gorszych, a zawsze znacznie droższych od wielu systemów rodzimych o długich listach referencyjnych.

Bardzo dobrze przedstawiają się krajowe możliwości projektowe i wytwórcze biologicznych oczyszczalni ścieków pracujących na zasadzie osadu czynnego lub złóż biologicznych. Operuje się tu umownie trzema grupami urządzeń: małe do 2000, średnie 2000 – 15 000 m³ na dobę i duże powyżej tej wartości. Kompetentnie wykonany przegląd biologicznych oczyszczalni ścieków został opracowany w Instytucie Ochrony Środowiska we Wrocławiu.

W ostatnich latach poważnym problemem jest zanieczyszczenie gruntu, zwłaszcza pochodnymi ropy naftowej, którego pełna skala ujawniła się w badaniach poligonów opuszczonych przez byłą armię radziecką. Naturalne procesy ich aerobowego samooczyszczania wspomagane są przez intensywne przewietrzanie gruntu *in situ* i *ex situ*; znajdują się jednak również takie, które operują sztucznie wprowadzanymi mikroorganizmami biodegradującymi lub absorbującymi zanieczyszczenia organiczne i metale ciężkie (pojawiło się jednak szereg zastrzeżeń co do ekologicznej neutralności tych metod).

Tomasz Winnicki
Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska
Politechnika Wroclawska
Wrocław

2.6. Nowe źródła energii

1. W Polsce istnieją następujące niekonwencjonalne źródła biotechnologicznej energii:

a) odpady przemysłowe z przerobu masy lignocelulozowej (w *Roczniku Statystycznym*, 1989, podaje się, że produkcja celulozy w Polsce w 1986 r. wy-

nosiła 614 tys. ton — jest to potencjalne źródło odpadu; drugie tyle stanowią odpady poprodukcyjne, jak: lignina, ksylany i inne związki o charakterze węglowodanów);

b) odpady lignocelulozowe komunalne;

c) odpady biomasy z przemysłu farmaceutycznego, spożywczego, tekstylnego i innych;

d) odpady biologiczne ze źródeł rolniczych;

e) odpady z przemysłu węglowego;

2. Odpady te mogą i powinny być zagospodarowane przez proste znane aplikacje, a także na drodze badań podstawowych i wdrożeniowych poprzez:

a) produkcję biogazu (znane technologie i urządzenia);

b) biotransformację odpadów lignocelulozowych:

— zastosowanie zespołów mikroorganizmów,

— zastosowanie mikroorganizmów immobilizowanych,

— zastosowanie immobilizowanych enzymów;

c) przerabianie odpadów lignocelulozowych, np. na brykiety, wypełniacze do form dla metalurgii;

d) przerabianie odpadów lignocelulozowych przez użycie ich do hodowli grzybów paszowych.

Jerzy Łobarzewski

Zakład Biochemii

Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej

Lublin

2.7. Inżynieria bioprosowa

2.7.1. Obszar tematyczny inżynierii bioprosowej i aktualne problemy badawcze

Inżynieria bioprosowa będąc gałęzią inżynierii procesowej jest odpowiedzialna za techniczną realizację procesów biotechnologicznych. Jej cechy szczególne wynikają z charakteru tych procesów, odmiennego od klasycznych procesów chemicznych.

2.7.2. Sytuacja i perspektywy rozwoju inżynierii bioprosowej w Polsce

Badaniami w zakresie inżynierii bioprosowej zajmują się w Polsce przede wszystkim następujące ośrodki:

- Politechnika Łódzka,
- Politechnika Warszawska,
- Politechnika Wrocławska,

- Akademia Techniczno-Rolnicza w Bydgoszczy,
- Instytut Inżynierii Chemicznej PAN w Gliwicach.

Kształcenie w tej dziedzinie prowadzone jest przez trzy pierwsze z wymienionych ośrodków. Tematyka badawcza uprawiana w Polsce odpowiada aktualnym kierunkom światowym. Potencjał badawczy krajowych ośrodków inżynierii bioprocessowej, choć znaczący, jest całkowicie niewystarczający. Zbyt mała jest także liczba specjalistów, kształconych we wspomnianych ośrodkach (łącznie poniżej 150 osób rocznie). Aby zapewnić możliwość sprawnego wprowadzenia do praktyki gospodarczej osiągnięć pracujących w kraju zespołów biologów i biochemików niezbędne jest:

- zwiększenie liczby ośrodków, prowadzących badania i kształcenie w dziedzinie inżynierii bioprocessowej;
- stymulowanie tworzenia międzywydziałowych i międzyuczelnianych studiów w zakresie biotechnologii z udziałem uczelni technicznych (wydziały inżynierii chemicznej), co zapewniałoby należyty udział inżynierii bioprocessowej w programach kształcenia biotechnologów i współpracy ośrodków biologicznych i biochemicznych z ośrodkami inżynierii bioprocessowej;
- organizowanie kursów podyplomowych w zakresie inżynierii bioprocessowej, przeznaczonych dla biologów, biochemików i inżynierów chemików zajmujących się biotechnologią;
- utworzenie centrum badawczego inżynierii bioprocessowej, zapewniającego możliwości doksztalcania i współpracy specjalistów z różnych ośrodków (zaawansowane są prace nad utworzeniem takiego centrum na Politechnice Warszawskiej).

Podstawowym warunkiem wprowadzenia do praktyki gospodarczej osiągnięć zespołów biologów i biochemików jest szybki rozwój inżynierii bioprocessowej, od którego zależy opracowanie metod technicznej realizacji procesów biotechnologicznych. Należy stymulować kształcenie kadr w dziedzinie inżynierii bioprocessowej oraz prace badawcze w tej dziedzinie, zwłaszcza w działających już ośrodkach (Warszawa, Łódź, Wrocław, Gliwice, Bydgoszcz).

Ryszard Pohorecki

Wydział Inżynierii Chemicznej i Procesowej
Politechnika Warszawska
Warszawa

2.8. Kształcenie w zakresie biotechnologii na polskich uczelniach

Kształcenie biotechnologów odbywa się obecnie w ramach samodzielnych kierunków na Uniwersytetach: Lubelskim, Poznańskim i Wrocławskim, na Politechnikach: Gdańskiej, Łódzkiej, Warszawskiej i Wrocławskiej, Akademii Rolniczej w Poznaniu oraz na Międzyuczelnianym Wydziale Biotechnologii Akademii Medycznej i Uniwersytetu Gdańskiego.

Z zestawienia przedmiotów podstawowych nauczanych na tych kierunkach w różnych uczelniach wynika, że wszyscy studenci otrzymują przygotowanie w zakresie podstawowych dziedzin, takich jak: np. biochemia i genetyka. Różnice między kształceniem uniwersyteckim a politechnicznym dotyczą podstawowych nauk biologicznych, które dogłębniej są studiowane na uniwersytetach. Absolwenci akademii rolniczych uzyskują wyraźne ukierunkowania na aplikacyjność w zakresie przemysłu spożywczego i rolnictwa. Kształcenie biotechnologów na poszczególnych uczelniach wygląda następująco:

- Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie — kierunek biotechnologia przy Wydziale Biologii i Nauk o Ziemi
Każdego roku przyjmuje się 25 do 30 osób. Student kończący 5-letnie studia otrzymuje dyplom magistra, w którym wymieniony jest kierunek studiów — biotechnologia.
- Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu — Wydział Biologii
Kierunek został uruchomiony w roku akademickim 1988/1989; każdego roku przyjmowanych jest około 20 studentów. Absolwenci uzyskują dyplom magistra biotechnologii; prowadzone jest również Studium Doktoranckie.
- Uniwersytet Wrocławski — Wydział Nauk Przyrodniczych
Po ukończeniu 3 roku studiów absolwent uzyskuje dyplom licencjata biotechnologa. Specjalizacje prowadzone są na kursie magisterskim w ramach trzech specjalności trwających dwa lata: biofizyki molekularnej, biotechnologii białek i peptydów oraz biologii molekularnej. Po ukończeniu studiów drugiego stopnia absolwent uzyskuje tytuł magistra biotechnologii; kształci się około 30 studentów rocznie.
- Akademia Rolnicza w Poznaniu — Wydział Rolniczy
Studia inżyniersko-magisterskie, które po 3 roku dają możliwość specjalizacji w zakresie biotechnologii w produkcji zwierzęcej, przetwórstwie żywności, ogrodnictwie, leśnictwie i ochronie środowiska. Nabór 50 studentów rocznie. Ukończenie studiów na kierunku biotechnologia uprawnia do uzyskania tytułu zawodowego magistra inżyniera biotechnologii.
- Politechnika Gdańska — Wydział Chemiczny
Kształci studentów na kierunku biotechnologia w ramach 5-letnich jednolitych studiów magisterskich. Kierunek daje możliwość specjalizacji w zakresie biotechnologii leków, technologii utrwalania żywności, technologii tłuszczów jadalnych i biotechnologii lipidów. Obecnie na kierunku studiuje około 190 studentów. Absolwenci uzyskują dyplom magistra inżyniera biotechnologii.
- Politechnika Łódzka — Wydział Chemii Spożywczej i Biotechnologii
Przyjmowanych jest 60 osób rocznie. Studenci kształceni na kierunku biotechnologia mają możliwość rozwijania własnych zainteresowań w ramach przedmiotów dyplomowania i specjalizacyjnych, a mianowicie: biochemia techniczna, technologia produktów owocowych i warzywnych, technologia witamin i koncentratów spożywczych, mikrobiologia techniczna, technologia fermentacji oraz spirytusu i drożdży.

Na wydziale tym organizowane są 4-letnie studia doktoranckie i studia podyplomowe z zakresu technologii fermentacji.

- Politechnika Warszawska — międzywydziałowa jednostka trzech Wydziałów: Inżynierii Sanitarnej i Wodnej, Inżynierii Chemicznej i Procesowej oraz Chemicznego.

Podział na 3 specjalności: biotechnologia w ochronie środowiska, realizowana na Wydziale Inżynierii Sanitarnej i Wodnej; biotechnologia przemysłowa na Wydziale Inżynierii Chemicznej i Procesowej oraz technologia produktów lekkiej syntezy chemicznej na Wydziale Chemicznym. Obecnie na kierunku studiuje około 190 osób.

- Politechnika Wrocławska — Wydział Podstawowych Problemów Techniki 5-letnie studia magisterskie, realizowane bez podziału na specjalności, około 30 studentów. W roku 1984 rozpoczęto kształcenie biotechnologów na Wydziale Chemii.

- Międzyuczelniany Wydział Biotechnologii AM-UG w Gdańsku Wydział ma charakter komplementarny wobec kierunku biotechnologii Wydziału Chemii Politechniki Gdańskiej. Studenci nie mają limitowanego czasu na ukończenie studiów. Absolutorium uzyskują po zgromadzeniu 150 punktów kredytowych, liczonych w ten sposób, że za każdą godzinę wykładu tygodniowo w semestrze student otrzymuje 1 punkt kredytu, a za każdą godzinę ćwiczeń tygodniowo w semestrze 0,5 punktu kredytu. Absolwent uzyskuje tytuł magistra biotechnologii specjalisty w dziedzinie biologii i biotechnologii medycznej, z przygotowaniem do wykonywania analiz materiału biologicznego i wdrażania nowoczesnych technik terapeutycznych

Antoni Polanowski
Instytut Biochemii
Uniwersytet Wrocławski
Wrocław

2.9. Uregulowania prawne w biotechnologii

Polska uczestniczy w pracach Parlamentu Europejskiego, jest członkiem stowarzyszonym UE i zgłosiła akces (czerwiec, 1994) do OECD (Organisation for Economic Cooperation and Development). Pewne działania prawne, wynikające z członkostwa naszego kraju w tych organizacjach międzynarodowych zostały już z powodzeniem zrealizowane. Nastąpiło to wcześniej niż w innych krajach Europy Centralnej i Wschodniej. Dotyczą one różnych dziedzin, w tym także biotechnologii. Wymienić należy:

- ochrona praw autorskich (maj, 1994);
- podpisanie Traktatu Budapeszteńskiego i utworzenie krajowej depozytorni mikroorganizmów (wrzesień, 1993);

- nowe prawo patentowe (październik, 1993) będące w pełnej korelacji z kodyfikacją Unii Europejskiej i Ameryki Północnej, a zezwalające na ochronę patentową zarówno procesów jak i produktów (lekarstw, związków chemicznych, mikroorganizmów, itp.);
- ochrona bioróżnorodności gatunków i zasobów genetycznych (październik, 1991) i podpisanie konwencji w Rio de Janeiro „Biodiversity Convention”;
- przystąpienie Polski do grupy państw znanych pod nazwą „Grupa Australijska” (podpisano porozumienie 19.11.1994 r.), co nakłada obowiązek samokontroli państwa w zakresie dystrybucji preparatów i technologii mogących stanowić zagrożenie.

Przedstawiając stan prawny w naszym kraju należy przede wszystkim podkreślić daleko posuniętą zgodność obecnie opracowywanych polskich norm z prawodawstwem UE. W zakresie własności intelektualnej (szczególnie ważne jest nowe prawo patentowe) i ochrony bioróżnorodności oraz zasobów genetycznych nasze przepisy spełniają wymogi UE. Zgłoszenie Polski do OECD oznacza również akceptację norm i definicji zalecanych przez tę organizację.

W Polsce przy wykonywaniu prac badawczych z wykorzystaniem GMO w ramach grantów naukowych finansowanych przez KBN można ogólnie przyjąć, że Komitet oraz powołani przez niego recenzenci stanowią kompetentny merytorycznie organ do oceny. Wydają oni *de facto* zezwolenie na realizację danego, ściśle określonego projektu badawczego. Jednakże należy tu podkreślić z całym naciskiem, że żadna z organizacji państwowych czy naukowych, o wysokim i uznanym prestiżu (Komitet Badań Naukowych, Ministerstwo Edukacji Narodowej czy też Polska Akademia Nauk) nie ma możliwości zakazania lub wstrzymania prowadzonych prac finansowanych z innych źródeł (polskich czy też zagranicznych). Pomijam tu świadomie kwestie ocen moralnych środowiska naukowego.

W wielu placówkach badawczych są zorganizowane zespoły dokonujące ocen etycznych, szczególnie w przypadku prowadzenia prac na zwierzętach, czy też badań klinicznych. Można nawet zaryzykować twierdzenie, że w praktyce aczkolwiek w sposób nieformalny, w wysokim stopniu realizowane są zalecenia i regulaminy opracowane przez UE, agendy UNIDO, OECD, czy akademie nauk krajów zachodnich dotyczące pracy z GMO zgodnie z zasadami dobrej praktyki laboratoryjnej (określane często skrótem: GLP = *good laboratory practice*). Jednakże, zgodnie z normami UE czy też UNIDO i OECD, konieczne jest powołanie jednego organu, który uzyskalby rekomendacje środowiska naukowego oraz pełnomocnictwo rządu w zakresie rejestracji laboratoriów prowadzących prace wymagające manipulacji genetycznych, zasad wprowadzania genetycznie modyfikowanych organizmów do środowiska naturalnego oraz pełniłby w skali kraju nadzór zgodnie z zasadami GLP.

Tomasz Twardowski
Instytut Chemii Bioorganicznej PAN
Poznań

3. Podsumowanie

W opracowanym przed dziesięcioma laty *Raporcie o stanie biotechnologii — badania i zastosowania*, przygotowanym przez Międzykomitetowy Zespół PAN ds. Biotechnologii (10), a także w licznych późniejszych publikacjach (11–18) wykazano jak trudno jest dokonać rzeczowej i kompletnej, zadowolającej wszystkich współtworzących biotechnologię, oceny stanu tej dziedziny w Polsce.

Z załączonych do obecnego Raportu opracowań cząstkowych mogłoby się wydawać, że polska biotechnologia plasuje się w Europie na bardzo dobrym miejscu. Tematyka i zakres realizowanych badań są wyjątkowo obszerne. Potencjał intelektualny zespołów uprawiających biotechnologię jest znaczny i posiada wystarczająco wysoki poziom wiedzy. Dowodem tego jest chociażby stosunkowo liczna grupa absolwentów polskich uczelni pracujących w nawet najbardziej prestiżowych, zagranicznych centrach badawczych o wysoko rozwiniętej biotechnologii. Czy jednak kondycja polskiej biotechnologii jest tak dobra?

Analizując tematykę badawczą zespołów pracujących w obszarze biotechnologii można odnieść wrażenie, że w większości przypadków tematyka ta wynika raczej z indywidualnych zainteresowań poszczególnych liderów niż klarownej polityki państwa. W pewnym stopniu ukształtowana ona została w wyniku tradycji badawczej poszczególnych instytutów; ale z pewnością większy wpływ na tematykę prowadzonych badań miały wyjazdy i osobiste kontakty zagraniczne. Zainteresowanie polskich sfer przemysłowych kreowaniem nowych kierunków badawczych, zwłaszcza w poszukiwaniu nowych rozwiązań wymagających dłuższych badań, przy większym udziale intelektualnego zaangażowania i środków finansowych, jest bardzo małe. W minimalnym stopniu rzutuje ono również na kierunki kształcenia młodej kadry na uniwersytetach i politechnikach, a liczba tematów prac dyplomowych na zamówienie przemysłu jest raczej symboliczna.

Aby uzyskać przynajmniej przybliżone dane liczbowe, które mogłyby ilustrować proporcje udziału przedstawicieli poszczególnych dyscyplin nauki i metodologii badawczych, zaangażowanych w rozwiązywanie problemów biotechnologicznych, celowe będzie spojrzenie na ogólny schemat sekwencji etapów badawczych, charakterystycznych dla biotechnologii. Inspiracją idei twórczych w biotechnologii, podobnie zresztą jak i w innych działach badań naukowych, są:

- a) potrzeba społeczna,
- b) wymagania gospodarki rynkowej,
- c) ciekawość twórcza.

Najkorzystniejsze byłoby ich kompleksowe współdziałanie. Problem badawczy pojawia się najczęściej w wyniku obserwacji procesów fizjologicznych żywych organizmów, które w jakimś stopniu przetworzone i udoskonalone mogą być dalej wykorzystane przez człowieka. Stąd też badania fizjologii komórki, jej zdolności biosyntezy i przetwarzania substancji ksenobiotycznych, komunikacji międzykomórkowej, stanowią podstawowy element inspiracji twór-

czych w biotechnologii. Natomiast ich interpretacja i zrozumienie podstaw molekularnych wymaga znajomości procesów chemicznych. Schemat procesu „od nauki czystej do produkcji” można ująć w następujących etapach:

1. Wybór tematu badawczego, wynika np. z obserwacji biosyntezy substancji obronnych, wytwarzanych przez mikroorganizmy (wykorzystywanych często jako antybiotyki), tworzenia systemów odpornościowych na nieprzyjazne oddziaływania środowiska (np. odporność owadów na insektycydy, czy roślin na herbicydy), systemów obronnych roślin przeciwko ich pasożytom (np. antyfidanty, repellenty, itp.), immunologicznych barier obronnych organizmu, obecności w organizmie szlaków metabolicznych, prowadzących do syntezy interesujących substancji różnego innego przeznaczenia (typu herbicydów czy insektycydów), wpływu organizmów żywych na otoczenie i jego przetwarzanie (procesy fermentacyjne, akumulacja metali przez niektóre mikroorganizmy, biotransformacja ksenobiotyków), rozpoznanie sposobów infekcji organizmu przez nowe, nie rozpoznane jeszcze czynniki chorobotwórcze, itp.

2. Kolejnym etapem badań jest poznanie mechanizmu molekularnego, analizowanego procesu fizjologicznego. Badania te obejmują m.in. pełny opis zaangażowanych systemów enzymatycznych, poznanie mechanizmu transportu wewnątrz organizmu, sposobów przekazywania informacji międzykomórkowej, regulacji hormonalnej, neurotransmisji, oraz mechanizmu wzajemnych oddziaływań opartych na różnego typu wiązaniach chemicznych.

3. Molekularny mechanizm funkcjonowania komórki kodowany jest specjalnym szyfrem genetycznym. Cykl badawczy obejmuje zatem charakterystykę aparatu genetycznego metodami klasycznej i molekularnej genetyki, możliwości transpozycji, mutagenyzy oraz innych elementów współtworzących inżynierię genetyczną, której uwieńczeniem jest inżynieria białka.

4. Proces ten formalnie zamyka inżynieria bioprosesowa. Jej zadaniem jest przetworzenie uzyskanych wyników badań laboratoryjnych na szerszą skalę, umożliwiającą produkcję określonych substancji (nisko- i wysokocząsteczkowych), czy też całych organizmów (np. modyfikowane mikroorganizmy, rośliny transgeniczne, nowe odmiany zwierząt, itp.).

Realizacja badań w przedstawionym schematycznie cyklu wymaga zastosowania wielu technik i doboru właściwej metodologii. Poczynając od dobrze zorganizowanego systemu informatycznego, poprzez opracowania warunków hodowli laboratoryjnej analizowanych organizmów (w tym techniki kultur tkankowych), konieczność przeprowadzenia różnorodnych testów biologicznych, wykorzystując różne metody zachowawczej izolacji, określania czystości i struktury badanych substancji, często też stereochemicznie ukierunkowanych syntez chemicznych. Wymagana jest zatem nie tylko odpowiednia aparatura badawcza, ale też określone zespoły specjalistów i warunki interdyscyplinarnej współpracy. Postęp w zakresie metod i technik umożliwia badanie nawet najbardziej skomplikowanych układów biologicznych, jednakże niezbędna do prowadzenia tych prac aparatura naukowa jest wyjątkowo droga. Zarówno oczyszczanie biopreparatów (np. HPLC), jak i metody spektroskopowe (FT-IR, FT-UV, ORD/CD, NMR, rentgenowska analiza strukturalna, HPLC-MS),

a także analizatory i sekwenatory aminokwasów w białkach, nukleotydów w kwasach nukleinowych, oparte są na wysokiej klasy urządzeniach technicznych, również dla syntez DNA i RNA potrzebne są sterowane komputerowo syntezatory.

Zebrane przez nas dane na temat polskiego potencjału badawczego zaangażowanego w badania w zakresie biotechnologii nie są kompletne. Pozwalają one jednak w istotnym stopniu na przeprowadzenie szacunkowych porównań z analogicznym potencjałem badawczym Europy Zachodniej i z naszymi ambicjami badawczymi w tym zakresie. Liczbę osób samooceniających się jako pracujących w obszarze biotechnologii szacuje się na ok. 1000. Przeciętny zespół badawczy liczy 7-10 osób i zazwyczaj w jego skład wchodzi 1-2 samodzielnych pracowników nauki. Biorąc pod uwagę wielkość Polski i porównując z danymi takich krajów jak Holandia, USA czy też łącznie cała Unia Europejska nie jest to liczba imponująca. Przykładowo, w Holandii w 1980 r. zatrudnionych w biotechnologii (uniwersytety i przemysł łącznie) było 1800 osób, a w 1988 r. już 3000. W tym samym roku całkowity potencjał badawczy państw EWG był olbrzymi: 1 100 000 pracowników naukowych i technicznych, wśród których było 420 000 badaczy. W USA w 1982 r. około 20 000 osób, a w 1988 r. już ponad 200 000 ludzi zatrudniano w firmach biotechnologicznych, nie licząc uniwersytetów. Nasz potencjał badawczy jest mały i nie odpowiada on wielkości, a przede wszystkim potrzebom naszego państwa.

Trudno w sposób jednoznaczny ocenić w jakim stopniu aktualny rozkład kadr i kierunki kształcenia, wynikają z perspektywicznych planów rozwoju naszego kraju. Z dużym prawdopodobieństwem można stwierdzić, że przemysł nie jest głównym miejscem zatrudnienia absolwentów kierunku biotechnologia. Znajdują oni zatrudnienie przede wszystkim w uczelnianych, PAN-owskich i resortowych placówkach badawczych, a nierzadko zmieniają wyuczony zawód i podejmują pracę jako przedstawiciele różnych firm zagranicznych, lub wykonują inne zajęcia nie związane z biotechnologią.

Kooperacja z zagranicą w znacznym stopniu umożliwia nam kontakt z głównymi trendami badań w nauce światowej i ułatwia korzystanie z nowoczesnej aparatury badawczej. Z drugiej strony wkład polskich uczonych w rozwój nauki, tej „wytwarzanej” w krajach Europy Zachodniej, USA czy Kanadzie też jest niebagatelny. Często współpraca międzynarodowa ma charakter interdyscyplinarny. Kooperacja ta, zwłaszcza w perspektywie wchodzenia Polski do struktur Europy Zachodniej, będzie się pogłębiać. Charakterystyczny jest jednak brak znajomości uregulowań prawnych dotyczących tak praw patentowych jak i własności autorskiej. W jakim stopniu swoboda twórcza w instytutach uczelnianych pozwala na korzystanie z kapitału zagranicznych przedsiębiorstw przemysłowych, które mogłyby „zamówić” u nas rozwiązanie konkretnego problemu badawczego? W jaki sposób i w jakim stopniu badania wykonane w oparciu na grantach KBN mogą być „sprzedawane” dalej firmom przemysłowym, krajowym i zagranicznym?

Niekiedy polskie laboratoria pełnią rolę pomocniczą w prowadzonych przez partnera zachodniego badaniach. W takim przypadku nasi uczeni są tylko

wykonawcami pomysłów badawczych, a nie ich współtwórcami. Jednakże recenzowanie naszych projektów badawczych zgłaszanych do KBN w konkursach o uzyskanie grantów jest jednocześnie obarczone ryzykiem przedwczesnego ujawnienia idei twórczych, już na samym początku cyklu badawczego. W krajach zachodnich znane są przypadki „przywłaszczenia” przez recenzentów pomysłów opiniowanych przez nich projektów badawczych. Przy niezbyt sprzyjającej opinii recenzentów projekt taki nie uzyskiwał wprawdzie poparcia odpowiedniej komisji, ale jeden z recenzentów, bez wiedzy autora, rozpoczynał jego realizację. Zachodzi obawa, że takie zdarzenia mogą mieć miejsce również i u nas.

W Polsce istnieją już dobrze zorganizowane i nieźle wyposażone centra badawcze. Można do nich zaliczyć przede wszystkim instytuty Polskiej Akademii Nauk (Instytut Chemii Bioorganicznej w Poznaniu, Instytut Biochemii i Biofizyki w Warszawie, Instytut Biologii Doświadczalnej im. Nenckiego w Warszawie, Zakład Chemii Bioorganicznej w Centrum Badań Molekularnych i Makromolekularnych w Łodzi, Instytut Immunologii i Terapii Doświadczalnej we Wrocławiu). Wśród instytutów resortowych, które mogą również stanowić miejsca szkolenia i doskonalenia kadr w zakresie biotechnologii należy wymienić Instytut Biotechnologii i Antybiotyków w Warszawie oraz Instytut Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego w Warszawie. Również niektóre uczelnie wyższe mają nie tylko wysoko wykwalifikowaną kadrę naukową, ale też niezbędny zasób aparatury badawczej. Możemy do nich zaliczyć Politechniki: Łódzką, Warszawską, Wrocławską i Gdańską, Uniwersytety: Warszawski, Lubelski, Wrocławski i Gdański, Akademię Rolniczą w Poznaniu, Akademię Rolniczo-Techniczną w Olsztynie, Szkołę Główną Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie oraz Akademię Medyczną w Gdańsku. Wszystkie wymienione placówki naukowe powinny stanowić również miejsca, w których większa liczba młodych pracowników nauki mogłaby odbyć krótko- i długoterminowe staże. Mógłby to być dobry sposób na zwiększenie efektywnej współpracy pomiędzy zespołami uczelnianymi, instytutami PAN i resortowymi. Instytuty uczelniane, w porównaniu do instytutów PAN, są daleko skromniej finansowane. Stąd liczba miejsc w uczelniach, które mogłyby służyć odbyciu dobrych staży podoktorskich, jest bardziej ograniczona.

W dalszym ciągu obserwuje się „uprzedzenia” interdyscyplinarne: „chemia” i „biologia” tworzą oddzielne komitety naukowe, są rozmieszczone w odrębnych komisjach CKK, mimo że pojawia się coraz więcej instytutów, które przynajmniej w swojej nazwie ujmują chemię i biochemię lub biotechnologię. Brakowi silniejszych powiązań interdyscyplinarnej współpracy pomiędzy zespołami sprzyja też nasz system zdobywania stopni naukowych, który w znacznej mierze zawęża horyzont badawczy, ograniczając go do poszczególnych dyscyplin. Bardzo rzadko prace doktorskie, czy rozprawy habilitacyjne, wykraczają poza jedną dyscyplinę nauki. Zespoły badawcze, z wyjątkiem nielicznych instytutów PAN i niektórych resortowych, są monodyscyplinarne.

Opierając się na sprawnie zorganizowanej współpracy międzyinstytutowej łatwiej można kreować specjalistyczne laboratoria środowiskowe, w których

możliwe będzie przeprowadzanie w szerszym zakresie nie tylko zaawansowanych analiz efektów biologicznych na żywym materiale, ustalenia struktur makromolekuł, ale także tworzenie krajowych banków mikroorganizmów, powiązanych z siecią analogicznych banków zagranicznych. Liczba polskich banków mikroorganizmów jest mała (około 15). Jedyne dwa z nich: Kolekcja Kultur Drobnoustrojów Przemysłowych w Instytucie Przemysłu Rolno-Spożywczego i Biotechnologii, w Warszawie, będąca oficjalną depozytornią Urzędu Patentowego (jest ona członkiem World Federation of Culture Collections oraz European Culture Collection Federation) oraz Polska Kolekcja Mikroorganizmów prowadzona w Instytucie Immunologii i Terapii Doświadczalnej, we Wrocławiu, pełnią funkcje rzeczywistych banków mikroorganizmów. Pozostałe mają charakter nieomal „banków prywatnych”, a z pewnością nieformalnych. Informacja o istniejących w Polsce bankach mikroorganizmów jest niewielka. Zatem, wiele polskich zespołów badawczych przesyła swoje mikroorganizmy do banków zagranicznych, jak np. American Type Culture Collection w Rockville, Maryland, USA; Yeast Genetic Stock Center, University of California at Berkeley, USA; Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen GMBH, Niemcy. Brak jest też ogólnie dostępnych informacji o laboratoriach, w których można w sposób fachowy oznaczyć izolowane mikroorganizmy, a liczba takich laboratoriów jest zdecydowanie zbyt mała jak na potrzeby polskiej biotechnologii.

Na podstawie posiadanych danych możemy stwierdzić, że brak jest większego zainteresowania badaniami podstawowymi w zakresie biologii i fizjologii komórki, a zatem tych elementów badawczych, które w znacznym stopniu inspirują rozwój biotechnologii. Zagadnieniami tymi zajmują się nieliczne centra badawcze, do których można zaliczyć Instytut Biologii Doświadczalnej PAN w Warszawie oraz pojedyncze osoby na Uniwersytecie Jagiellońskim i Uniwersytecie Łódzkim. Rozkład potencjału badawczego pomiędzy „biotechnologiami klasycznymi” i „biologią molekularną” jest porównywalny (po około 20 zespołów badawczych); nieco mniej zespołów pracuje w obszarze „enzymologii” (w sumie około 15) i „biotechnologii roślin” (łącznie 6). Zbyt mało zespołów zajmuje się „biotechnologią zwierząt” (4, w tym głównie Instytut Weterynarii w Puławach oraz Instytut Genetyki i Hodowli Zwierząt PAN w Jastrzębcu). Zaledwie 3 zespoły w sposób zorganizowany deklarują swoje zainteresowanie szczególnie ważnym działem biotechnologii, jakim jest „informatyka”. Stosunkowo liczne zespoły zaangażowane są w badania w obszarze ochrony środowiska naturalnego. Skupione są one zarówno w instytutach PAN, resortowych i uczelnianych. Głównym obiektem zainteresowania są problemy oczyszczania wody i ścieków. Można jednak odnieść wrażenie, że zdecydowana większość zespołów zajmuje się raczej monitorowaniem zanieczyszczeń (co przy obecnych możliwościach aparaturowych nie sprawia większych trudności) i utyskiwaniem na katastrofalny stan naszego środowiska.

Dokonane przez ekspertów oceny cząstkowe (których „ekstrakty” — jak już wspomniano — stanowią część tego opracowania) są podstawą do sformułowania następujących bardziej ogólnych stwierdzeń i wniosków:

1. Biologia molekularna. Jest ona podstawowym i niezbędnym warsztatem badawczym stosowanym do rozwiązywania problemów biochemicznych i biologicznych. Wymagane są umiejętności i możliwości wykonywania zadań w zakresie: izolowania kwasów nukleinowych, amplifikacji DNA (np. PCR), chemoenzymatycznej syntezy genów, ich sekwencjonowania, wywoływania punktowych i kasetowych mutacji, wprowadzenia genów do organizmów i uzyskiwania ich ekspresji, pozyskiwania i izolowania rekombinowanych białek, fuzji komórkowych i uzyskiwania monoklonalnych przeciwciał. Mimo że wiele placówek naukowych (ponad 15) podaje, iż prowadzone badania podstawowe w zakresie biologii molekularnej są zaawansowane to stan badań w tym zakresie trudno uznać za zadowalający.

W stosunku do roku 1984 należy stwierdzić zwielokrotnienie potencjału badawczego oraz unowocześnienie warsztatu, a w szczególności wydatną poprawę wyposażenia laboratoriów w nowoczesną aparaturę oraz zbudowanie sieci informacji naukowej umożliwiającej dostęp do światowych banków danych. Jednakże odniesienie do stanu z roku 1984 jest niewystarczające bowiem w ciągu dziesięciu lat dokonała się w świecie rewolucja biotechnologiczna, której próg nie jest osiągalny w polskich laboratoriach. Przykładowo, jeden instytut — Gesellschaft für Biotechnologische Forschung mbH w Brunzshwiku, Niemcy, zatrudniający 650 osób — poziomem i uzyskiwanymi wynikami przewyższa dorobek całego polskiego środowiska pro- i biotechnologicznego. W *Ocenie stanu biologii molekularnej* opracowanej przez Komitet Biochemii i Biofizyki PAN w roku 1994 (13) uznaje się osiąganą poziom prac z zakresu biologii molekularnej, wykonywanych w Polsce, jako odpowiadający średniemu poziomowi międzynarodowemu. Największa część prac obejmująca pełny cykl badań, od klonowania genu po transkrypcję i translację, dotyczy mikroorganizmów. Prace z zakresu biologii molekularnej obejmująca rośliny i zwierzęta prowadzone są tylko w nielicznych laboratoriach. Warto jednak zdać sobie sprawę, że wyniki tych badań przenoszone są w sferę zastosowań niezwykle rzadko.

Na podkreślenie zasługuje udział zespołów z IBB PAN i UW w międzynarodowym programie sekwencjonowania genomu drożdży oraz opanowanie przez szereg zespołów (Zakład Biofizyki UW, IBB PAN, IChB PAN, Instytut Chemii UG) umiejętności modelowania struktury białek i kwasów nukleinowych.

Biologia molekularna stanowi podstawę osiągnięć nowoczesnych biotechnologii. Niemożliwe jest wyłączenie osiągnięć w tej dziedzinie z innych dyscyplin, bezpośrednio aplikacyjnych, bowiem one wszystkie noszą znamiona i „piętno” biologii molekularnej oraz jej sukcesów. W szczególności osiągnięcia metodologiczne są podstawą do prowadzenia wszelkich prac wdrożeniowych, bardziej szczegółowo omówionych w kolejnych podrozdziałach.

2. Biotechnologie klasyczne. Reprezentują one skumulowane umiejętności i wiedzę w zakresie mikrobiologii, biochemii technicznej i inżynierii procesowej stanowią bazę rozwoju nowych biotechnologii o znaczeniu przemysłowym. Mimo że badania w tym zakresie prowadzone są nieomal przez wszy-

stkie większe uniwersytety i politechniki, a także niektóre akademie rolnicze oraz instytuty resortowe, liczba wdrożeń i uruchamianych nowych technologii jest mała jak na zapotrzebowanie naszego kraju. W tej grupie placówek znajduje się jednak naturalne zaplecze kadrowe dla tworzącego się powoli rodzimego przemysłu biotechnologicznego. Kadra ta jest przygotowana do podjęcia wdrożeń biotechnologicznych we wszystkich etapach procesu technologicznego (od hodowli i genetycznej modyfikacji organizmów po inżynierię bioprosocową). Niewątpliwym czynnikiem ułatwiającym wprowadzanie nowych biotechnologii byłoby stworzenie pilotowych, ogólnie dostępnych stacji doświadczalnych, wyposażonych w specyficzne urządzenia i przydatne do prowadzenia prac w skali półtechnicznej. Warto zaznaczyć, że takie badania dla przemysłu chemicznego prowadzi podobna instalacja w Sarzynie.

Do niewątpliwych osiągnięć polskiej biotechnologii można też zaliczyć prace nad izolacją i charakterystyką genu fenoliazy tyrozynowej *Athrobacter freundii* oraz jego klonowania i ekspresji w *Escherichia coli*. Hodowle bakterii *E. coli* zawierających plazmidy o różnym stopniu delekcji przed genem *tpl* umożliwiły jednoznaczne określenie promotora. Dane te są niezbędne dla konstrukcji szczepu przemysłowego. Prace wykonano w Pracowni Genetycznej Instytutu Biochemii Technicznej Politechniki Łódzkiej we współpracy z Uniwersytetem w Strathclyde (GB) i laboratorium TERPOL w Sieradzu.

Pewnym optymizmem może napawać fakt przygotowania (Instytut Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego w Warszawie i Instytut Biochemii Technicznej PŁ w Łodzi), wdrożenia i realizacji kilku wartościowych nowoczesnych technologii enzymatycznych przez Wydział Produkcji Preparatów Enzymatycznych ZPOW „Pektowin” w Jaśle. Opracowana w tym zakładzie linia technologiczna do produkcji grzybnioowych preparatów enzymatycznych na stałym podłożu jest nowoczesnym i efektywnym rozwiązaniem technicznym, unikatowym w Europie.

Ważnym osiągnięciem jest także wprowadzenie przez Instytut Przemysłu Rolno-Spożywczego i Biotechnologii w Warszawie do produkcji w pięciu (z dziewięciu istniejących) drożdżowniach, trzech osmolitycznych szczepów *Saccharomyces cerevisiae* skonstruowanych z zastosowaniem metody hybrydyzacji somatycznej protoplastów.

3. Biotechnologie służące ochronie zdrowia społeczeństwa. Skupia się w nich uwagę na wytwarzaniu leków za pomocą inżynierii genetycznej, projektowaniu środków do terapii genowej, stosowaniu racjonalnych metod projektowania związków biologicznie aktywnych, wykorzystaniu produktów naturalnych coraz częściej i szerzej stosowanych w medycynie, produkcji nowoczesnych szczepionek dla ludzi i zwierząt oraz produkcji środków diagnostycznych dla zastosowań *in vitro* i *in vivo*. Na podstawie prowadzonych badań w tej dziedzinie tworzy się przemysł wysokiej techniki, wytwarzający materiały o bardzo dużej wartości jednostkowej. Sukcesy w zakresie produkcji nowych terapeutyków, środków diagnostycznych i prewencyjnych wymagają nie tylko ukierunkowanego adaptowania i wykorzystania wiedzy z zakresu biologii molekularnej i inżynierii białkowej, ale również wspierającego rynku kapitałowego

i mądrego mecenatu państwa. Niestety dotychczas zastosowanie biotechnologii dla ochrony zdrowia w Polsce w zasadzie nie wyszło poza zakres badań.

Na wymienienie zasługują tu prace prowadzone nad: syntezą anty-senso-wych oligonukleotydów (Centrum Badań Molekularnych i Makromolekularnych PAN w Łodzi); rekombinowanymi białkami (Centrum Badań Molekularnych i Makromolekularnych PAN w Łodzi, Instytut Chemii Bioorganicznej PAN w Poznaniu, Akademia Medyczna w Łodzi, Centrum Mikrobiologii i Wirusologii PAN w Łodzi); syntezą oligonukleotydów (Centrum Badań Molekularnych i Makromolekularnych PAN w Łodzi i Instytut Chemii Bioorganicznej PAN w Poznaniu); sondami genetycznymi (Zakład Genetyki Człowieka PAN w Poznaniu); komponentami testów diagnostycznych (Akademia Medyczna w Łodzi i Instytut Immunologii i Terapii Doświadczalnej PAN we Wrocławiu, Zakład Genetyki Człowieka PAN w Poznaniu, Akademia Medyczna w Szczecinie); przeciwwirusowymi szczepionkami dla zwierząt (Instytut Weterynarii w Puławach, Przedsiębiorstwo Farmaceutyczne TERPOL w Sieradzu, Międzyuczelniany Wydział Biotechnologii w Gdańsku); oraz syntezą i poszukiwaniem nowych leków (Instytut Biochemii i Biofizyki PAN w Warszawie, Instytut Biologii Doświadczalnej im. Nenckiego w Warszawie, Instytut Biofarmacji AM w Warszawie, Instytut Chemii Politechniki Gdańskiej, Agropharm SA w Łodzi, Międzyuczelniany Wydział Biotechnologii w Gdańsku).

Należy wymienić tu również badania nad biosyntezą i zastosowaniem proteinaz aspartylowych, cysteinowych i serynowych oraz ich inhibitorami, prowadzonymi w Instytucie Biochemii UW. Białka te i ich genetycznie uzyskane analogi, o bardzo niskiej immunogenności, znajdują z pewnością zastosowanie m.in. w leczeniu ostrego zapalenia trzustki, leczeniu rozedmy płuc i zaburzeń krzepnięcia krwi.

Godne wymienienia efekty wdrożeniowe w obszarze biotechnologii uzyskano w Instytucie Biotechnologii i Antybiotyków w Warszawie, w którym na podstawie wyników uzyskanych z przeprowadzonych własnych badań wdrożono produkcję antracykliny oraz otrzymano hybrydoma produkującego przeciwciała monoklonalne. W instytucie tym w latach 1986-1994 opracowano szereg biotechnologii, które być może nie dorównują naszym ambicjom, ale stanowią ważny wkład do bieżącej produkcji powszechnie poszukiwanych leków. Są to m.in. technologie wytwarzania penicyliny G (1987), ryfamycyny (1987), erytromycyny (1988), cefalosporyny C oraz kwasu 7-AC (1990), linkomycyny (1990), kanamycyny (1991) i sisomycyny (1992).

W Zakładzie Genetyki Instytutu Mikrobiologii UW prowadzi się interesujące badania nad izolacją i analizą funkcjonalną nie znanych dotąd genów komórki drożdży *Saccharomyces cerevisiae*, oraz nad mechanizmem wielorakiej oporności komórek eukariotycznych na inhibitory. Dokładne poznanie tego mechanizmu pozwoli na wykorzystanie funkcji sekrecyjnych komórek drożdży, pełniących rolę gospodarza w klonowaniu i ekspresji obcych genów kodujących białka. Jest ono bardzo ważne z ekonomicznego punktu widzenia. W Instytucie Biochemii UW opracowano metody translacji *in vivo* i *in vitro* cytochromu b 6 z chloroplastów w szpinaku w celu poznania mechanizmu

wbudowywania tego białka do błon tylakoidowych, a także jego oddziaływania z liposomami.

Badania nad zastosowaniem transformacji mikrobiologicznych w syntezach nowych farmaceutyków powiązane z uzyskiwaniem szczepów użytecznych zarówno w syntezie leków jak i produkujących interesujące metabolity wtórne prowadzone są na Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Politechnice Wrocławskiej, Instytucie Farmacji w Warszawie i Instytucie Mikrobiologii i Wirusologii PAN w Łodzi. Badania te mają już wieloletnie tradycje i obok elementów ogólnopoznawczych znalazły swój wyraz w wielu zastrzeżeniach patentowych.

4. Biotechnologie na rzecz wyżywienia społeczeństwa. Są to zadania produkcji zwierzęcej i roślinnej, intensywnie rozwijające się w krajach zaawansowanych. W Polsce możliwości realizacyjne biotechnologii roślin są skromne. Jedynie kilka ośrodków prowadzi badania z zakresu biologii molekularnej roślin (IChB PAN w Poznaniu, IBB PAN w Warszawie, CMiW PAN w Łodzi, UAM w Poznaniu, IGR PAN w Poznaniu, SGGW w Warszawie, UW i AR w Poznaniu) oraz w zakresie kultur tkankowych i komórkowych (Akademia Rolnicza w Krakowie, Instytut Sadownictwa i Kwiaciarstwa w Skierniewicach, Ogród Botaniczny PAN w Powsinie, Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin w Radzikowie i Katedra Genetyki UŚI w Katowicach). Jedynie Akademia Rolnicza w Poznaniu przygotowana jest do prowadzenia hodowli tkanek i komórek roślinnych w skali ćwierćtechnicznej.

Najbardziej zaawansowane są prace nad uzyskaniem transgenicznych ziemniaków odpornych na wirusy i molekularnego monitorowania infekcji wirusowych (IBB PAN w Warszawie), uzyskanie transgenicznych drzew odpornych na wirusy (UAM w Poznaniu i ISiK w Skierniewicach). Wyhodowanie pierwszego w świecie transgenicznego pszenżyta odpornego na herbicyd (IHAR w Radzikowie) oraz wprowadzenie metody homozygotyzacji przez haploidyzację do praktyki hodowlanej rzepaku (IHAR w Radzikowie) i jęczmienia (IGR w Poznaniu). Warte zaznaczenia są także badania podstawowe nad zrozumieniem mechanizmu wiązania atmosferycznego azotu i udziału w nim genomu roślinnego (IChB PAN w Poznaniu) i bakteryjnego (IM UMCS w Lublinie). W Instytucie Biochemii UW prowadzone są interesujące badania nad genomami mitochondrialnymi linii męskosterylnej fasoli, w celu uzyskania mieszańców o zwiększonej wydajności plonów i podwyższonej oporności na choroby i nieprzyjające warunki środowiska.

Jedyną powszechnie stosowaną w Polsce biotechnologią w produkcji zwierzęcej jest sztuczna inseminacja krów. Badania z zakresu biotechnologii zwierząt prowadzone są głównie w: IGiHZ PAN w Jastrzębcu (superowulacja i przenoszenie zarodków bydła, markery chorób i wad genetycznych zwierząt hodowlanych, mapowanie genów zwierząt gospodarskich, badania cytogenetyczne, próby uzyskania zwierząt transgenicznych); IWe w Puławach (markery wad genetycznych, szczepionki); IZt w Balicach k. Krakowa (badania cytogenetyczne, transfer i konserwacja zarodków, klonowanie zwierząt i zapłodnienie *in vitro*); oraz SGGW w Warszawie i Akademii Rolniczych w Poznaniu, Lublinie i Krakowie, a także w WSP w Kielcach. Jednakże tylko klono-

wanie zarodków i niektóre z badań nad markerami genetycznymi dorównują poziomowi światowemu.

Na razie rolnicy nie są zainteresowani wprowadzeniem nowoczesnych biotechnologii do praktyki, a tym bardziej finansowaniem badań biotechnologicznych. Świadczy o tym choćby fakt, że wyniki pionierskich w skali światowej badań nad charakterystyką powtarzających się, niekodujących sekwencji genomu bydła, decydujących w mapowaniu tego genomu, wykonane w latach sześćdziesiątych i siedemdziesiątych w Zakładzie Biochemii AM w Łodzi nie zostały zabezpieczone patentami.

Przemysł spożywczy jest obok farmaceutycznego najważniejszą dziedziną gospodarki narodowej, w której od lat stosowane są procesy biotechnologiczne. Głównymi branżami przetwórstwa żywności są przemysł fermentacyjny oraz mleczarstwo. Stosowane są tutaj technologie tradycyjne, oparte na wykorzystywaniu właściwości wyselekcjonowanych mikroorganizmów i preparatów enzymatycznych. Wartym odnotowania są osiągnięcia uzyskane w Instytucie Biochemii UWr, gdzie opracowano warunki biosyntezy proteinaz aspartylowych przez *Fusarium moniliforme* i *Penicillium camemberti* i określono ich właściwości biotechnologiczne w aspekcie ich wykorzystania w produkcji serów dojrzewających.

5. Biotechnologia jest powszechnie wykorzystywana w **ochronie naturalnego środowiska**. W Polsce badania ograniczają się głównie do biologicznego oczyszczania ścieków. Głównym kierunkiem systematycznych badań w tym obszarze biotechnologii winny być zagadnienia rekultywacji skażonych terenów (poligony po armii radzieckiej, tereny zdewastowane przez przemysł i górnictwo), ochrony wód podziemnych, dezodoryzacji gazów, usuwania substancji biogennych ze ścieków i utylizacji odpadów (uzyskiwanie biogazu). Pojawiają się też trudności w przeprowadzeniu degradacji polimerów, oraz biologicznej „neutralizacji” zalegających w środowisku metali ciężkich. Nie został też w pełni rozwiązany problem odpowiedniej adaptacji szczepów do degradacji szczególnie niebezpiecznych i uciążliwych odpadów przemysłowych, wymagających warunków beztlenowych. W większym stopniu w monitorowaniu zanieczyszczeń winny być wykorzystane bioindykatory. W zakresie inżynierii sanitarnej należy docenić wysiłki pracowników Politechnik: Wrocławskiej i Śląskiej (w Gliwicach), zaś w zakresie utylizacji odpadów lignocelulozowych Akademii Rolniczej i Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie.

Należy też zwrócić baczniejszą uwagę na problemy zanieczyszczenia naturalnego środowiska spowodowane koniecznością stosowania chemicznych środków ochrony roślin. Alternatywą jest podpatrywanie i wykorzystanie naturalnych systemów obronnych roślin, świadomej ingerencji w procesy metamorfozy owadów oraz mikroorganizmy, które są naturalnymi regulatorami populacji owadów, w naturalnych warunkach, a nie infekują wyższych organizmów. W badaniach nad procesami metamorfozy owadów, feromonami i oddziaływaniami allelochemicznymi owad/owad oraz roślina/owad uczestniczy wiele zespołów badawczych. Obejmują one zarówno badania podstawowe i aplikacyjne (syntezy bioanalogów hormonów juwenilnych owadów i innych hor-

monów owadzych na PWr, UWr, IChO PAN w Warszawie, IChB PAN i IOR w Poznaniu, IPO w Warszawie, AM w Poznaniu). Analizuje się zarówno mechanizmy powstawania sygnału hormonalnego, jak i jego przekazywania, określając sekwencję genu białka transportującego i znaczenie jego potranslacyjnych modyfikacji dla modulacji jego funkcji (PWr). W celu przeprowadzenia dokładnego fizykochemicznego opisu interakcji receptora ekdyzonu z DNA opracowano system pozwalający z jednej strony na ekspresję jego poszczególnych domen w komórkach bakteryjnych, z drugiej zaś na otrzymanie ich dostatecznych ilości w formie homogennej (PWr). W poszukiwaniach mikroorganizmów, które mogłyby być (lub już są) wykorzystywane jako ekologicznie bezpieczne „bioinsektycydy” zaangażowanych jest wiele uczelnianych zespołów badawczych SGGW, PWr, UWr, PS, AR we Wrocławiu, Poznaniu, Lublinie, Szczecinie i Krakowie, WSRP w Siedlcach), instytutach PAN (IE w Dziekanowie Leśnym, IAIŁ w Poznaniu, IZo w Warszawie) i instytutach resortowych (IOR w Poznaniu, IBL w Warszawie, IPO w Warszawie, ISiO w Skierniewicach, IBA w Warszawie).

6. Biotechnologiczne źródła energii. Rozpatrywane są one w krajach rozwiniętych w grupie biotechnologii klasycznych, takich jak: fermentacja w fazie stałej, przetwórstwo odpadów municypalnych, wykorzystanie odchodów zwierzęcych w procesach fermentacyjnych do uzyskania biogazu. W tym zakresie jako klasyczna biotechnologia może być uznana działalność Instytutu Sadownictwa w Skierniewicach, gdzie wykorzystuje się odchody zwierzęce do wytwarzania podłoża dla produkcji pieczarek i bocznika, oraz wykorzystania odpadów lignocelulozowych do produkcji również innych grzybów jadalnych (UMCS i AR w Lublinie).

Szczególnie bogatym, nie wykorzystanym w pełni źródłem energii, są właśnie odpady przemysłowe z przerobu masy lignocelulozowej (wg *Rocznika Statystycznego* z roku 1989 produkcja celulozy w Polsce w roku 1986 wynosiła 614 tys. ton). Drugie tyle stanowią odpady produkcyjne, takie jak: lignina, ksylany i inne związki o charakterze węglowodanów. Niebagatelne źródło energii to odpady z przemysłu węglowego. Ich wykorzystanie oparte jest na znanych technologiach (produkcja biogazu, biotransformacje odpadów lignocelulozowych z wykorzystaniem odpowiednich mikroorganizmów), choć niektóre wymagają jeszcze dalszych badań podstawowych i aplikacyjno-wdrożeniowych.

Biorąc pod uwagę znaczenie tych badań tak w ujęciu pozyskiwania nowych źródeł energii jak i ochrony środowiska naturalnego, liczba zespołów zaangażowanych w tym obszarze wydaje się zbyt mała. Są to zespoły pracujące w: AR w Lublinie (utylicacja odpadów lignocelulozowych, otrzymywanie alkoholu etylowego i cukrów prostych) i UMCS w Lublinie (utylicacja odpadów lignocelulozowych w hodowli grzybów wyższych, wykorzystanie mikroorganizmów do biotransformacji odpadów lignocelulozowych). Utylicacją odpadów lignocelulozowych z zastosowaniem metod mikrobiologicznych zajmują się również zespoły z Politechniki Łódzkiej, Instytutu Biotechnologii Przemysłu Farmaceutycznego w Warszawie i Politechniki Warszawskiej. Przed kilkoma laty podjęto również interesujące badania nad mikrobiologiczną degradacją

węgla kamiennego i brunatnego, której produkty byłyby wykorzystywane jako paliwo płynne i cenne surowce w syntezie chemicznej. Badania te prowadzi zespół z AR i PWr we Wrocławiu.

7. Inżynieria bioprosesowa. Jej prawidłowy i szybki rozwój, jest podstawowym warunkiem wprowadzenia do praktyki gospodarczej osiągnięć zespołów biologów i biochemików. Należy stymulować kształcenie kadr w dziedzinie inżynierii bioprosesowej oraz prace badawcze w tej dziedzinie. W badaniach tych muszą uczestniczyć specjaliści od automatyzacji procesów biotechnologicznych, programiści komputerowi i wielu innych. Niestety, ale zespołów zajmujących się tą problematyką jest niewiele i są nieliczne (ośrodki: łódzki, warszawski, śląski, wrocławski i bydgoski).

8. Kształcenie kadr dla biotechnologii. Nawet przy dobrym rozpoznaniu krajowych potrzeb wykwalifikowanych pracowników dla przemysłu i badań naukowych, aktualny system kształcenia kadr, przynajmniej na niektórych uczelniach, nie pozwala na skuteczne sterowanie i preferowanie deficytowych specjalności, niezbędnych dla prawidłowego rozwoju biotechnologii. Studenci mają pełną swobodę wyboru kierunków kształcenia, wykładów i wykładowców, niekoniecznie opartego na merytorycznych wartościach. Studenci kierują się przy tym często modnymi hasłami, jak np. inżynieria genetyczna, inżynieria enzymów, czy inżynieria ekologiczna, nie w pełni rozumiejąc ich znaczenia. Bez większego przekonania podejmowane są próby organizacji studiów podyplomowych w obszarze biotechnologii. Wpływa na to w istotny sposób zupełny brak zainteresowania przemysłu taką formą kształcenia pracowników. Tego typu inicjatywy powinny realizować przede wszystkim silne ośrodki naukowe, w których pracują specjaliści wielu dyscyplin współtworzących biotechnologię. Trudno też spodziewać się, aby każda uczelnia była w stanie kształcić jednakowo dobrze we wszystkich obszarach i metodologiach wykorzystywanych w biotechnologii. Każdy ośrodek czy uczelnia powinien zatem określić swój indywidualny profil kształcenia, uzasadniony własnym potencjałem badawczym i dydaktycznym. Komitet Biotechnologii nie może oceniać każdego programu studiów biotechnologicznych, realizowanego w poszczególnych uczelniach, ale powinien mieć prawo rekomendowania tych najlepszych, które są oparte na dobrym rozpoznaniu potrzeb kraju, mają logiczną konstrukcję i realizowane są przez odpowiednio przygotowaną kadrę. Obserwuje się zjawisko nadużywania szyldu „biotechnologia”. Już prawie każda uczelnia w Polsce wprowadziła ten, lub podobny przedmiot, do programu nauczania na wydziałach chemii i biologii, oraz akademiach rolniczych i ekonomicznych. Niekiedy zajęcia z biotechnologii prowadzą specjaliści z zupełnie odległych dyscyplin nauki (np. chemii polimerów). Biorąc pod uwagę aktualne programy nauczania deklarowane przez uczelnie można stwierdzić, że najlepiej prezentują się uczelnie w silnych ośrodkach akademickich.

Politechnika Łódzka od lat ukształtowała swój program nauczania na szeroki zakres problemów związanych z biotechnologią wytwarzania i przetwarzania środków spożywczych. Ma dobrze wyposażone laboratoria badawcze i dydaktyczne, a także odpowiednio przygotowaną kadrę wykładowców.

Wyraźny profil nauczania, ukierunkowany na inżynierię bioprosesową, można zauważyć na dwóch Politechnikach: Łódzkiej i Warszawskiej; w mniejszym stopniu na Wrocławskiej i Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy. Na Politechnice Wrocławskiej indywidualny rys programowy ukształtowano opierając się na chemii produktów naturalnych i chemii bioorganicznej, kierunków badawczych, które na tej uczelni mają wieloletnią tradycję. Na Uniwersytecie Wrocławskim, wykorzystując potencjał wysoko wykwalifikowanej kadry w obszarze biotechnologii enzymów i peptydów biologicznie czynnych, uruchomiono w roku akademickim 1986/1987 kierunek kształcenia w zakresie teoretycznych i praktycznych podstaw biotechnologii produktów pochodzenia roślinnego, zwierzęcego i mikrobiologicznego oraz ich wykorzystania w lecznictwie i przemyśle żywnościowym. Na Uniwersytecie im. Adama Mickiewicza w Poznaniu przygotowuje się absolwentów kierunku biotechnologii w zakresie konstrukcji roślin transgenicznych i transformowanych mikroorganizmów o cechach przydatnych w rolnictwie. Specjalistów przygotowanych do organizowania i sterowania procesami biologicznymi w różnych dziedzinach rolnictwa i gospodarki żywnościowej podjęto się kształcić na Wydziale Rolniczym Akademii Rolniczej w Poznaniu. Na Uniwersytecie Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie kształcenie w obszarze biotechnologii oparto na potencjale dydaktyczno-naukowym Instytutu Mikrobiologii wraz z Zakładem Biochemii UMCS, w których zasadniczą tematyką badawczą są zagadnienia związane z bakteriami glebowymi, metabolizmem, mutagenezą i genetyką molekularną bakterii wiążących azot atmosferyczny. Na Politechnice Gdańskiej przekazuje się studentom wieloletnie doświadczenia kadry w zakresie biotechnologii lipidów, utrwalania żywności oraz wybranych leków. Komplementarne kwalifikacje do wykształcenia absolwentów Politechniki Gdańskiej uzyskują studenci Międzyuczelnianego Wydziału Biotechnologii Akademii Medycznej i Uniwersytetu Gdańskiego. Ambicją pracowników naukowo-dydaktycznych tego Wydziału jest wykształcenie specjalistów w zakresie biotechnologii medycznej z umiejętnością wdrażania nowoczesnych technik terapeutycznych. W Polsce obserwujemy całkowity brak szerokiego programu edukacji społecznej jak również odczuwamy dotkliwy brak popularyzacji nauki. Z pewnością niedostatek programów popularnonaukowych (książek, artykułów, audycji RTV) ma istotny związek ze złym finansowaniem nauki generalnie.

9. Uregulowania prawne i działalność prolegislacyjna. Stanowią one ważny, ale jednocześnie szczególnie złożony obszar działalności w dziedzinie biotechnologii. Brak uregulowań prawnych szkodzi zarówno prowadzeniu prac badawczych na poziomie badań podstawowych, jak i aplikacyjnych, a szczególnie wdrożeniowych. Jest to widoczne przy wprowadzaniu nowych produktów na rynek konsumenta. Polska jest członkiem i aktywnie uczestniczy w kilku ważnych stowarzyszeniach europejskich zajmujących się tymi zagadnieniami. Zajmują się one zarówno szeroko rozumianym bezpieczeństwem pracowników nauki prowadzących eksperymenty, których wyniki są trudne do przewidzenia, jak również bezpieczeństwem biologicznym przyszłych pokoleń i całego naturalnego środowiska. Ważnym elementem ustaleń legisla-

cyjnych są też uregulowania dotyczące własności intelektualnej.

Środowisko naukowe zabiega o utworzenie państwowego urzędu do spraw rozwoju biotechnologii, jak również nadzoru i kontroli prac realizowanych z zastosowaniem genetycznie modyfikowanych organizmów (GMO). W opinii polskich ekspertów nie jest celowe wprowadzenie nowych ustaw regulujących prace związane z zastosowaniem GMO, natomiast konieczne jest opracowanie instrukcji regulujących takie badania w oparciu na wzorcach opracowanych w krajach Unii Europejskiej.

Wnioski

Uczni polscy z niechęcią przyznają się do swojej biedy. Często w ekstremalnie trudnych warunkach, wspomagani współpracą z zagranicznymi przyjaciółmi, potrafią uzyskać zadziwiająco interesujące wyniki swoich badań. Praca w takich realiach wytworzyła u nich określone cechy charakterologiczne, szczególnie cenną pomysłowość twórczą, zaradność w naprawianiu starej i konstrukcji nowej (zastępczej) aparatury i zadziwiającą pracowitość, ale ograniczającą się najczęściej do pracy w zagranicznych laboratoriach. Dlatego nie każdy nasz młody pracownik naukowy po powrocie z długoterminowego stażu zagranicznego jest w stanie zaadaptować się do krajowych warunków. Trzeba też pamiętać, że starsze pokolenie uczonych, którzy traktują swoją pracę jako tę najbardziej wartościową część ich życia, powoli odchodzi. Młodzi widzą zbyt wielkie dysproporcje pomiędzy poziomem życia pracowników nauki i innymi grupami społeczeństwa. Wyjazd na staż zagraniczny nie jest już sposobem na radykalną poprawę warunków ekonomicznych i organizację swojego życia. Ciekawość twórcza młodych adeptów nauki przegrywa z alternatywą działania, np. w sferze tzw. biznesu.

Należy rozważyć możliwość stworzenia systemów ochronnych polskiej myśli technicznej przy jej realizacji na rynku krajowym, analogicznie jak to ma miejsce w przypadku *lobby* rolniczego, samochodowego, elektronicznego, itp. Polscy uczeni, pracujący w równie trudnych warunkach konkurencji z zachodnimi koncernami, winni przynajmniej w ograniczonym zakresie korzystać z pewnych preferencji.

Mając na uwadze złożony układ powiązań interdyscyplinarnych, różnorodność wykorzystywanych metodologii, łatwo zauważyć, że badania w obszarze biotechnologii wymagają stałych, wysokich nakładów finansowych. Dlatego też niezbędne są pociągnięcia organizacyjne, które umożliwią zgromadzenie możliwie kompletnego zestawu aparatury badawczej i prawidłowo wyszkolonej kadry w takim ośrodku, który będzie w stanie je należycie wykorzystać i poprzez dobrą informację o swoich zasobach aparaturowych i technikach badawczych umożliwi korzystanie z niej szerszemu ogółowi badaczy. Trzeba jednak wyraźnie sprecyzować pojęcie tzw. unikatowej aparatury. Nie można bowiem do niej zaliczyć, np. chromatografów HPLC, bioreaktorów, elektronicznych liczników komórek, spektrometrów UV/VIS, itp. Aparatura tego typu

winna stanowić standardowe wyposażenie każdego laboratorium badawczego.

W ostatnich latach nastąpił zasadniczy zwrot polskiej ekonomii w kierunku gospodarki rynkowej. Jednakże nic nie wskazuje na to, aby w bliskiej przyszłości pojawił się w Polsce rynek kapitałowy skłonny do lokowania swoich środków finansowych w ryzykownych przedsięwzięciach biotechnologicznych. Wobec obniżenia nakładów na naukę (0,56% dochodu narodowego brutto w 1994 r.) zawężeniu ulega potencjał kadrowy zaangażowany w badania i rozwój (B+R) w zakresie pro- i biotechnologicznym na skutek odpływu kadr za granicę.

Za niewątpliwý sukces Komitetu Biotechnologii należy uznać wykreowanie Sekcji Biotechnologii przy KBN. Jej funkcja nie dotyczy działalności pro- bądź kreatywnych w stosunku do biotechnologii, a ogranicza się, zgodnie z regulaminem KBN, do oceny projektów wg ich poziomu naukowego. To nie sprzyja koncentracji badań na celach zasadniczych i perspektywicznych.

Komitet Biotechnologii stoi od wielu lat na stanowisku, że konieczne jest ustanowienie i podanie do publicznej wiadomości polityki naukowej państwa koncentrującej się na wybranych działach nauki, służących rozwojowi poszczególnych branż przemysłu, w tym szczególnie „przemysłów wysokiej techniki”.

Sytuacja zmian politycznych spowodowała również istotne przemiany w świecie nauki — nie zawsze korzystne. Brak polityki naukowej państwa wynika zapewne przede wszystkim z perturbacji okresu przejściowego. Inercja systemu nauki i jej specyfika powodują, że skutki nieprzemysłanych działań lub braku koncepcji będą widoczne dopiero po latach. Obawy i pesymizm środowiska naukowego wynikają przede wszystkim z braku rozwiązań następujących kwestii:

- Korelacji prac naukowych z potrzebami przemysłu i koncepcji długofalowego, perspektywicznego rozwoju przemysłu i nauki, w tym także w odniesieniu do biotechnologii.
- Obecne finansowanie zarówno prac badawczych jak i uposażeń pracowniczych powoduje deprecjację, realny spadek wartości realizowanych projektów naukowych, a także prestiżu uczonego, co w konsekwencji spowoduje narastanie trudności kadrowych.

Do elementów optymistycznych należy zaliczyć:

- Zasadniczą rozbudowę i poszerzenie potencjału naukowego w szeregu placówkach (np. IBB PAN i IBK im. M. Nenckiego PAN — oba zlokalizowane w Warszawie oraz IChB PAN w Poznaniu) w zakresie nauk probiotechnologicznych oraz utworzenie trzech silnych i nowoczesnych ośrodków superkomputerowych (w Warszawie, Poznaniu i Wrocławiu).
- Zgłoszenie przez Polskę akcesu do International Center of Genetic Engineering and Biotechnology (ICGEB UNIDO), UNESCO-PAS Network of Molecular Biology oraz European Molecular Biology Organization (EMBO).
- Uzyskanie podstaw prawnych zgodnych ze statutem legislacyjnym UE w zakresie ochrony własności intelektualnej (w szczególności depozytornie mikroorganizmów oraz patenty).

- Utworzenie Sekcji Biotechnologii w KBN, oraz stworzenie przez Komitet Biotechnologii przy Prezydium PAN międzyresortowej platformy do dyskusji i wymiany poglądów, także poprzez publikacje w swym organie, tj. kwartalniku „Biotechnologia”.
- Podczas licznych konferencji krajowych podejmowanie problematyki biotechnologicznej, wykazywanie istotnych wyników naukowych i siły intelektualnej środowiska.
- Atrakcyjność tematyki badawczej w obszarze biotechnologii i fascynacja możliwościami jej aplikacji sprawia, że studia uniwersyteckie w tym kierunku stały się w ostatnich latach bardzo modne. Na kierunkach tych studiuje młodzież wyróżniająca się uzdolnieniami i więcej niż przeciętnym zaangażowaniem.

Jednakże te optymistyczne akcenty nie mogą zmniejszyć obaw, zastrzeżeń i pesymizmu środowiska naukowego wynikających z kwestii wymagających pilnego i jednoznacznego rozwiązania. Mieszczą się one w następujących głównych postulatach.

Postulaty

1. Polska dysponuje kadrą naukową, której wiedza i dokonania w sferze prac badawczych pozwalają na stwierdzenie, że nasz kraj posiada naukowe i kadrowe podstawy dla rozwoju nowoczesnych biotechnologii. Jednak potencjał badawczy w tej dziedzinie dalece nie odpowiada potrzebom prawie czterdziestomilionowego kraju o obecnym poziomie rozwoju gospodarczego. Konieczne jest stwarzanie warunków do jego dalszego wzrostu, zwłaszcza w zakresie biologii molekularnej organizmów wyższych (rośliny, zwierzęta hodowlane, człowiek) oraz związanych z nią dziedzinach biotechnologii i biotechniki. Koniecznym elementem polityki kadrowej jest skupienie w tym obszarze najbardziej aktywnych pracowników, szczególnie uzdolnionej młodzieży. Jednym z istotnych elementów byłoby podwyższenie uposażeń polskich środowisk naukowych.

2. Komitet Biotechnologii ponawia swą propozycję ustanowienia stanowiska Pełnomocnika KBN ds. Biotechnologii, oraz powołanie Agencji Promocji Biotechnologii jako organu sponsorującego transfer wyników naukowych do sfery produkcyjnej. Postulat o potrzebie istnienia Pełnomocnika KBN ds. Biotechnologii wynika z interdyscyplinarnego charakteru biotechnologii oraz konieczności harmonizacji wysiłków badawczych z ich aplikacją przemysłową.

3. Jednym z zasadniczych elementów polityki naukowej Państwa powinna być formalnoprawna regulacja ochrony narodowych własności intelektualnych. W odniesieniu do biotechnologii ma to zasadnicze znaczenie przy założeniu, że prace badawcze mają stanowić podstawę do rozwoju nowoczesnego przemysłu biotechnologicznego. Istotne, jak się wydaje, jest podjęcie prac w zakresie ustanowienia np. „aktu transferu technologii”, określającego zasady sprzedaży licencji oraz znajomość technologii *know-how* z podziałem na

nabywców wykorzystujących je w kraju oraz nabywców zagranicznych.

4. Konieczne jest ustanowienie Urzędu ds. Biobezpieczeństwa oraz wydanie odpowiednich aktów normatywnych, zabezpieczających przed nieświadomym, lekkomyślnym bądź celowym wprowadzaniem do środowiska genetycznie modyfikowanych organizmów o nieokreślonym stopniu biobezpieczeństwa.

5. Szersze zwrócenie uwagi na procesy samoregulacji w przyrodzie, które mogą stanowić nowe, oryginalne i atrakcyjne obiekty badawcze, szczególnie ważne w rolnictwie, ochronie zdrowia i środowiska naturalnego.

Literatura

1. Kornberg A., (1987), *The two cultures: chemistry and biology*, Biochemistry, 26, 6888 – 6891.
2. Stevenson R., (1987), *A gulf between chemists and biologists*, Chem. in Britain, 4, 392.
3. Samuel D., (1984), *Chemistry and the life sciences*, Chem. in Britain, 6, 515 – 517.
4. Bud R., (1988), *Great expectations — the tale of biotechnology*, Chem. in Britain, 6, 441 – 466.
5. *Opportunities in chemistry: long-awaited report issued*, (1985), Chem. & Eng., 9, 9.
6. Bud R., (1993), *The uses of life: a history of biotechnology*, Cambridge University Press, 21.
7. *Biotechnology and biomedicine*, in: *Frontiers in chemical engineering — research needs and opportunities*, (1988), National Academy Press, Washington, 18.
8. *Biotechnology R&D in the EC, Biotechnology Action Programme (BAP) 1985 – 1989*, (1990), vol. 1, Elsevier, Amsterdam, 3 – 18.
9. *Raport Final, Group de coordination chimie-biologie, une analyse des deux appels d'offres, 1991 – 1992*, (1992), CNRS, 1 – 8.
10. Fikus M., Wierzchowski K.L., *Raport o stanie biotechnologii — badania i zastosowania*, (1984), Międzykomitetowy Zespół PAN ds. Biotechnologii (PAN, II Wydział, Warszawa).
11. Wierzchowski K.L. i in., (1989), *Propozycje dotyczące strategii i metod sterowania rozwojem biotechnologii po 1990 r.*, Biotechnologia, 1 (3), 3–9.
12. Legocki A.B., (1989), *Biotechnologia molekularna roślin — rozważania na temat uwarunkowań i perspektyw rozwoju*, Biotechnologia, 3 – 4 (5 – 6), 81 – 85.
13. *Ocena stanu biologii molekularnej*, (1994), Komitet Biochemii i Biofizyki PAN, Warszawa.
14. Stec W.J., (1991), *Nowe biotechnologie*, Nauka Polska, 1, 85 – 96.
15. Legocki A.B., Grajek W., Świtoński M., Twardowski T., (1995), *Uwarunkowania i perspektywy rozwoju agrobiotechnologii w Polsce*, Biotechnologia, 1(28), 11 – 18.
16. Sawicka-Żukowska R., Rzędowski W., (1992), *Rozwój produkcji i zastosowań mikrobiologicznych preparatów enzymatycznych w Polsce*, Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny, 5, 7 – 9.
17. Twardowski T., (ed.), (1995), *Biotechnology regulations*, Biotechnologia, 1(28), 18 – 35.
18. Stec W.J., (1993), *Biotechnology in Poland*, Symposium on „The Other Face of Biotechnology”, Poznań, Biotechnologia, 4(23), 7 – 17.

Streszczenie

Biotechnologia w Polsce ma szansę stać się dziedziną będącą motorem postępu naukowo-technicznego. Szereg dokonań z ostatnich pięciu lat pozwala na optymizm (m.in. uruchomienie nowych laboratoriów, nowelizacja uregulowań prawnych, współpraca z UE, komputeryzacja). Osiągnięcia naukowe w zakresie biotechnologii plasują nasz kraj w relacji do innych państw znacznie wyżej, aniżeli świadczyć by mogła o tym liczba ludności, czy też sytuacja ekonomiczna naszego kraju. Jednakże brak polityki naukowej państwa, w tym także w odniesieniu do biotechnologii, niedofinansowania pracowni naukowych i obniżający się status społeczny pracowników nauki wynikający z ich niskiego uposażenia nie pozwalają na postawienie optymistycznej diagnozy odnośnie do rozwoju krajowej biotechnologii. Do podstawowych zadań należą:

- zwiększenie nakładów na naukę,
- wybranie kierunków priorytetowych biotechnologii (np. agrobiotechnologii, ochrony zdrowia i ekologii).

Polish biotechnology. A report

Summary

It is a good chance that biotechnology will become "the engine" of science and technology development in Poland. Many changes which have occurred over the last 5 years give grounds for optimism: opening of new laboratories, computerization, relationship with United Europe and new legislation towards European standards. The scientific achievements of the scientists are more promising in Poland than in other Central European countries, taking into account the number of people and economic situation. However, no clearcut strategy for the development of science, very limited finances available for basic research and low salaries of scientists can destroy the still positive picture of today's biotechnology in Poland. We urgently need investments in science, and selection of biotechnology priorities (e.g. agrobiotechnology, health protection and ecology).

Key words

biotechnology, Poland, report.

Raport opracowano na polecenie Komitetu Biotechnologii przy Prezydium PAN ze środków Centrum Upowszechniania Nauki PAN, z dotacji Komitetu Badań Naukowych.

Wszystkim autorom opracowań cząstkowych i członkom Komitetu Biotechnologii, którzy swoimi uwagami i informacjami pomogli nam przygotować „Raport” składamy gorące podziękowania.

Szczególnie dużą pomoc okazali Panowie Profesorowie: Paweł Kafarski (przy redakcyjnym opracowaniu wniosków), Tomasz Twardowski (przy przygotowaniu „ekstraktów” opracowań cząstkowych), Wojciech J. Stec (przy formułowaniu końcowych uwag i postulatów).

Spis ekspertyz i opinii publikowanych w „Biotechnologii”

- W. Żernicki, (1989), *Biotechnologia w Polsce do roku 2000*, Biotechnologia, 2(4), 13-21.
- E. Gašior, J. Augustyniak, Z. Lorkiewicz, H. Oberman, (1989), *Raport w sprawie kształcenia kadr w zakresie biotechnologii w Polsce. Próba oceny i postulaty*, Biotechnologia, 2(4), 6-12.
- A. B. Legocki, (1989), *Biotechnologia molekularna roślin — rozważania*

- na temat uwarunkowań i perspektyw rozwoju, *Biotechnologia*, 3-4(5-6), 81-85.
- E. Galas, T. Turkiewicz, (1991), *CPBP 04.11. Doskonalenie procesów biotechnologicznych*, *Biotechnologia*, 1(11), 91-95.
 - M. Laskowski, Jr., (1991), *Suggestions for reorganization of basic research work in biochemistry in Poland*, *Biotechnologia*, 3-4(13-14), 4-14.
 - I. Siemion, (1991), *Uwagi do sugestii prof. M. Laskowskiego w sprawie podniesienia poziomu badań biochemicznych w Polsce*, *Biotechnologia*, 3-4(13-14), 15-17.
 - T. Twardowski, K. Ludwiczak, (1991), *Who is Who*, *Biotechnologia*, 5(15), 6-50; II edycja (1992), 4(23), a także III edycja (1995).
 - W. Schramm, M. Fikus, W. Stec, (1992), *Co dalej z polską biochemią i biotechnologią*, *Biotechnologia*, 1(16), 5-12.
 - A. B. Legocki, M. Nałęcz, (1992), *Powstanie Polskiej Sieci Instytutów Biologii Komórkowej i Molekularnej*, *Biotechnologia*, 2(17), 80-82.
 - T. Gołębiewski, W. Rzędowski, (1992), *Biotechnologie w rolnictwie i przemyśle rolno-spożywczym — Raport z CPBR — 3.15.*, *Biotechnologia*, 2(17), 83-88.
 - B. Pianowska, T. Twardowski, (1992), *Bazy danych dotyczące biotechnologii i nauk probiotechnologicznych dostępne w Polsce w systemie CD-ROM*, *Biotechnologia*, 2(17), 89-112.
 - A. B. Legocki, (1994), *Uwagi na temat aktualnych kierunków rozwoju biotechnologii roślin uprawnych*, *Biotechnologia*, 1(24), 12-16.
 - Z. Walter, (1994), *I Ogólnopolska Konferencja — Nauczanie biochemii i biotechnologii*, *Biotechnologia*, 2(25), 152-153.
 - K. W. Szewczyk, (1994), *Studia biotechnologiczne na Politechnice Warszawskiej*, *Biotechnologia*, 2(25), 163-166.
 - Z. Żak, (1994), *Uniwersyteckie studia biochemii i biotechnologii*, *Biotechnologia*, 2(25), 167-170.
 - W. Lassociński, P. Dullin, W. Walerych, (1994), *Studia biotechnologiczne na Akademii Rolniczej w Poznaniu*, *Biotechnologia*, 2(25), 171-173.
 - A. Chmiel, (1994), *Nauczanie biotechnologii i podręczniki*, *Biotechnologia*, 3(26), 112-117.
 - A. B. Legocki, W. Grajek, M. Świtoński, T. Twardowski, (1995), *Uwarunkowania i perspektywy rozwoju agrobiotechnologii w Polsce*, *Biotechnologia*, 1(28), 11-18.
 - T. Twardowski (ed), (1995), *Biotechnology regulations*, *Biotechnologia*, 1(28), 18-35 i 2(29), 28-31.
 - E. Galas, E. Kwapisz, K. Siwińska, (1995), *Biotechnologia klasyczna — aktualny stan badań w Polsce*, *Biotechnologia*, 2(29), 5-28.

Używane skróty:

AM — Akademia Medyczna

AR — Akademia Rolnicza

ATR — Akademia Techniczno-Rolnicza

CBMiM — Centrum Badań Molekularnych i Makromolekularnych

- CMiW — Centrum Mikrobiologii i Wirusologii
COBR — Centralny Ośrodek Badawczo-Rozwojowy
IAiL — Instytut Agrochemii i Leśnictwa
IBB — Instytut Biochemii i Biofizyki
IBiA — Instytut Biotechnologii i Antybiotyków
IBK — Instytut Biologii Komórki im. M. Nenckiego
IBL — Instytut Badawczy Leśnictwa
IChB — Instytut Chemii Bioorganicznej
IChO — Instytut Chemii Organicznej
IE — Instytut Ekologii
IF — Instytut Farmacji
IGiHZ — Instytut Genetyki i Hodowli Zwierząt
IGR — Instytut Genetyki Roślin
IHAR — Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin
IIfTD — Instytut Immunologii i Terapii Doświadczalnej
IMGW — Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej
IOR — Instytut Ochrony Roślin
IOŚ — Instytut Ochrony Środowiska
IPO — Instytut Przemysłu Organicznego
ISiK — Instytut Sadownictwa i Kwiaciarstwa
ISiO — Instytut Sadownictwa i Ogrodnictwa
IW — Instytut Warzywnictwa
IWe — Instytut Weterynarii
IZi — Instytut Ziemiaka w Boninie
IZo — Instytut Zoologii w Warszawie
IZt — Instytut Zootechniki w Balicach k. Krakowa
PŁ — Politechnika Łódzka
PS — Politechnika Szczecińska
PWr — Politechnika Wrocławska
SGGW — Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
UAM — Uniwersytet im. Adama Mickiewicza
UG — Uniwersytet Gdański
UJ — Uniwersytet Jagielloński
UL — Uniwersytet Łódzki
UMCS — Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej
UŚI — Uniwersytet Śląski
UW — Uniwersytet Warszawski
UWr — Uniwersytet Wrocławski
WSP — Wyższa Szkoła Pedagogiczna
WSRP — Wyższa Szkoła Rolniczo-Pedagogiczna
ZFR — Zakład Fizjologii Roślin
ZGC — Zakład Genetyki Człowieka