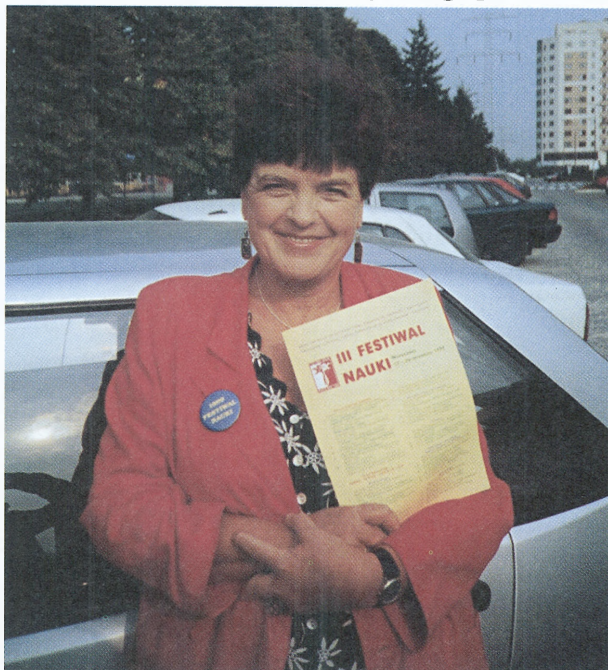


MAGDALENA FIKUS

Instytut Biochemii i Biofizyki PAN  
Pawińskiego 5a, 02-106 Warszawa  
e-mail: madaf@ibb.waw.pl

## BIOTECHNOLOGIA. SKĄD PRZYSZŁA, DOKĄD ZMIERZA?

Biotechnologia, jak dziś nazywamy technologię wywodzącą się z nowoczesnych metod modyfikacji genetycznych i diagnostyki molekularnej komórek, tkanek i organizmów, narodziła się i umocniła w czasie życia jednego pokolenia,



Magdalena Fikus, urodzona w 1936 r., profesor. Studia na Wydziale Biologii UW przygotowały mnie do zawodu biochemika, praktyka zawodowa aż do momentu habilitacji (Katedra Biofizyki na Wydziale Fizyki UW), nauczyła współpracy z fizykami (co mi się przydało także i później), a kiedy w początku lat 70-tych po raz pierwszy usłyszałam o rekombinacji DNA *in vitro* uznałam ten kierunek badań za szczególnie inspirujący. Trochę później zdałam sobie sprawę z potencjalnych możliwości tych technik w dziedzinach nauk stosowanych, co zaważyło o dalszych kierunkach moich zainteresowań. Robiliśmy w skromnym zakresie doświadczenia wspomagające biotechnologię; zaangażowałam się też bardzo w nauczanie w tej dziedzinie: w UMCS, UW, Politechnice Warszawskiej, AM, SGGW i Akademii Podlaskiej.

do którego sama także należę. W liście zamieszczonym przez grupę uczonych w 1973 r. w „Science” znalazła się co prawda propozycja zawieszenia prac w niektórych dziedzinach rekombinacji DNA *in vitro*, ale też i pomysły biosyntezy insuliny przez bakterie i wprowadzenia systemu przyswajania azotu atmosferycznego do wszystkich roślin. W tych wizjach były już zaczątki nowej biotechnologii. Dziś rozwija się ona z dnia na dzień, a zakres pojęciowy rośnie.

Pisząc o biotechnologii myśleć będę o tych dziedzinach wiedzy i jej zastosowań, w których w sposób świadomy i kontrolowany konstruuje się i wykorzystuje nowe kombinacje genowe, służące, obok celów poznawczych, celom praktycznym. Nie będę analizować dawno opracowanych technologii uzyskiwania produktów pochodzących z przeróbki organizmów żywych.

Elementów nowej biotechnologii można by doszukiwać się w stosowaniu niegdyś losowej mutageny przemysłowych mikroorganizmów, wykorzystanej w sposób wzorcowy przy tworzeniu kolejnych, coraz wydajniejszych szczepów producentów antybiotyków (penicylina). Prawdziwy przełom nastąpił jednak dopiero po osiągnięciu znacznego postępu w analizie fragmentów DNA i manipulacji nimi *in vitro* (Paul Berg, Werner Arber, Daniel Nathans, Stanley Cohen, Herbert Boyer), i po tym jak Hamilton Smith wynalazł technikę nazwaną ukierunkowaną mutagenezą, a Kary Mullis metodę PCR. Wszystkie te nowe metody czerpały, i czerpią do

Kontakt ze studentami bardzo różnorodnych specjalności nauczył wiele również i mnie. Dzięki temu biotechnologię przybliżyłam również nie-specjalistom w prasie, radiu i telewizji. A w zakresie upowszechniania nauki za najważniejsze w swoim życiu uważam współorganizowanie czterech już Festiwali Nauki, imprezy nowej w tej części Europy. Mam dwoje dorosłych, mądrych i dobrych dzieci i dwoje wnucząt. Lubię życie.

dziś, z wyników podstawowej dla omawianej dziedziny techniki sekwencjonowania DNA, niezależnie wynalezionej przez Fredericka Sangera w Wielkiej Brytanii i Williama Gilberta po drugiej stronie Oceanu. Te ostatnie były tak doskonałe, że przetrwały nieomal niezmiennie do końca wieku, co można uznać za niezwykle sukces. Zresztą, co nazwisko, to nagroda Nobla....<sup>1</sup>

W tym ujęciu podstawy naukowe biotechnologii powstawały, i nadal są tworzone, w laboratoriach biologii i genetyki molekularnej, inżynierii genetycznej, komórkowej i białkowej, informatycznych, w pracowniach konstruujących automaty laboratoryjne, bioreaktory i zautomatyzowane linie produkcyjne. Trzeba było wyniki tych badań zintegrować i przekształcić do formy użytkowej, która może daleko odbiegać od pierwszych prób na małą, laboratoryjną skalę i która może zmuszać do dalszych wysiłków naukowych (STEC 2000).

Obserwując nową biotechnologię od 30 lat widziałabym co najmniej dwa etapy jej ekspansji.

Wczesny (1970–1985), w którym rozwiązywano w małych laboratoriach, zarówno akademickich, jak i prywatnych, problemy techniczne dotyczące izolacji i klonowania wybranych genów. Ten etap kończy się „aptecznymi” preparatami ludzkiej insuliny i hormonu wzrostu wytworzonymi przez bakterie oraz szczepionką przeciw wirusowemu zapaleniu wątroby — przez drożdże.

Małe laboratoria podejmowały umowy kooperacyjne z wielkimi korporacjami przygotowując dla nich „know-how”. Modelowym przykładem takiego układu był amerykański Genentech, chyba pierwsza z tej grupy firm, której akcje trafiły na giełdy. W Genentechu przygotowano rekombinacyjną ludzką insulinę, którą potem wdrożył do produkcji koncern Ely Lilly.

Jednocześnie z postępami nauki powstawało wiele firm wytwarzających odczynniki i ich zestawy. Dzięki nim zaprzestano w poszczególnych laboratoriach przygotowywania buforów i pojedynczych odczynników do określonych za-

dań. Wszystkie podstawowe procedury uproszczono i skrócono czas ich trwania. Nastąpił proces miniaturyzacji drobnego sprzętu: pipet, probówek, aparatów do elektroforezy, co znacznie obniżyło koszty pojedynczego doświadczenia. Wykonywano je jeszcze „ręcznie” ceniąc świadomą kreatywność indywidualnego pracownika.

Ówczesne publikacje nosiły nazwiska zaledwie kilku autorów, dotyczyły pojedynczych genów i możliwości ich technologicznego wykorzystania.

Obawiano się wówczas niekontrolowanego uwolnienia do otoczenia zrekombinowanych organizmów (głównie mikroorganizmów). Ostrożność zalecono w przepisach NIH (Krajowe Instytuty Zdrowia USA), powoływano specjalne komisje oceniające stopień zagrożenia zrekombinowanym DNA i warunki dopuszczenia do określonych doświadczeń w określonych typach pracowni. Ale obok tych racjonalnych działań pamiętam też absurdalne wypowiedzi burmistrza Bostonu o możliwości skonstruowania przez inżynierów genetycznych monstrualnych istot, byłam też świadkiem wmaszerowania demonstracji kolorowo ubranych brodaczy oraz podających się za gospodynie domowe pań, do sali w gmachu Akademii Nauk USA, w której odbywała się międzynarodowa konferencja dotycząca inżynierii genetycznej (1977). Demonstrantom przyznano dużo czasu na protest, który artykułował nieznaną wówczas w tym środowisku Jeremy Rifkin<sup>2</sup>. Osobie, przybywającej z kraju położonego na wschód od Łaby, trudno było zrozumieć co i z czyjego upoważnienia się właściwie odbywa. Tak naprawdę, to się dopiero zaczynało...

Drugi, rozpoznawany przeze mnie, etap rozwoju biotechnologii datowałabym od pomysłu sekwencjonowania ludzkiego genomu (Human Genome Project). Przedstawiono go w 1984 r. na konferencji w Utah zorganizowanej przez Department of Energy, a wsparli go swoim autorytetem w 1985 r. Robert Sinsheimer i Charles De Lisi, nieco później Renato Dulbecco. Od zarania porównywano go z Programem Apollo,

<sup>1</sup>Szczegółową charakterystykę dokonań w zakresie biologii molekularnej, uhonorowanych Nagrodami Nobla, które przyczyniły się także do rozwoju biotechnologii, znajdzie czytelnik w artykule A. Koja, w tym numerze KOSMOSU.

<sup>2</sup>Rifkin, typowy polityk z grupy eko-wojowników, jest obecnie prezydentem Fundacji „Economic Trends”, Fundacji „Greenhouse Crisis” i przewodniczącym koalicji „Beyond Beef”. Zajmuje wiele biur, zatrudnia urzędników, liczne sekretarki. W końcu lat 70. rozpoczął wojnę z biotechnologią. Napisał trzy książki. Nie ma formalnego wykształcenia naukowego. Występuje przeciw terapii genowej nazywając ją „neo-nazistowskimi” metodami poprawiania rasy, przeciw genetycznie modyfikowanym roślinom. Najbardziej głośne akcje zorganizował przeciw mrozoopornym truskawkom i bakteriom niszczącym ropę naftową skonstruowanym w latach 70. Prowadzi także kampanię na rzecz obniżenia do 50% spożycia wołowiny, twierdząc, że metan uwalniany przez bydło do atmosfery znacznie pogłębia efekt cieplarniany.

powołując się na konieczność stawiania przed całą ludzkością fantastycznych, wyprzedzających epokę wyzwiań. Zakończenie projektu niektórzy ostrożnie i niechętnie przewidywali na rok 2150, entuzjaści i optymiści — na lata 2010–2015<sup>3</sup> (MICHALEWSKI i KRZYŻOSIAK 2000).

Projekt Genomu po raz pierwszy przesunął biologię molekularną o implikacjach biotechnologicznych do strefy „big science”. Pod tym określeniem kryje się wysiłek wielu, właściwie anonimowych, ludzi; znani ogółowi są jedynie liderzy kilkusetosobowych zespołów. Praca toczy się w sposób zrutynizowany i taśmowy, całe ciągi doświadczeń wykonywane są przez automaty, a uzyskane dane, przetwarzane są przez komputery, zgodnie z zaproponowanymi algorytmami. Laboratoria instytutów TIGR i Celera, o których będzie jeszcze mowa, przypominają sterylne fabryki z rzędami maszyn i urządzeń, wyglądających jak duże pralki lub chłodziarki, tu i ówdzie pojawiają się zaaferowani ludzie w białych fartuchach<sup>4</sup>.

Środek ciężkości badań biotechnologicznych przesunął się zatem w kierunku poznawania genomów różnych organizmów i perspektyw czerpania zysków z tej wiedzy. Pogłębiająca się znajomość innych niż ludzki genomów, wykorzystywana jest coraz szerzej do celów praktycznych. Być może, iż oznaczenia sekwencji genomów drożdży i nicienia (piękny przykład zorganizowania się naukowej społeczności świata i Europy) były ostatnimi „czysto” akademickimi badaniami w tym zakresie, ponieważ sekwencjonowanie genomów *Drosophila* i *Arabidopsis* było już dziełem finansowanym łącznie przez kapitał prywatny i instytucje budżetowe.

Niewiarygodnie duży rynek zbytu otwiera się przed nowoczesnym przemysłem farmaceutycznym. Ten przemysł coraz bardziej nastawia się na syntezę leków zaprojektowanych tak, aby pasowały przestrzennie do konkretnych cząsteczek, na które mają oddziaływać. Jeden z najbardziej spektakularnych przykładów takiego postępowania to opracowania postaci leków przeciw AIDS, wykorzystujące wiedzę o strukturze krystalicznej odwrotnej transkryptazy HIV. Ludzkie geny, natywne i mutagenizowane, wyizolowane i sklonowane, stają się wyjściową instrukcją, niejako surowcem w syntezie całego

szeregu białek o potencjalnym znaczeniu terapeutycznym (tkankowy aktywator plazminogenu i jego muteiny, interferony). Jeszcze nie w pełni wykorzystano i opanowano rutynowo pole działań w zakresie konstrukcji szczepionek profilaktycznych i leczniczych nowych generacji, ponieważ ich otrzymywanie nasunęło więcej problemów niż to początkowo przewidywano.

Drugi kierunek szybkiego rozwoju biotechnologii wyznaczyły rośliny transgeniczne. Mimo iż roślinne genomy stanowią w większości przypadków „ziemię nieznaną”, dzięki znacznemu rozwojowi metod hodowli komórek roślinnych i opracowaniu wydajnych sposobów wprowadzania obcego DNA do roślin udało się stosunkowo szybko skonstruować rośliny uprawne odporne na patogeny i niektóre warunki stresowe. W niezbyt odległej przyszłości można przewidzieć zastosowanie roślin do produkcji białek heterologicznych, dla celów leczniczych, diagnostycznych i profilaktycznych (jadalne szczepionki). Wreszcie, pracuje się nad modyfikacjami metabolizmu roślin, które zmieniają jakościowo i ilościowo na przykład skład cukrów, tłuszczów lub spowodują wytwarzanie w roślinach biodegradowalnych polimerów.

Najciekawsze, wyczerpująco scharakteryzowane uprawne rośliny transgeniczne, skonstruowano w prywatnych firmach o profilu rolniczym, które jednocześnie produkują towarzyszące tym odmianom środki wspomagające ich uprawę. Firmy te zatrudniają też świetnie wykształconych, inteligentnych, młodych przedstawicieli do kontaktów z opinią publiczną, o czym miałam się okazję przekonać wielokrotnie również i w Polsce, wymarzonego rynku dla produktów biotechnologicznych. Wymarzone, bo nie mamy własnych, konkurencyjnych propozycji w tym zakresie. To właśnie tym przedstawicielom, a nie aktywistom organizacji konsumenckich, udziela się teraz głosu na naukowych konferencjach, a pokazywane przez nich przeżrocza należą do najciekawszych i najładniejszych graficznie, jakie w życiu widziałam.

Na jednym ze zjazdów biotechnologicznych wysłuchałam futurologicznego wykładu o owadach transgenicznych, które gryząc wprowadzałyby ze śliną antygen, a niedawno przeczytałam relację o próbach skonstruowania trans-

<sup>3</sup>O ile pamiętam sekwencjonowanie DNA odbywało się wówczas ręcznie i jeszcze obiema noblowskimi metodami. Pamiętam FEBS-owski kurs tych technik w Gliwicach w końcu lat 70-tych, kiedy instruktorzy kroczyli korytarzami Centrum Onkologii w glorii zdobywców nowych nieznanymi lądów za pomocą metod trudnych do opanowania dla maluczkich; zresztą z mojej 25 osobowej grupy nikomu nie udało się uzyskać poprawnego wyniku metodą Sanger'a.

<sup>4</sup>Ostatnio zwiedzałam pracownię, w której znajduje się aparat do frakcjonowania komórek; nigdy go uprzednio nie widziałam, choć znam jego zastosowania. Na stole stało.... zamknięte metalowe pudło wielkości trzech telewizorów. Teraz już wiem jak to wygląda.

genicznych komarów, zmienionych w taki sposób obcym genem, że nie mogą już być gospodarzami plazmiodów przenoszących malarię. Od czasu, kiedy za naukową fantastykę uznalam pomysły produkcji leków w mleku lub moczu ssaków, dziś częściowo zrealizowanych, uważniej wysłuchuję referatów futurologicznych. Wśród słuchaczy komunikatu o owadach, których ukąszenie mogłoby spowodować uodpornienie przeciw jakimś chorobom, wątpliwości wywołał nie sam naukowy pomysł, a jedynie potencjalna możliwość naruszenia praw człowieka, którego uprzednio nie zapytano o zgodę na takie iniekcje.

Niestety, kolejną i istotną cechą dzisiejszej biotechnologii jest zjawisko zaznajamiania z odkryciami o ważnych poznawczo i ekonomicznie implikacjach na konferencjach prasowych, a nie w pismach naukowych. W ten sposób kilkakrotnie ogłaszano „zakończenie” sekwencjonowania genomu ludzkiego, po czym kolejno okazywało się, że chodzi tylko:

- o fragmenty kodujące białka, stanowiące zaledwie około 5% naszego genomu, bez wskazania na ich lokalizację chromosomalną;
- o obszary bogate w geny, z pominięciem sekwencji o niskiej zawartości otwartych ramek odczytu, jak stało się w przypadku jedynie częściowego odczytania sekwencji chromosomów 21 i 21;
- o poznanie genów jednego, anonimowego mężczyzny, sekwencje te obarczone były dużym błędem, nie podano szczegółowych wyników.

Rekord padł chyba w czerwcu bieżącego roku: raz, zapowiedziana na 15 czerwca, konferencja prasowa została odwołana, po raz drugi zmobilizowano całą światową prasę, co nie jest w dobie Internetu żadnym problemem, na dzień 26 czerwca. Wtedy to najpierw w Japonii, potem w Wielkiej Brytanii, wreszcie, zgodnie z ruchem kuli ziemskiej, w Waszyngtonie ogłoszono, że międzynarodowy Projekt Genomu, finansowany z pieniędzy podatników, połączy swoje wysiłki z firmą Celera, aby móc wspólnie ogłosić zakończenie sekwencjonowania... przed końcem XX w. Odbędzie się to oczywiście na kolejnej spektakularnej konferencji prasowej.

Kolejną cechą wyróżniającą współczesną biotechnologię jest pojawienie się grupy uczonych, którzy po uprzednim zaznaczeniu swojego miejsca na mapie nauki, poczęli zajmować się wdrożeniami własnych badań, publiczną ich propagacją, zarządzaniem i finansami. Kiedyś, pamiętam, była to strefa trochę „gorsza” niż ta, w której dokonywano odkryć. Tymczasem teraz do konsorcjów biotechnologicznych dość szybko przeniknęli wielcy uczeni tego świata — Artur Kornberg założył własną firmę, o patenty

przemysłowe wystąpili Stanley Cohen i Herbert Boyer, wszyscy oni spotykają się w radach naukowych i nadzorczych różnorodnych firm. Może w trosce o własne samopoczucie, Kornberg uczestniczy także w wielu międzynarodowych konferencjach, na których wygłasza referat (sama słyszałam) zalecający rządowi finansowanie ze środków budżetowych przede wszystkim nauk podstawowych! Ale też, nauki podstawowe i stosowane w biotechnologii przestały być rozdzielne, przepłoty się osoby, kapitał, sposoby ogłaszania wyników, komunikacja między ludźmi i instytucjami. W gruncie rzeczy ta mozaika, którą usiłowaliśmy tworzyć, w skromnym zakresie, zaleceniami i dekretami w początkach tworzenia biotechnologii w Polsce — na świecie powstaje samorzutnie, pod wpływem niewidzialnej ręki rynku. Zaś czołowym przykładem wieloznacznej sytuacji w dziedzinie rozgraniczenia zasięgu wpływów nauki, kapitału, polityki, etyki, może być znowu wyżej wspomniany wyścig między finansowanym z budżetu amerykańskim Krajowym Instytutem Badań Ludzkiego Genomu, NHGRI, (dyr. Francis Collins) a prywatnymi TIGR i Celera (dyr. Craig Venter) o to, kto pierwszy ogłosi triumf nad ludzkim genomem. Wieloznacznej, ponieważ nie ulega wątpliwości, że poza skutkami finansowymi tych odkryć rzecz idzie o to, kto wejdzie już na zawsze do historii ludzkości jako ten pierwszy... Nie łatwo jest zostać niekwestionowanym Kolumbem epoki genomiki.

Sprawa ta zasługuje z punktu widzenia historii nauki na szczegółową analizę, ponieważ wprowadziła na publiczną scenę rywalizację różnych instytucji w realizacji tego samego projektu, jakże ogromnymi środkami, pochodzącymi z różnych źródeł. Ten wysiłek, przed którym, jako zbyt kosztownym, ostrzegali niektórzy naukowcy na wspomnianej już konferencji w Utah w 1984 roku, wykonany został przynajmniej dwukrotnie, a osiągnięcie porozumienia o przyszłej współpracy było tak trudne, że wymagające interwencji Prezydenta USA i Premiera Wielkiej Brytanii. W mniejszej skali podobne zachowania demonstrowali wcześniej badacze sekwencjonujący genom *Helicobacter pylori*, bakterii podejrzewanej o to, iż powoduje powstawanie owrzodzeń przewodu pokarmowego, a nierzadko i w następstwie — raka. Tajemnica budowy jej genomu niewątpliwie może być przeliczana na wiele milionów dolarów, co interesuje miliony chorych ludzi. Ten genom, nim udostępniono go opinii publicznej, sekwencjonowany był niezależnie, w różnych firmach przynajmniej trzy razy.

My, naukowcy pracujący w skromnych warunkach ekonomicznych, czasami stajemy się

po prostu zazdrośni o możliwości badawcze w bogatych i inwestujących w naukę krajach. W witrynach internetowych można znaleźć dziesiątki instytutów finansowanych czy to z państwowych budżetów, czy przez prywatne firmy i konsorcja, czy przez kapitał mieszany. W obszarach budynkach, zbudowanych na powierzchni wielu hektarów, prowadzi się prace zaczynając od izolacji genów, a kończąc przy łóżku chorego. Na tej drodze trzeba geny te i ich produkty poddać najbardziej wyszukany analizom fizykochemicznym i biochemicznym, potem klonować w różnych komórkach, obdarować nimi zwierzęta lub rośliny transgeniczne, a białka rekombinacyjne, w różnych formach i procedurach, wykorzystać do prób terapeutycznych u zwierząt i ludzi. Budżet takich pojedynczych instytucji może przewyższać cały budżet na badania biologiczno-medyczne w naszym kraju, nie mówiąc już o tym, że nie ma w Polsce ani jednej instytucji, w której można by wykonać podobny pełny cykl badań, od genu do leku.

Nie można jednak powiedzieć, że nikt w Polsce nie interesował się nowymi technologiami i ich implikacjami naukowymi, produkcyjnymi, prawnymi, socjologicznymi, etycznymi. Prace naukowe zainicjowano już w połowie lat 70., kiedy nie byliśmy jeszcze znacząco spóźnieni w stosunku do rozwiniętych cywilizacyjnie krajów na świecie.

W 1984 r., z inicjatywy Komitetu Biochemii i Biofizyki PAN, przy współdziałaniu Komitetów PAN: Mikrobiologii, Technologii i Chemii Żywności, Inżynierii Chemicznej i Procesowej, Nauk Chemicznych, Terapii Doświadczalnej, powstała pierwsza polska ekspertyza dotycząca przyszłości biotechnologii w Polsce i na świecie, w opracowywaniu której brałam udział (WĘGLEŃSKI i FIKUS 1984). Pisali ją przedstawiciele wielu nauk, które otwierały się na problematykę biotechnologiczną: genetycy, biochemicy, mikrobiolodzy, chemicy, inżynierowie. Co charakterystyczne — nie było w tym wielokierunkowym zespole informatyka, nie było lekarza. Opisyaliśmy stan bieżący. Wydawało się nam, że główna linia rozwojowa obejmie przemysł farmaceutyczny, chemiczny, fermentacyjny. Widzieliśmy perspektywy wykorzystania nowych, odnawialnych źródeł energii, odnawialnych surowców.

Trzeba patrzeć na tę ekspertyzę z perspektywy historycznej, ram „tamtego” systemu finansowania i promocji nauki oraz wdrożeń. Byłam zapraszana na narady w ówczesnej Komisji Planowania przy Placu Trzech Krzyży (dokładna nazwa tej instytucji nie została mi w pamięci), gdzie większość stanowili urzędnicy, którzy przychylnie wysłuchiwali informacji o powsta-

waniu na świecie małych prywatnych firm o statusie „wysokiego ryzyka”. Wydawało się nawet, że się ten pomysł spodobał i że takie państwowe fabryczki powstaną także u nas. Ostrzegaliśmy wtedy (ma to swoje odbicie w tekście wyżej wzmiankowanej ekspertyzy), że rozwój nowoczesnych gałęzi biologii molekularnej w Polsce pozostaje w tyle, że dystans między nami i czołówką świata rośnie. „Może dojść do sytuacji, że nie będziemy nawet w stanie wykorzystać licencji opartych o skonstruowane gdzie indziej szczepy...” (WĘGLEŃSKI i FIKUS 1984, str. 32). Wskazywaliśmy na zafocianie zaplecza badawczego przemysłu farmaceutycznego i brak środków na jego unowocześnienie. Drastycznie złą sytuację eksperci widzieli w przemyśle chemicznym, w którym polskie osiągnięcia w produkcji związków organicznych (kwas cytrynowy, etanol) oparte były wyłącznie o klasyczne technologie i organizmy mutowane metodami klasycznymi. Opracowywane technologie produkcji enzymów, na użytek przemysłu spożywczego i tekstylnego, zazwyczaj kończyły żywot w skali półtechnicznej na uczelni. Sprzyjał temu oficjalny kurs dolara czyniący każdy polski produkt nieopłacalnym dla wdrożeń.

W 1986 r. powołano pięcioletni Centralny Projekt Badawczo Rozwojowy — „Molekularne podstawy biotechnologii”. Towarzystwo mu pięć innych programów, bardziej szczegółowo ukierunkowanych. Wzięły w nich udział prawie wszystkie polskie laboratoria uprawiające mikrobiologię, wirusologię, biochemię, chemię bioorganiczną, genetykę, inżynierię bioprosową i klasyczną biotechnologię.

W 1987 r. powołano przy Prezydium PAN Komitet Biotechnologii, który z kolei objął patronat nad nowym pismem „Biotechnologia. Przegląd informacyjny” (TWARDOWSKI 1997).

Niewątpliwym osiągnięciem centralnie koordynowanych programów było „podliczenie szeregów” i umożliwienie wzajemnych kontaktów, które my, często samozwańczy biotechnolodzy, potrafiliśmy nawiązać i utrzymać. Za najważniejsze w tym okresie uważam jednak stopniowe powoływanie kierunków biotechnologicznych w różnych merytorycznie uczelniach: politechnikach (Łódź, Wrocław, Warszawa, Gdańsk), uniwersytetach (Wrocław, UMCS, Poznań, Warszawa), wreszcie na często i słusznie, przemianowywanych kierunkach uczelni rolniczych, (Warszawa, Wrocław, Olsztyn, Poznań). W Gdańsku powstał pierwszy w Polsce Międzyuczelniany Wydział Biotechnologii (Uniwersytet i Akademia Medyczna). Obecnie przyjmuje się na te kierunki studiów ponad 1000 osób rocznie (ZABŻA 2000, Biotechnologia 2000).

Praktycznie nikomu i nigdzie w Polsce nie udało się zainteresować i nawiązać rzeczowej i finansowej współpracy naukowców z przedstawicielami przemysłu, która skończyłaby się wdrożeniem do produkcji substancji otrzymanej z zastosowaniem inżynierii genetycznej lub komórkowej. Cześćciowo, jako przyczynę upatruję ówczesną „niemożność ustrojową”, ale też cześćciowo obarczałabym winą izolację intelektualną i umysłową między „czystą” i „stosowaną” działalnością ludzi i instytucji naukowych. Szkoda dziś czasu na jakiegokolwiek analizy przyczyn tamtych zjawisk, zastanowić by się można jedynie, dlaczego w tej dziedzinie sytuacja nie uległa zmianie, choć obecnych tego przyczyn trzeba upatrywać w innych uwarunkowaniach. Na tle rozwoju współczesnej biotechnologii w krajach wysoko uprzemysłowionych nie jesteśmy nawet na początku drogi, co oznacza, że spóźnił się na ten pociąg o 30 lat. Czy to w ogóle jest do nadrobienia?

Transformacja ustrojowa w Polsce, w nauce i w badaniach rozwojowych oznaczała zasadniczą zmianę zasad finansowania. Z własnych, nieoficjalnych obserwacji wnoszę, że polska biotechnologia nadal ma się nienadzwyczajnie, uprawiana jest wrywkowo, finansowana słabo, bez powiązań z produkcją i przemysłem. Na pierwszym polskim Kongresie Biotechnologii (Wrocław, wrzesień 1999) na prawie 600 uczestników obecnych było 14 przedstawicieli przemysłu... Zresztą jaki przemysł w Polsce oczekiwałby po nas takich technologii? Fabryki proszków do prania na zagranicznej licencji, czy wytwórcy słodczy rodem z USA? Firmy wytwarzające produkty na potrzeby rolnictwa, sprzedające w Polsce środki ochrony roślin i oczekujące na zezwolenie na wprowadzenie do obrotu odmian roślin dostosowanych do tych środków? Firmy farmaceutyczne wytwarzające leki i szczepionki nowej, rodem z krainy rekombinacji DNA, generacji? Komu na tym obcym kapitałowo rynku przemysłowym potrzebna jest myśl polskiego biotechnologa?

Badania biotechnologiczne w Polsce prowadzą się obecnie do częściowych opracowań metod bio-syntezy i bio-analiz w skali laboratoryjnej, co jest startem, ale nie metą na drodze biotechnologa. Rodzaj prowadzonych badań wiąże się zazwyczaj z tradycją prac kierowanych przez określonego badacza lub cały zespół, a nie z realnymi potrzebami instytucji, która byłaby następnie zainteresowana badaniami wdrożeniowymi (Biotechnologia 1996, 1997). Nadal kształcimy młodych ludzi, których biotechnologia zafascynowała jeszcze w szkole, ale źle by było, gdybyśmy uznali, że możemy powtarzać chwyt dydaktyczne z przed 20 lat. Jeżeli chce-

my kształcić specjalistów zdolnych do rozumienia dróg rozwoju biotechnologii, to proces dydaktyczny też musi się unowocześniać i ewoluować. Jak długo jeszcze będzie można kontynuować kształcenie biotechnologów bez corocznego, stałego, uzupełniającego finansowania ćwiczeń studenckich? Jak można na kierunku biotechnologicznym prowadzić (z przyczyn finansowych) wykłady z zakresu nauk stanowiących zaplecze laboratoryjne biotechnologii bez ilustrujących je ćwiczeń — a takie przykłady są mi znane?

Zainteresowanych dokładniejszą analizą odsyłam do obu Raportów o stanie polskiej biotechnologii (WĘGLEŃSKI i FIKUS 1984, ZABŻA i UŁASZEWSKI 1995) oraz przygotowywanego i aktualizowanego w redakcji „Biotechnologii” „Who is Who in polish biotechnology” (1998).

Podobno żaden szanujący się uczyony nie podejmuje prognoz naukowych, co dopiero w tak burzliwie rozwijającej się nauce jak biotechnologia. W najbliższych latach można jednak próbować stosunkowo bezpiecznie przewidzieć kontynuację już dziś widocznych tendencji.

1. Będzie się nadal, coraz łatwiej, sekwencjonować wybrane geny i genomy, bo wiedza genomiczna szybko rośnie, dopuszczając coraz ciekawsze studia porównawcze. Ze zrozumiałych powodów nadal przeważać będzie ustalanie sekwencji genomów mikroorganizmów ważnych z punktu widzenia medycyny, farmacji i poszukiwań nowych źródeł energii.

2. Poznanie sekwencji genomów roślin i zwierząt umożliwi dalszą racjonalizację wielu dziedzin życia, przede wszystkim rolnictwa.

3. Znajomość pełnej sekwencji genomu ludzkiego otworzy przed medyczną biotechnologią niezmiernie perspektywiczne zindywidualizowane i racjonalne programy terapeutyczne i diagnostyczne, umożliwi rozkwit medycyny profilaktycznej i nowoczesnej farmakologii.

4. Warunkiem dalszego rozwoju biotechnologii jest wynalezienie szybkich, zautomatyzowanych metod badawczych. Przykładem tego jest rewolucyjna, jak się dziś wydaje, technika mikroukładów DNA (ang. „DNA-microarrays”, „DNA chips”). Umożliwia ona jednoczesną rejestrację zmian w aktywności dziesiątków tysięcy genów w odpowiedzi na określony, metaboliczny impuls lub jakiegokolwiek czynnik wpływający na aktywność komórki. Zapewne metoda ta zostanie niebawem przystosowana do szybkiego sekwencjonowania cząsteczek DNA. Perspektywicznymi wydają się zastosowania różnego typu mikroskopów, spektrometrii masowej, ulepszonych metod chromatografii i elektroforezy.

5. Nowy etap rozwoju biotechnologii, którego zaczątki rysują się w laboratoriach biologów i informatyków, nazwano już dziś erą postgenomową. Bezpośrednio po i równoległe do poznania genomów otwiera się pole badań dynamiki syntezy i rozpadu, wzmożenia i hamowania aktywności informacyjnych RNA i białek decydujących o fenotypach organizmów. Dane te będą miały bezpośrednie przełożenie na działania farmakologiczne, hodowlane i inne. Konieczne będzie budowanie wiedzy w zakresie — uwaga, nowe słowo — proteomiki, o bezpośrednich implikacjach biotechnologicznych, w sterowaniu życiem za pośrednictwem białek — leczniczych, spożywczych, katalitycznych.... Głośno mówi się już dziś o konieczności podjęcia na międzynarodową skalę Programu „Human Proteome”, który ocenia się jako relatywnie trudniejszy od kończącego się Programu Genomowego.

6. Biotechnologiczne badania będą jeszcze bardziej uwikłane w zależności od informatyki i warunkowane rozwojem tej ostatniej. Sygnałem takiej sytuacji było znaczne przyspieszenie sekwencjonowania DNA w prywatnym instytucie TIGR dzięki programom analizy pierwotnych sekwencji wpływających z sekwenatorów, nowocześniejszym niż te, którymi dysponowano w instytucjach finansowanych z budżetu.

7. Niestety nie widzę w najbliższej przyszłości perspektyw uczynienia ze współczesnej biotechnologii nauki i techniki mało kosztownej. Jej rozwój będzie pogłębiał podział globu na tych, którzy wytwarzają nowe produkty, korzystają z nich i sprzedają innym i na tych, którzy ich kupić nie są w stanie. Globalizacja i w tej dziedzinie ma także ciemne strony.

8. Trzeba będzie znaleźć rozwiązanie dla problemu rosnącego niezrozumienia oferty

biotechnologicznej przez społeczeństwa, bez przyzwolenia których nie może być rozwijana (czytaj — finansowana) jakakolwiek wielka dziedzina działalności społecznej (TWARDOWSKI i MICHALSKA 1998). Zaczątki tego konfliktu pojawiły się w latach 60. XX wieku; narasta on obecnie w postaci oporu społecznego, wobec roślin i zwierząt transgenicznych, artykułowanego zresztą przez polityków i organizacje parapolityczne. Edukacja społeczeństw zarówno przez światłych pedagogów, jak i świadome swojej siły środki komunikacji społecznej, będzie miała kluczowe znaczenie dla kierunków rozwoju biotechnologii.

9. Chcemy czy nie, biotechnologia przez swoje aspekty finansowe nabrała także charakteru politycznego: nie darmo prezydenci USA i Francji spotykali się, żeby ustalić prawo własności do patentu na diagnostyczny test HIV, a prezydent Clinton zabierał wielokrotnie głos w sprawach biotechnologicznych, że przypomnę jego sugestie co do ustalenia prawa zabraniającego klonowania ludzi, czy też wspomniany wyżej bezpośredni udział w doprowadzeniu do porozumienia między zespołami prowadzącymi niezależnie sekwencjonowanie ludzkiego genomu.

Dalszy rozkwit biotechnologii przyniesie ze sobą wiele kwestii poza-medycznych i biologicznych, których zaczątki już teraz są widoczne (TWARDOWSKI i MICHALSKA 2000). Należą do nich na przykład: problemy patentowania informacji genetycznej, form upowszechniania wyników naukowych, skutków i swobody dostępu do informacji dotyczącej pojedynczych ludzi, konsekwencji wchodzenia w życie nowych odkryć od strony etycznej, socjologicznej, dla jednostki, rodziny, grupy zawodowej, całych społeczeństw, całej ludzkości.

#### LITERATURA

- MICHELLEWSKI G., KRZYŻOSIAK W. 2000. „Sekwencjonowanie genomu człowieka – dwa projekty badawcze, dwie strategie” *Postępy Biochemii* 46, 187–195.
- STEC W. J., 2000. *Tendencje rozwojowe światowej biotechnologii*. Biotechnologia 1, 15–30.
- TWARDOWSKI T., 1997. *Rozwój biotechnologii i projekt rozwiązań prawnych*. Poznań.
- TWARDOWSKI T., MICHALSKA A., 1998. *Genetycznie modyfikowane organizmy a środowisko w świetle postanowień Konwencji o różnorodności biologicznej*. Poznań.
- TWARDOWSKI T., MICHALSKA A., 2000. *Dylematy współczesnej biotechnologii z perspektywy biologa i prawnika*. Wyd. Dom Organizatora, Toruń.
- WĘGLEŃSKI, M., FIKUS M., 1984. „Raport o stanie biotechnologii – badania i zastosowania” Red. P. Wyd. Polska Akademia Nauk, Wydział II Nauk Biologicznych, Warszawa.
- ZABŻA A., 2000. *I Krajowy Kongres Biotechnologii we Wrocławiu. Refleksje i konkluzje*. Biotechnologia 2, 27–33.
- ZABŻA A., ULASZEWSKI S., 1995. *Raport o stanie polskiej biotechnologii*. Biotechnologia 4, 13–58.
- Biotechnologia, 1996, numer poświęcony biotechnologii w medycynie 4, (35).
- Biotechnologia, 1997, numer poświęcony agrobiologii w Polsce 4 (39).
- „Who is Who in Polish Biotechnology” 1998. Biotechnologia 4, 50–141.
- Biotechnologia 2000. Numer poświęcony I Kongresowi Biotechnologii we Wrocławiu, zawiera m.in. wprowadzenia do wszystkich Sympozjów Kongresu 2 (49).

AUTORKA POLECA TAKŻE JAKO LEKTURĘ UZUPELNIAJĄCĄ

KOLATA G. 2000. *Klon. Dolly była pierwsza*. Prószyński i S-ka, Warszawa.

Medycyna Wieku Rozwojowego 1999. *Czy klonować człowieka?* Praca zbiorowa. Suplement 1 do nr 3, tom III, wyd. Instytut Matki i Dziecka, Warszawa.  
*Nowy bioniczny świat*. Grudzień 1999. Świat Nauki.

REISS M. J., STRAUGHAN R. 1997. *Poprawianie natury. Inżynieria genetyczna – nauka i etyka*. Amber, Warszawa.  
ZWIERZCHOWSKI L., JASZCZAK K., MODLIŃSKI J. M., 1997. *Biotechnologia zwierząt*. PWN, Warszawa.