

W 1886 r. szkocki pisarz Robert Louis Stevenson napisał słynną powieść zatytułowaną *Strange Case of Dr Jekyll and Mr Hyde*. Postać głównego bohatera tej książki stała się synonimem podwójnej osobowości, a także stwierdzeniem tego, że każda działalność człowieka ma dobre i złe strony. W literaturze i na stronach internetowych zastosowano ten termin jako skrót myślowy do określenia osobowości polityków, aktorów, radnych, a nawet do opisu postępowania całej drużyny piłkarskiej.

Biotechnologia jest uważana za jedną z tych dziedzin, która będzie decydować o prawidłowym rozwoju gospodarki w naszym wieku. Jest ona niezwykle rozległym obszarem działalności technicznej człowieka, i jej rozwój jest zależny od współdziałania między różnymi dziedzinami nauki i techniki. Potężną rolę w rozwoju biotechnologii odgrywa chemia. Biotechnologia postrzegana jest z jednej strony jako ważne narzędzie do ulepszenia naszego życia, a z drugiej – budzi strach przed jej nieprzewidywalnym zastosowaniem w kreowaniu nowej rzeczywistości. Jest ona więc takim dr. Jekyll i panem Hyde współczesnej nauki.

Termin *biotechnologia* pochodzi od trzech greckich słów: *bios* – życie, *technos* – technika i *logos* – myślenie. Jednak, już na samym początku termin, *biotechnologia* budził kontrowersje. Wynikało to z faktu, że nie potrafiono uzgodnić jednolitej definicji tej dziedziny nauki i techniki. Dobrze pokazuje to definicja opracowana na potrzeby Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego oraz Ministerstwa Gospodarki dla celów badawczych i rozwojowych. Jest ona dwuczęściowa i pierwsza część brzmi: *Biotechnologia, to interdyscyplinarna dziedzina nauki i techniki zajmująca się zmianą materii żywej i nieożywionej poprzez wykorzystanie organizmów żywych, ich części, bądź pochodzących od nich produktów, a także modeli procesów biologicznych w celu tworzenia wiedzy, dóbr i usług* [1]. Druga część jest opisowa i stanowi ją lista technik (głównie technik inżynierii genetycznej) wykorzystywanych w badaniach. A więc, z jednej strony nacisk położony jest na użyteczną stronę tej dziedziny, a z drugiej – na używane metodologie. Definicja ta stanowi próbę odróżnienia biotechnologii, od klasycznych technik hodowli i krzyżowania gatunków, czy od chemii spożywczej. Wydaje się, że dobrą definicją jest ta przyjęta przez ONZ: *Biotechnology - any technological application that uses biological systems, living organisms, or derivatives thereof, to make or modify products or processes for specific use*. Jeszcze prostszą jest ta, której używa polska wersja Wikipedii: *Biotechnologia to dyscyplina nauk technicznych wykorzystująca procesy biologiczne na skalę przemysłową* [2]. Wykorzystanie tej ostatniej powoduje, że trzeba przyjąć do wiadomości, że jest ona stosowana od wieków, na przykład do produkcji piwa, serów, kosmetyków itp. Co ciekawe, Unia Europejska wcale nie definiuje biotechnologii, wychodząc z założenia, że jest to termin intuicyjnie zrozumiały.

Od zarania dziejów działalność biotechnologiczna człowieka była związana z produkcją i przygotowaniem żywności. Dzisiaj dziedzinę tę nazywamy *zieloną biotechnologią* („kolorowy” podział biotechnologii wprowadziła Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju przy udziale Unii Europejskiej). Jest ona uważana za kolejny etap *zielonej rewolucji*, która okazała się przełomem w rolnictwie i uratowała życie setek milionów ludzi. Ma ona na celu zapewnienie zaspokojenia potrzeb żywnościowych przrastającej populacji mieszkańców Ziemi w sposób bardziej przyjazny dla środowiska naturalnego i bezpieczny

dla zdrowia ludzkiego. Cel ten osiąga się przez zastosowanie trzech podstawowych technik. Pierwszą z nich są hodowle *in vitro* (laboratoryjne) komórek roślinnych, pozwalające na reprodukcję całych roślin lub ich organelli, co ma pozwolić na utrzymanie jednorodności genetycznej roślin i przyspieszenie procesów ich hodowli. Techniki te stosuje się dzisiaj powszechnie w hodowli kwiatów, kiedy chcemy by zakwitły w określonym dniu.

Druga technika budzi najwięcej dyskusji i obaw – jest to zastosowanie inżynierii genetycznej w celu otrzymania roślin (i w mniejszym zakresie zwierząt) posiadających pożądane cechy (GMO – *Genetically Modified Organisms*). I tak, ulepszony organizm zachowuje swoje właściwości i zyskuje dodatkową cechę o dużym znaczeniu z punktu widzenia ekonomii, zdrowia lub ochrony środowiska. Modyfikowane genetycznie są głównie rośliny mające duże znaczenie gospodarcze, zmiana genomu ma na celu nadanie im pożądanych przez człowieka cech, takich jak: większa trwałość, odporność na choroby, pasożyty, czy herbicydy (co pozwala na bezpieczne zwalczanie chwastów w ich uprawach), odporność na stres abiotyczny (np. mróz, zasolenie) czy podniesienie ich cech jakościowych (przykładem może tu być zmodyfikowany ryż – *Golden Rice* – o zwiększonej zawartości prowitaminy A, mogący pomóc w walce ze ślepotą dzieci w Azji, wynikającą z jej niedoboru). Modyfikuje się także rośliny ozdobne, które dzięki temu są trwalsze lub mają intensywniejszy kolor. Warto wiedzieć, że zmodyfikowana genetycznie została większość roślin mających znaczenie dla człowieka. Na świecie najczęściej modyfikowanymi roślinami są: kukurydza, pomidory, soja zwyczajna, ziemniaki, bawełna, melony i tytoń. W Europie najczęściej modyfikuje się: kukurydzę, rzepak, buraki cukrowe i ziemniaki. W przeważającej mierze, bo aż w 80%, rośliny te posiadają gen lub geny odporności na działanie herbicydów; 12% roślin genetycznie modyfikowanych posiada sztucznie wprowadzony gen odporności na gąsienice *Lepidoptera*, o symbolu Bt (produkują toksyczne dla tych owadów białko z bakterii *Bacillus thuringiensis*). Ostatnie 8% roślin GMO jednocześnie jest odporna na herbicydy i zawiera gen Bt. Rozwój zielonej biotechnologii właśnie w takim kierunku, gwarantuje zmniejszenie zanieczyszczenia środowiska poprzez zmniejszenie stosowania środków ochrony roślin.

Silny ruch przeciwników stosowania inżynierii genetycznej w rolnictwie domaga się jednoznacznych przepisów dotyczących znakowania produktów spożywczych zawierających GMO i ich pochodne, a ponadto wprowadzenia oznaczeń gwarantujących, że dany produkt powstał bez wykorzystania wspomnianej technologii. Jednocześnie uważają oni, że *wbrew stanowisku zwolenników GMO, „tworzenie” tych organizmów nie ma nic wspólnego z selekcją prowadzoną przez hodowców siłami natury. Jest to eksperyment ewolucyjny o nieznanym konsekwencjach* [3]. Jest to bardzo silny ruch społeczny stosujący często emocjonalne argumenty.

Zwolennicy GMO argumentują, że rolnictwo w swojej istocie jest aktywnością w świadomy sposób ograniczającą bioróżnorodność i stosującą żmudne metody modyfikacji genetycznej organizmów w celu selekcji roślin o takich samych właściwościach jak te otrzymywane szybko metodami inżynierii genetycznej. Co więcej, proces transgenezy nie wiąże się z innym rodzajem ryzyka niż to związane z tradycyjnymi metodami tworzenia zmienności genetycznej (oddalone krzyżowanie, mutageniza) [4].

Nie sposób nie zgodzić się z poglądem, prezentowanym przez Unię Europejską, która przyjęła regulacje opierające się na dwóch fundamentalnych zasadach. Pierwszą z nich jest zasada przezorności, która nakazuje stosowanie środków obliczonych na zapobieganie efektem niepożądanym. Drugą jest zasada *case-by-case*, nakazująca, by każdy przypadek GMO traktować indywidualnie. Zgodnie z nią nieuprawnione są twierdzenia o bezpieczeństwie lub niebezpieczeństwie wykorzystywania GMO w ogóle. Dobrym przykładem jest tu budząca ostatnio silne emocje sprawa akceptacji genetycznie modyfikowanych łososi. Szybko rosnąca i wymagająca mniej pożywienia (a więc łatwiejsza do hodowli) odmiana nie uzyskała akceptacji w USA, podczas gdy społeczeństwo Irlandii przychylnym okiem spogląda na prace prowadzące do otrzymania genetycznie modyfikowanego łososia, odpornego na choroby pasożytnicze. Ważne jest bowiem, jakie cechy ma wprowadzić genetyczna modyfikacja i czy są to cechy istotne dla konsumenta.

Znacznie mniej kontrowersji budzi produkcja roślin zmodyfikowanych genetycznie, które funkcjonują jako biofabryki wytwarzające konkretne substancje wykorzystywane w różnych gałęziach gospodarki. Rośliny, u których genetycznie zmodyfikowano szlak syntezy kwasów tłuszczowych, znajdują zastosowanie w produkcji olejów przemysłowych oraz biopaliw. Modyfikowane rośliny mogą także produkować łatwo degradowalne biopolimery [5]. Natomiast pełną akceptacją cieszą się takie modyfikacje, jak wymyślona w Instytucie Chemii Bioorganicznej PAN w Poznaniu sałata, która produkuje szczepionkę na zapalenie wątroby typu B (będzie się można szczepić przeciw żółtaczce jedząc sałatę) [6].

Znacznie mniej poznana jest trzecia technika *zielonej biotechnologii*, to jest hodowla z wykorzystaniem markerów molekularnych – połączenie tradycyjnej hodowli selekcyjnej z inżynierią genetyczną, gdzie markery molekularne stanowią „kawałki” DNA, przyłączane do genu warunkującego pożądaną cechę, którą hodowca chce uzyskać w wyniku krzyżowania i selekcji nowej odmiany.

Bardziej rozwiniętą i budzącą mniej emocji jest *czerwona biotechnologia*. Jest ona skierowana na potrzeby służby zdrowia. Blisko 85% firm biotechnologicznych działa na tej niwie. Lecznicze preparaty biotechnologiczne stanowią obecnie ok. 20% sprzedawanych lekarstw i ok. 50% będących na etapie badań klinicznych. Oczywiście krokiem naprzód, w stosunku do fermentacyjnych metod otrzymywania niektórych leków, jest to, że obecnie większość biofarmaceutyków jest wytwarzana za pomocą rekombinowanych bakterii (głównie *Escherichia coli*), czy drożdży (głównie drożdże piekarskie – *Saccharomyces cerevisiae*). Rekombinowane są również linie komórkowe organizmów wyższych oraz tworzone hybrydowe kultury międzygatunkowe, jak ma to miejsce w przypadku przeciwciał monoklonalnych, które są hybrydą limfocytu B i komórek szpiczaka, gwarantującego hybrydzie nieśmiertelność. W ten sposób otrzymuje się takie grupy leków, jak: interferony, interleukiny, hematopoetyczne czynniki wzrostu, czynniki martwicy nowotworów, preparaty trombolityczne, czynniki krzepnięcia krwi, rekombinowane hormony, czy wspomniane już przeciwciała monoklonalne.

Rekombinowane leki nie budzą takich emocji jak genetycznie modyfikowane rośliny dlatego, że społeczeństwo jest w stanie ponieść większe ryzyko, gdy chodzi o sposoby leczenia. Leki te są bowiem tańsze niż uzyskiwane ze źródeł naturalnych i nie niosą ze sobą niebezpieczeństwa zarażenia chorego zapaleniem wątroby typu B, HIV, czy też chorobą Creutzfelda-Jakoba. Są zatem bezpieczniejsze. Dzięki tak wyprodukowanym lekom, można dziś z powodzeniem leczyć lub zapobiegać cukrzycy, udarowi mózgu, zastoinowej niewydolności serca, zapaleniu wątroby, anemii, astmie, chorobie Crohna, białaczkę i wielu rodzajom chorób nowotworowych. Za rodzimy przykład rekombinowanego białka niech posłuży *Gensulina* firmy *Bioton*. Obok *Biotonu* tylko trzy firmy – amerykański *Eli Lilly*, duński *Novo Nordisk* oraz francuski *Aventis* (dawniej *Hoehchst*) – produkują rekombinowaną ludzką insulinę.

Przyszłością *czerwonej biotechnologii* jest terapia genowa. Polega ona na wprowadzaniu do komórek chorego, najczęściej za pomocą odpowiednio modyfikowanego wirusa, obcego DNA lub RNA w celu zmuszenia komórki do produkcji białka kodowanego przez wprowadzony gen. Mimo tego, że technika ta stosowana jest klinicznie od lat 80. XX w., znany jest zaledwie jeden spektakularny sukces tego sposobu leczenia. W 1990 r. w Narodowym Instytucie Rakowym w USA poddano takiemu leczeniu trzyletnią dziewczynkę, której organizm nie produkuje enzymu – deaminazy adenozy. Ta choroba dotyka jedno dziecko na 100 000 i powoduje zanik odporności immunologicznej. Leczenie polegało na tym, że od chorej pobierano krew, białe krwinki infekowano wirusem zawierającym ten gen, a następnie komórki te wprowadzano do organizmu chorej. Chora żyje do dziś, ale ciągle wymaga leczenia – dziś leczona jest samym enzymem, chronionym przez związek z nim glikol polietylenowy.

Spektakularnym osiągnięciem biotechnologii, a właściwie nanobiotechnologii, jest opracowanie na Uniwersytecie Kalifornijskim w Los Angeles prototypu sztucznej nerki, którą można implantować w organizmie chorego. Jest to dość złożony układ, którego bazą są umieszczone w układach membranowych żywe, zdrowe komórki nerki, obce dla pacjenta. Zastosowanie takiego sztucznego narządu ma wyeliminować konieczność dializowania chorych.

Trzecim, również przyszłościowym nurtem *czerwonej biotechnologii*, jest diagnostyka molekularna. Dzisiaj najbardziej rozwinięte są techniki analizy materiału genetycznego w celu identyfikacji określonych typów nowotworów, w wykrywaniu chorób zakaźnych, w badaniach zgodności tkankowej w przypadku doboru dawców i biorców przeszczepów, czy w identyfikacji przestępców lub ustalaniu ojcostwa. Głównym przedmiotem badań jest wykrywanie zmiany w obrębie materiału genetycznego osoby chorej, w przypadku kiedy chorobę cechuje występowanie zmienionych pod wpływem mutacji fragmentów DNA lub wykrywania materiału genetycznego patogenu. Takim materiałem może być genom mikroorganizmu wywołującego chorobę. Inne szeroko stosowane, to metody immunochemiczne wykorzystujące reakcje antygen – przeciwciała.

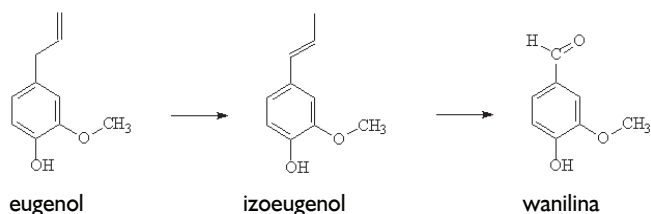
Przyszłością *czerwonej biotechnologii* są chipy diagnostyczne pozwalające na kontrolę stanu zdrowia w domu, tak jak dzisiaj bada się poziom glukozy we krwi. Dla przeciętnego pacjenta testy pozwalające na samokontrolę zdrowia mają dzisiaj niewielkie znaczenie, ponieważ ich dostępność jest jeszcze stosunkowo ograniczona. Masowa produkcja takich urządzeń, jak biochipy molekularne, jest już bliska, na co wskazuje fakt, że corocznie wprowadza się na rynek kilkaset prototypów takich urządzeń. Dobrym przykładem jest tu „Serum Biomarker Chip” firmy *Whatman, Schleicher & Schuell*[®], który pozwala na identyfikację kilku lub kilkunastu specyficznych markerów konkretnych chorób w surowicy krwi ludzkiej. Chip jest przeznaczony do definicji grup ryzyka i monitoringu wybranych stanów chorobowych [7].

Trzecim kolorem biotechnologii jest kolor biały. Ten kolor przypisano *biotechnologii przemysłowej* [4]. Jej celem jest m.in. zastąpienie konwencjonalnych procesów chemicznych procesami wykorzystującymi enzymy i mikroorganizmy jako katalizatory. W ten sposób można uzyskiwać zróżnicowane produkty: specyficzne chemikalia, chiralne prekursor farmaceutyków, antybiotyki, witaminy, składniki żywności i pasz, środki zapachowe i smakowe, słodziki, kosmetyki, detergenty, materiały użytkowe, środki spożywcze oraz biopaliwa. *Biotechnologia przemysłowa* daje istotne korzyści ekologiczne: nie powoduje wzrostu efektu cieplarnianego i opiera się głównie na wykorzystaniu odnawialnych surowców. Przemysłowe procesy wykorzystujące biokatalizatory zostały uznane przez *Organization for Economic Cooperation and Development* (OECD) za istotny komponent tzw. strategii zrównoważonego rozwoju.

Biokataliza staje się powoli standardową technologią produkcji związków organicznych, i jej zastosowanie systematycznie rośnie.

Może to obrazować fakt, że w 1960 r. zbudowano zaledwie 5 biokatalitycznych instalacji przemysłowych o produktywności powyżej 100 kg/r., podczas gdy w 1990 r. liczba nowych procesów tego typu wyniosła nieco ponad 60, a w 2002 r. wprowadzono do przemysłu aż 134 procesy produkcji związków organicznych. Analiza tych procesów pokazuje, że enzymy stosuje się głównie do otrzymywania związków naturalnych lub ich analogów. Odbiorcą największej liczby substancji otrzymywanych w procesach katalizowanych enzymatycznie jest przemysł farmaceutyczny, a wśród pozostałych gałęzi przemysłu dominuje przemysł spożywczy. Nie jest to zaskakujące, jeśli zważyć wielkość produkcji obu tych przemysłów. Gdyby analizować nie liczbę substancji odbieranych przez działy gospodarki, lecz wielkość produkcji to samotnym liderem staje się przemysł spożywczy. Na przykład, prawie wszystkie substancje organiczne produkowane na skalę masową (więcej niż 20 tys. t/r.), to węglowodany wykorzystywane przez ten przemysł. Większość procesów przemysłowych, w których używa się enzymów, to procesy niskotonażowe. Tym niemniej, zastosowanie enzymów w procesach wielkotonażowych też nie jest rzadkością. Największym z nich jest konwersja glukozy we fruktozę, katalizowana przez izomerazę glukozową podczas produkcji syropu glukozowo-fruktozowego ze skrobi. W procesie tym otrzymuje się ponad 1 mln t fruktozy rocznie. Innym przykładem jest użycie β -galaktozydazy do hydrolizy laktozy do glukozy i galaktozy w procesie otrzymywania nisko-laktozowego mleka. W ten sposób przerabia się ok. 250 tys. l mleka dziennie. Trzecim procesem tego typu jest produkcja akrylamidu z akrylonitrylu za pomocą hydratazy nitrylowej, która w zakładach Mitsubishi Rayon jest prowadzona w skali 30 tys. t rocznie.

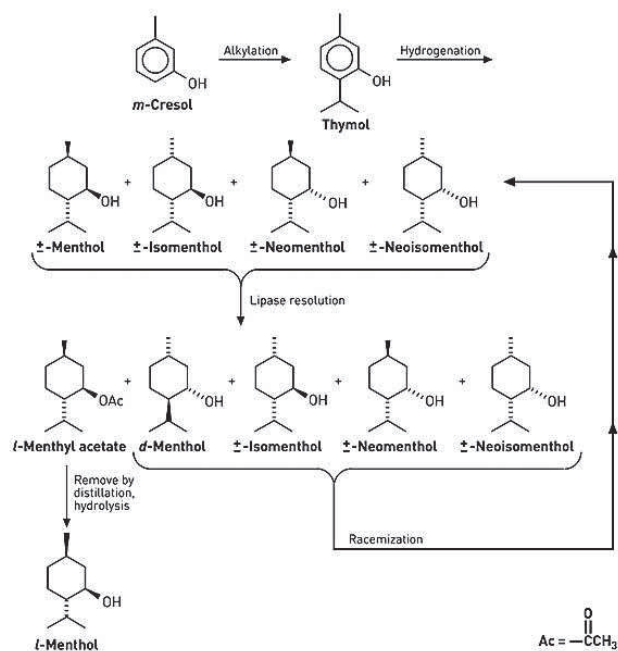
Biała biotechnologia powszechnie stosuje organizmy modyfikowane genetycznie. Dobrym przykładem jest tutaj produkcja waniliny odpowiedzialnej za charakterystyczny zapach wanilii. O roli tego aromatu świadczy fakt, że w 2007 r. prof. Mayu Yamamoto otrzymał Nagrodę Ig Nobla za opracowanie metody izolacji waniliny z kału krowiego.



Rys. 1. Schemat mikrobiologicznej produkcji waniliny

Kilogram tej substancji izolowanej z lasek wanilii kosztuje do 3 tys. USD, podczas gdy kilogram waniliny wyprodukowanej chemicznie z gwajakolu kosztuje zaledwie 15 USD. Organizacje konsumenckie oraz proekologiczne są przeciwnie stosowaniu chemicznie wytwarzanych dodatków do żywności. Zatem wanilinę produkuje się też metodami biotechnologicznymi, często używając w tym celu komórki mikroorganizmów modyfikowanych genetycznie (głównie w celu zablokowania procesu przekształcania waniliny w kwas wanilinowy). Jako substratów używa się tu eugenolu (główny składnik olejku z goździków) lub kwasu ferulowego (produkt odpadowy w przemyśle papierniczym). Tak wyprodukowany związek nazywa się *aromatem identycznym z naturalnym* zakładając, że jest on nieomal naturalny, a tym samym lepszy niż produkowany chemicznie. Nieco inaczej produkuje się mentol, gdyż pierwsze etapy jego otrzymywania, to dwie proste reakcje chemiczne – alkilowanie toluenu i redukcja otrzymanego tymolu. Powstaje wszystkie osiem stereoizomerów mentolu. Z tej mieszniny tylko mentol jest acylowany za pomocą odpowiednio dobranej lipazy i zostaje oddzielony od pozostałych izomerów. Te poddaje się racemizacji i w mieszninie znów pojawia się mentol, który wydzielany jest

w postaci octanu za pomocą reakcji enzymatycznej. Tak uzyskany mentol jest zaliczany do aromatów identycznych z naturalnym, ponieważ powstał na drodze biotransformacji.



Rys. 2. Chemoenzymatyczna produkcja mentolu

Nie ma żadnej różnicy między związkiem otrzymanym na drodze chemicznej, a takim samym związkiem otrzymanym w procesie biokatalitycznym. Jednak konsumentowi, słowo *chemia* kojarzy się źle, a słowo *naturalny* – dobrze.

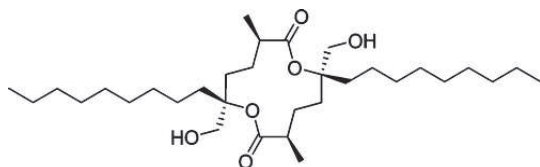
Biotechnologiczne remediacja i ochrona środowiska zaliczane są czasami do *białej biotechnologii*, a czasami tworzy się dla nich odrębną kategorię *szarej biotechnologii*. W tym przypadku procesy biotechnologiczne stosowane są jako wspomagające oczyszczanie gleby, ścieków, spalin i wylęgów, a także używane są do utylizacji odpadów. Przykładem może tu być bioremediacja gruntów i wód podziemnych skażonych ropopochodnymi. W Polsce problem ten dotyczy szczególnie terenów, na których stacjonowała kiedyś Armia Czerwona. Procesy te można stymulować poprzez dodawanie do miejsc zanieczyszczonych odpowiednich pożywek, wzmacniających mikroorganizmy obecne w glebie i wodzie, a zdolne do rozkładu ropopochodnych (tak zwane organizmy autochtoniczne), lub poprzez napowietrzanie terenu poddanego bioremediacji, co powoduje zwiększenie szybkości wzrostu tych mikroorganizmów. Można też suplementować glebę specjalnie wyselekcjonowanymi bakteriami lub grzybami, dobranymi tak, aby efektywnie degradowały określony typ zanieczyszczeń. Tutaj stosuje się niekiedy bakterie modyfikowane genetycznie. Bioremediacja ma tę szczególną zaletę, że stosowana jest na miejscu skażenia i nie wymaga używania szczególnie skomplikowanych urządzeń. Co więcej, takie metody oczyszczania gruntów cieszą się całkowitą aprobatą społeczną [9].

Ważnym zagadnieniem jest również poznanie molekularnych mechanizmów degradacji zanieczyszczeń tak, aby można było projektować nowe technologie oczyszczania odpadów przemysłowych i komunalnych, modyfikowane genetycznie organizmy zdolne degradować określone zanieczyszczenia, czy też wprowadzać nowe bezpieczniejsze dla środowiska materiały. Przykładem takich materiałów jest produkcja tak zwanych polimerów biorozpraszalnych. Standardowo stosowane tworzywa sztuczne charakteryzują się bardzo dużą odpornością na warunki środowiska. Wiedza o tym, że nie są one praktycznie degradowane, spowodowała wprowadzenie do struktur tych polimerów materiałów łatwo degradowalnych, takich jak celuloza czy skrobia. Degradacja celulozy czy skrobi, pełniących najczęściej rolę wypełnia-

cza w tych tworzywach, powoduje dyspersję trudno degradowalnych składników w środowisku i zmniejsza istotnie ich niekorzystny wpływ na środowisko naturalne.

Poznanie molekularnych mechanizmów degradacji zanieczyszczeń, szczególnie tych trwałych, nie jest jednak sprawą prostą, gdyż jeden mikroorganizm nie jest zazwyczaj w stanie doprowadzić do ich całkowitej mineralizacji. Tak więc, są to zazwyczaj procesy, w których biorą udział konsorcja bakteryjne, a takie wspólne rozkładanie związku na mniejsze kawałki nazywamy ko-metabolizmem.

Niekiedy wyróżnia się również tak zwaną *niebieską biotechnologię*. Kładzie ona nacisk na techniczne wykorzystanie procesów i mikroorganizmów charakterystycznych dla mórz i oceanów. Wykorzystuje ona bioróżnorodność środowiska morskiego dla otrzymania nowych wyrobów. Warto wiedzieć, że ok. 80% żywych organizmów świata można spotkać w ekosystemach wodnych. Jej zadaniem jest też utrzymać i poprawić stan bogactwa tych zbiorników wodnych, bo od tego zależy w znacznej mierze cała działalność morska człowieka. Przed tą biotechnologią stają wielkie wyzwania, ponieważ znajduje się ona we wczesnej fazie rozwoju. Tym niemniej, z organizmów morskich wyizolowano już ponad 15 tys. substancji wykazujących różnorodną aktywność biologiczną, w tym wiele obiecujących antybiotyków. Te środki przeciwbakteryjne otrzymuje się nie tylko z bakterii, ale także z innych organizmów morskich [10]. Dimer antybakteryjnego malingolidu, wyizolowany ostatnio z morskiej cyjanobakterii *Lyngbya majuscula* jest dobrym przykładem możliwości, jakie oferuje biotechnologii ekosystem morski. Związek ten wykazuje znaczącą aktywność przeciw opornemu na inne leki szczepowi *Plasmosium falciparum*, pierwotniakowi powodującemu malarię.



Rys. 3. Dimer malingolidu

Listę kolorów biotechnologii zamyka kolor fioletowy. Obszarem jej działalności są związane z biotechnologią problemy społeczne, prawne, etyczne i filozoficzne. Jeśli firma, która opatentowała roślinę modyfikowaną genetycznie będzie starała się o zaakceptowanie jej jako produktu rynku europejskiego, wówczas dyskusja na temat tej rośliny będzie mieścić się w obszarze *fioletowej biotechnologii*. Dobrym przykładem jest tu próba wprowadzenia, w 2007 r. przez koncern BASF, na rynek europejski dwóch genetycznie modyfikowanych odmian ziemniaka: odmiany wysokoskrobiowej oraz odmiany odpornej na zarazę ziemniaczaną (zaraza ta w XIX w. spowodowała, że w Irlandii znaczna część społeczeństwa zmarła z głodu). Ta pierwsza nie uzyskała akceptacji UE, choć nie jest odmianą jadalną (ziemniak paszowy), tę drugą zaakceptowano w Wielkiej Brytanii, a jest odmianą jadalną. Decyzja brytyjskiej agencji rządowej spotkała się z krytyką organizacji ekologicznych i konsumenckich.

Niektóre gremia proponują, aby do tej gamy kolorów dołożyć jeszcze: żółtą (biotechnologia żywienia i pasz), brązową (biotechnologia terenów suchych i pustynnych), złotą (biotechnologia informatyczna – biokomputery i biochipy) oraz ciemną (bioterroryzm i broń biologiczna) [11]. Warto zwrócić uwagę, że z kolorów tęczy, do wykorzystania zostają jeszcze pomarańczowy i indygo.

Kolorowy podział biotechnologii, mimo że użyteczny, nie jest jednoznaczny, bowiem pola ich działalności się wzajemnie przenikają. Do której biotechnologii zaliczyć zagadnienie patentowania (biotechnologia fioletowa) nowej szczepionki (biotechnologia czerwona) wytwarzanej przez genetycznie modyfikowaną roślinę (biotechnologia zielona)?

Badania wskazują, że 70% społeczeństwa polskiego jest przeciwna stosowaniu organizmów modyfikowanych genetycznie. Co za tym idzie przeciwni GMO są także politycy, więc polskie prawodawstwo należy do najbardziej restrykcyjnych w tym względzie. Z drugiej strony, 90% ekspertów jest zdania, że trzeba stosować organizmy modyfikowane genetycznie [12]. Ta różnica zdań najprawdopodobniej wynika z faktu, że w ogólnym społecznym odczuciu modyfikacja genetyczna kojarzy się z manipulowaniem genomem roślinnym (nowe odmiany roślin) lub, co gorzej, z manipulowaniem genami ludzkimi (klonowanie, produkcja superżołnierzy). Eksperti wiedzą, że jest to o wiele szersze zagadnienie i w rzeczy samej aprobowane przez społeczeństwo, szczególnie gdy dotyczy problemów ochrony zdrowia. Zatem odpowiedź na pytanie, czy jest ona Dr Jekyll czy też panem Hyde, nie jest prosta, bo zależy od konkretnego przypadku. Jedno jest pewne – kraje, które zrezygnują z rozwoju biotechnologii solidnie zapracują na swoje zapóźnienie cywilizacyjne.

Literatura

1. The Convention on Biological Diversity. United Nations – Treaty Series vol 1760, 29.12.1993.
2. <http://pl.wikipedia.org/wiki/Biotechnologia>.
3. <http://www.icppc.pl/antygmo/>.
4. Anioł A., Bielecki S., Twardowski T.: *Genetycznie modyfikowane organizmy – szanse i zagrożenia dla Polski*. Nauka 2008, **1**, 63-84.
5. Anioł A., Zimny J.: *Zielona biotechnologia*. Panorama: Biotechnologia roślin 2008, **3**, 4-7.
6. Kapusta J., Modzelska A., Figlarowicz M., Pniewski T., Lettelier M., Lisowa O., Yusibov V., Koproński H., Płócienniczak A., Legocki A. B.: *A plant derived edible vaccine against hepatitis B virus*. *FASEB J.* 1999, **13**, 1796-1799.
7. Songa J.M., Yang H., Kwan T.: *Development of a novel DNA chip based on a bipolar semiconductor microchip system*. *Biosensors & Bioelectronics* 2007, **22**, 1447-1453.
8. Dignum M. J. W., Kerlera J., Verpoorte R.: *Vanilla Production: technological, Chemical and Biosynthetic Aspects*. *Food Reviews International* 2001, **17**, 119-120.
9. Olszanowski A., Sozański M., Urbaniak A., Voelkel A.: *Remediacja i bioremediacja zanieczyszczonych wód i gruntów oraz wykorzystanie technik modelowania i informatycznych w inżynierii środowiska*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej 2001.
10. Laport M. S., Santos O. C. S., Muricy G.: *Marine sponge: potential source of new antimicrobial drugs*. *Curr. Pharmaceut. Biotechnol.* 2009, **10**, 86-105.
11. Notka wydawnicza. *The colours of biotechnology: science, development and humankind*. *Electronic J. Biotechnol.* 2005, **8**, 1-4.
12. Twardowski T.: *Różne kolory biotechnologii i biogospodarka*. Kosmos 2007, **56**, 221-226.

Prof. dr hab. inż. Paweł KAFARSKI urodził się w 1949 r. w Gdańsku. Studiował chemię na Wydziale Chemicznym Politechniki Wrocławskiej, gdzie w 1977 r. uzyskał stopień doktora (promotor prof. Przemysław Mastalerz), a w 1990 r. stopień doktora habilitowanego. Tytuł profesora nauk chemicznych otrzymał w 2000 r. Od 1992 r. kieruje Zakładem Chemii Bioorganicznej na wydziale Chemicznym Politechniki Wrocławskiej. Od 1982 r. jest także zatrudniony na Uniwersytecie Opolskim. Sprawuje lub sprawował wiele funkcji typowych dla pracownika akademickiego. Jest współautorem ponad dwustu pięćdziesięciu prac naukowych, które są cytowane w literaturze ponad dwa tysiące razy. Był promotorem dwudziestu jeden prac doktorskich. Jego zainteresowania naukowe obejmują projektowanie, syntezę i badanie wybranych właściwości biologicznych związków aminofosfonowych i ich pochodnych. Innym nurtem badań jest chemia produktów naturalnych. Spośród nagród i wyróżnień szczególnie sobie ceni Medal im. Jana Hanusa nadany przez Czeskie Towarzystwo Chemiczne i medal im. Prof. Włodzimierza Trzebiatowskiego nadany przez Senat Politechniki Wrocławskiej.