



Ryc. 12. Zachód słońca. Danum Valley. Fot. J. Różański.

stopień rozwinięcia tych błon jest różny, co wpływa na jakość i odległość lotu. Do najbardziej rozpoznawalnych gatunków spotykanych na Borneo należą *Rhacophorus reinwardtii*, *Rhacophorus paradils* (Ryc. 9) oraz *Rhacophorus nigropalmatus* (Ryc. 10).

Gatunki te żyją na drzewach w pobliżu niewielkich zbiorników wodnych. Samice umieszczają jaja w gniazdach z piany na gałęziach drzew, nad powierzchnią wody. Uwalniające się z osłon jajowych kijanki wpadają do zbiornika wodnego, w którym przebiega dalszy rozwój, aż do metamorfozy.

Las deszczowy Borneo do połowy XX w. pokrywał praktycznie całą powierzchnię wyspy. Wskutek zakrojonego na szeroką skalę wylesiania, głównie w celu pozyskania drewna lub pod uprawy palmy olejowej (Ryc. 11), obszar ten skurczył się i w chwili obecnej stanowi jedynie 44,4% pierwotnej powierzchni. Szacuje się, że jeśli obecny trend się utrzyma, do roku 2020 las będzie stanowił zaledwie 32,6% powierzchni lądu. Zanikanie i fragmentacja lasu jest głównym zagrożeniem dla bezcennej bioróżnorodności Borneo. Szczególnie narażone są organizmy, które wykształciły zdolność biernego lotu, bowiem ich adaptacje są ściśle związane z nadrzewnym trybem życia.

Józef Różański, magistrant II roku SUM na kierunku Biologia, Zakład Anatomii Porównawczej Instytutu Zoologii UJ. E-mail: jozek.rozanski@uj.edu.pl. Promotor: dr hab. Krystyna Żuwała, e-mail: krystyna.zuwała@uj.edu.pl.

BIOWODÓR – PALIWO PRZYSZŁOŚCI?

Dariusz Dziga (Kraków)

Pewnego razu, w trakcie codziennego, porannego dojazdu do szkoły moja 9 letnia córka zauważyła prawie zerowy stan na liczniku i wyraziła zaniepokojenie, czy nie braknie paliwa zanim dojedziemy do szkoły. Na to jej młodsza siostra zażartowała, że możemy stanąć nad płynącą nieopodal rzeczką i dołączyć wody, bo przecież auto oprócz jedzenia potrzebuje się czasem także napić. Tak się złożyło, że był to akurat czas, kiedy przygotowywałem się do rozpoczęcia wykładów dla studentów kierunków przyrodniczych UJ, zatytułowanych „Biotechnologiczne metody produkcji paliw”. Wtedy to przypomniałem sobie sentencję Juliusza Verne, którą pierwszy raz zasłyszałem na kursie White Biotechnology – Biotechnology for Sustainable Development w czasie rocznego stypendium w Åbo Akademi University w Finlandii. Przypomniałem ją w całości, bo mimo pewnych wad zawiera ideę, która znaczy o wiele więcej, niż mogłoby się wydawać na pierwszy rzut oka. W wolnym tłumaczeniu na język polski brzmi ona: „Wierzę, że pewnego dnia woda będzie użyta jako paliwo, ponieważ wodór i tlen, które ją tworzą, użyte oddzielnie lub razem, stanowiąc będą niewyczerpane źródło ciepła i światła.

Jestem przekonany, że gdy zapasy węgla zostaną wyczerpane, będziemy produkować ciepło przy pomocy wody. **Woda jest paliwem przyszłości**” (Jules Verne, 1875).

Czy woda rzeczywiście może być paliwem przyszłości? Precyzyjna odpowiedź brzmi - NIE. Nie paliwem, ale... substratem do produkcji paliwa. Na dodatek jedynym wymaganym substratem, który przy użyciu energii słonecznej może być przekształcony w wydajne paliwo silnikowe – wodór. W tym sensie wodę można potraktować jako wymarzone „paliwo” Juliusza Verne.

Jeśli ktoś pamięta ogólną reakcję fotosyntezy (będzie o tym mowa poniżej), może dojść do oczywistego wniosku, że na tej samej zasadzie woda służy roślinom (także glonom i sinicom) do produkcji energii, a konkretnie do wytworzenia wysokoenergetycznych wiązań estrowych w cząsteczkach ATP. W ogólnym zarysie można więc powiedzieć, że produkcja wodoru z wody (i energii świetlnej) może przebiegać niejako poprzez naśladowanie procesu fotosyntezy „wymyślonej” przez naturę przed miliardami lat. O tym, oraz o innych aspektach związanych

z produkcją paliwa przyszłości, będzie niniejszy artykuł.

Na początek kilka ważnych spostrzeżeń, które pozwolą zrozumieć, po co w ogóle potrzebne są badania dotyczące nowych źródeł energii. Wg prognoz International Energy Agency w 2050 roku globalne zapotrzebowanie na energię ma się kształtować na poziomie około 50 TW (terawatów, $[W=J/s]$). Oznacza to, że obecna produkcja energii będzie musiała zostać co najmniej podwojona. Mimo, iż w ostatnich latach okazało się, że pesymistyczne przewidywania dotyczące wyczerpywania się paliw kopalnych nie sprawdzają się (vide nowe gigantyczne zasoby ropy, m.in. na wybrzeżu Brazylii, czy też skuteczność nowych technologii pozyskiwania gazu łupkowego), oczywiste jest, że część produkowanej energii będzie musiała pochodzić z nowych, niekonwencjonalnych źródeł. Ponadto, bądź co bądź zasób paliw kopalnych jest skończony i w dalszej perspektywie czasowej świat BĘDZIE MUSIAŁ przestawić się w całości na nowe technologie. Należy także zwrócić uwagę, że istniejące zasoby paliw kopalnych, zwłaszcza ropy, można lepiej wykorzystać do wytwarzania różnorodnych produktów na bazie zawartych w nich cennych komponentów niż je po prostu spalać. Powtarzam swoim studentom, że jak dotychczas ludność XX i XIX wieku wykorzystując paliwa kopalne zachowuje się jak człowiek pierwotny, który znalazłszy nieocenioną wartość księgozbiory pali je, aby się ogrzać i jeszcze jest zadowolony, jak sprytnie je wykorzystuje.

Po drugie, nowa technologia musie być opłacalna, aby mogła być powszechnie stosowana. Niestety jest z tym duży problem, zarówno energia pochodząca z turbin wiatrowych czy baterii słonecznych, a nawet biopaliwa produkowane w tak prymitywny technologicznie sposób jak bioetanol z np. trzciny cukrowej czy biodiesel z oleju palmowego są w niektórych państwach obficie dotowane, czyli de facto nieopłacalne ekonomicznie i w dłuższej perspektywie oraz w jeszcze większej skali tego typu produkcja nie ma prawa bytu. Z kolei relatywnie tańsza i wbrew pozorom bardzo bezpieczna energia nuklearna ma swoich niezłomnych przeciwników. Ponadto możliwości produkcji energii atomowej też są mocno ograniczone, jedna przeciętnej wielkości elektrownia posiada moc 1,3 GW (średnia dla całego roku), co oznacza, że aby zaspokoić całościowo wspomniane wcześniej zapotrzebowanie globalne (50 TW), należałoby wybudować w ciągu niespełna 40 lat około 23 tys. takich obiektów, a inaczej mówiąc oddawać do użytku jedną elektrownię atomową co 40 godzin. Po takich obliczeniach powtarzam sceptykom, że trzeba się od

zaraz zabrać do roboty, ponadto istnieją koncepcje budowy znacznie bardziej wydajnych reaktorów, można więc spodziewać się znaczącego postępu technologii jądrowej, ale mimo wszystko oczywiście wydaje się, że energia pochodząca z elektrowni atomowych może stanowić jedynie nieduży odsetek całości produkcji. W takiej sytuacji naturalny wydaje się trend na nowe technologie.

W przypadku produkcji biopaliw na bazie biomasy roślinnej można zaobserwować niejako powrót do źródeł. Wszak szacuje się, że jeszcze w pierwszej połowie XIX wieku aż 30% terenów uprawnych przeznaczonych było na wypas zwierząt pociągowych (koni i wołów), które można z przymrużeniem oka zaliczyć do pierwotnych pojazdów, dla których paliwem były po prostu rośliny. Dzisiaj, w świecie superszybkich, wszechstronnych pojazdów, nasze konie mechaniczne są na powrót „karmione” przetworzonymi roślinami. Zresztą, jak wiemy, ropa czy gaz ziemny to także produkty powstałe z naturalnego przekształcenia materiału roślinnego.

Wreszcie trzeci aspekt istotny w kontekście planowania przyszłych badań. Światło słoneczne jest zdecydowanie najważniejszym źródłem energii dostępnej na Ziemi, którą można wykorzystać do przetworzenia w wysokoenergetyczne paliwa lub energię elektryczną. I będzie tak dopóki ludzkość nie opanuje zupełnie nowych technologii, dzisiaj jeszcze rodem z SF. Szacuje się, że całość energii świetlnej docierającej do powierzchni naszej planety w skali roku to 178 PJ/s (178 petawatów). Łatwo policzyć, że wystarczyłoby zagospodarować 1/6000 tej mocy, aby zaspokoić przewidywane na 2050 rok globalne zapotrzebowanie. Oczywiście część energii świetlnej jest odbijana lub pochłaniana, znaczna część pada także na obszary pokryte oceanami, ale i tak można uznać, że jest to praktycznie nieograniczone źródło. Z drugiej strony jest też nad czym pracować, bo energia słoneczna jest mocno rozproszona, a obecne technologie wyłapywania i przetwarzania kwantów światła są stosunkowo drogie. Konwencjonalne wykorzystanie energii świetlnej to budowa baterii słonecznych. Przykładem ambitnego planu w tym obszarze jest firmowany przez Unię Europejską projekt Desertec, zakładający pokrycie sporych obszarów pustynnej Afryki Północnej elektrowniami słonecznymi połączonymi potężną „pajęczyną” linii przesyłowych, które doprowadzałyby energię elektryczną do krajów europejskich. Zakładana moc całego systemu ma wynosić 100 GW, co przy ogromnych kosztach budowy (400 mld Euro na elektrownie plus 50 mld Euro na linie przesyłowe) daje wysoki koszt za 1 GW około 5 mld Euro, a więc na poziomie podobnym do

energii produkowanej w reaktorach atomowych. Jeśli do tego dodamy nieoszacowany dotychczas koszt serwisowania takiej olbrzymiej infrastruktury oraz ryzyko związane z położeniem w niestabilnym politycznie rejonie, może się okazać, że pomysł jest nierealny ekonomicznie, co nie znaczy, że nie będzie realizowany, bowiem decydenci UE nie zawsze kierują się rachunkiem ekonomicznym, często natomiast względami ideologicznymi.

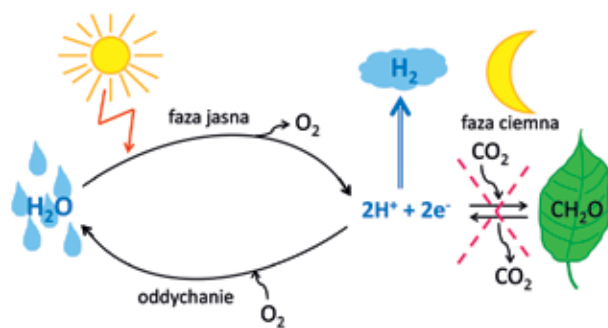
W tym momencie dochodzimy do wątku przewodniego niniejszego artykułu, czyli wykorzystania energii świetlnej do produkcji biopaliw. Alternatywą dla drogich systemów solarowych jest bowiem wytwarzanie paliw bazujące na: 1) produkcji biomasy przez organizmy fotosyntetyzujące lub też 2) schemacie fotosyntezy, ale z ominięciem etapu wytwarzania związków organicznych (co ma miejsce w tzw. fazie ciemnej).

Pośród metod produkcji biopaliw opierających się na przetworzeniu biomasy roślinnej można wyróżnić te najprostsze, czyli fermentacja cukrów do etanolu, produkcja biobutanolu oraz ekstrakcja olejów roślinnych i wytwarzanie biodiesla. Ze względu na względną prostotę tego typu przekształceń biodiesel z oleju palmowego oraz bioetanol z trzciny cukrowej i nasion kukurydzy są obecnie dominującymi biopaliwami w skali globalnej. Na dodatek jest to prężnie rozwijający się rynek, z czego jednak nie należy się cieszyć, bo znane już negatywne skutki produkcji tych biopaliw znacząco przewyższają ewentualne korzyści. Ale to jest temat na osobny artykuł. Bardziej zaawansowane metody produkcji biopaliw to m.in. przekształcenie celulozy (czyli najpowszechniejszego polimeru cukrowcowego występującego na naszej planecie) w etanol lub wodór, produkcja biodiesla z biomasy glonów, czy produkcja biogazu lub energii elektrycznej z odpadów roślinnych i zwierzęcych, a także ze ścieków komunalnych i odpadów z gospodarstw domowych. Wspólnym mianownikiem wymienionych powyżej metod jest przekształcanie biomasy będącej źródłem związków organicznych (pozyskanej jako niewykorzystane resztki poprodukcyjne lub celowo wyprodukowanej) w inny rodzaj czystych, dobrze zdefiniowanych związków wysokoenergetycznych.

W opozycji do tych metod idea produkcji wodoru z wody stanowi całkowicie odmienne podejście. M.in. dlatego jest tak ciekawa i stanowi wielkie wyzwanie dla całego świata naukowego. Aby zrozumieć tę niezwykłą koncepcję, należy przypomnieć sobie w skrócie, jak wygląda ogólny schemat fotosyntezy (Ryc. 1). Istotą fazy jasnej jest rozbitcie (tzw. fotoliza) cząsteczek wody i wykorzystanie produktów tego rozpadu – elektronów i protonów (jonów wodorowych

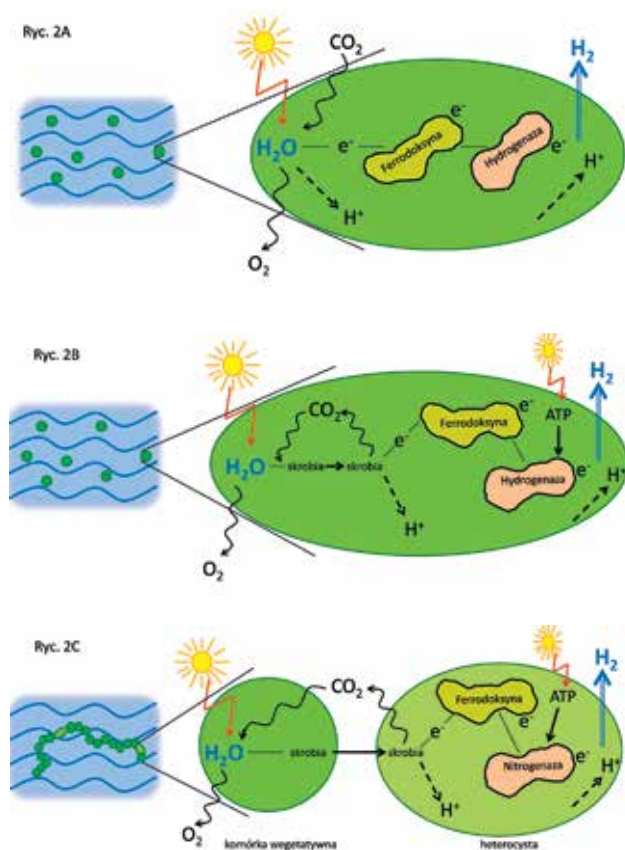
H⁺) do wytworzenia cząsteczek chemicznych ATP oraz NADPH, posiadających wysokoenergetyczne wiązania, które z kolei w fazie ciemnej umożliwiają produkcję organicznych związków, co jest celem samym w sobie procesu fotosyntezy. Najistotniejszym w kontekście produkcji wodoru jest proces rozpadu cząsteczek wody. Tego typu reakcja jest z chemicznego punktu widzenia identyczna do powszechnie znanego procesu elektrolizy wody, który można łatwo przeprowadzić przy użyciu energii elektrycznej. Różnica polega tylko na źródle energii potrzebnej do tego procesu. Energia pochodząca ze światła potrzebna jest zarówno do napędzania procesu fotolizy, jak też późniejszego transportu elektronów. Sam proces fotolizy wody wymaga sporego nakładu energii, która pozyskiwana jest za pomocą znanych wszystkim barwników fotosyntetycznych – chlorofilu. Dzięki absorpcji energii pochodzącej ze światła nadmiar energii zgromadzony w barwnikach jest wykorzystywany do odrywania i transportu kolejnych elektronów pochodzących z fotolizy wody.

Istotą produkcji wodoru jest odmienne wykorzystanie elektronów i protonów bezpośrednio do syntezy tego gazu, a nie do syntezy związków organicznych. Tak więc schemat takiego procesu jest zadziwiająco prosty: rozbitcie cząsteczek wody i wykorzystanie elektronów pochodzących z fotolizy do redukcji jonów wodorowych. Z pozoru łatwe zadanie dostarcza jednak wielu trudności, bo trzeba pamiętać, że miliardy lat ewolucji utrwaliły zaangażowanie tych dwóch składowych cząsteczki wody właśnie do syntezy związków organicznych. Problem więc polega na „zachęceniu” komórek glonów lub sinic do wykonywania odmiennego zadania. Tak naprawdę nie jest to zachęcenie, lecz cała masa zabiegów, które mają wymusić wskazany przepływ elektronów i protonów (między innymi poprzez blokowanie poszczególnych etapów fazy jasnej), aby elektrony nie miały innych ścieżek i niejako z musu łączyły się z protonami.



Ryc. 1. Ogólny schemat fotobiologicznej produkcji wodoru oparty na fotolizie wody zachodzącej podczas procesu fotosyntezy. Uwolnione protony i elektrony nie są wykorzystywane do produkcji związków organicznych w fazie ciemnej, lecz stanowią substraty dla hydrogenaz bądź nitrogenoz.

Na Ryc. 2 przedstawiam główne sposoby produkcji wodoru przy wykorzystaniu mikroorganizmów fotosyntetyzujących, na bazie wody jako jedyne donora elektronów. We wszystkich przypadkach wódor produkowany jest przez mikroorganizmy (sinice i glony) mające zdolność do przeprowadzania fotosyntezy. Najbardziej eleganckim i teoretycznie najprostszym systemem wydaje się być tzw. biofotoliza bezpośrednia (Ryc. 2A), w której można wyróżnić kilka prostych, kluczowych reakcji, w kolejności: 1) fotoliza wody, 2) przeniesienie elektronów z fotosystemów na białko zwane ferrodoksyną, które



Ryc. 2. Procesy biofotolizy bezpośredniej (A) i niebezpośredniej (B i C) prowadzące do produkcji wodoru. W każdym z trzech wariantów energia świetlna wykorzystywana jest do separacji elektronów i protonów w procesie fotolizy wody. Ponadto, w przykładach B i C proces fotosyntezy wspomaga produkcję wodoru poprzez dostarczenie ATP hydro- lub nitrogenazom. W przykładzie C produkcja wodoru zachodzi w wyspecjalizowanych komórkach (tzw. heterocystach) wytwarzanych przez sinice występujące w postaci nitkowatych kolonii. Dla uproszczenia pominięto rolę $NADP^+$ w przekazywaniu elektronów pomiędzy fotosystemami a ferrodoksyną. Szczegóły w tekście.

następnie jest bezpośrednim donorem elektronów przekazywanych na protony. Ta ostatnia reakcja, 3) synteza wodoru jest katalizowana przez hydrogenazę. Hydrogenazy, jak też nitrogenazy, to enzymy, które w ściśle określonych warunkach umożliwiają syntezę wodoru z elektronów i protonów. Reakcje tego typu w pewnych warunkach mogą przebiegać

w sposób naturalny, m.in. jako pewnego rodzaju zawór bezpieczeństwa umożliwiający usunięcie nadmiaru zaabsorbowanej energii świetlnej, jednak ich intensywność jest minimalna. Wysiłki badaczy zmierzają więc, jak zostało wspomniane wcześniej, w kierunku naprowadzenia niemal całego „wysiłku” mikroorganizmów na pożądany przez nas cel.

Dwa kolejne schematy przedstawiają alternatywne metody produkcji wodoru z wody, tzw. biofotolizę niebezpośrednią, która przebiega dwuetapowo. Uważny czytelnik zauważy, że warianty B i C można uznać za rozszerzony wariant A i kluczowe reakcje są identyczne, jak te opisane powyżej. W pierwszym kroku energia świetlna jest wykorzystywana do nagromadzenia związków zredukowanych, które przejmują elektrony pochodzące z fotolizy (związki te – NADPH, są zresztą identyczne z tymi powstającymi w naturalnym procesie fotosyntezy). Na bazie NADPH syntetyzowane są związki organiczne. W drugim kroku elektrony pochodzące z tych cukrów, znowu za pośrednictwem NADPH są ponownie uwolnione i przekazywane poprzez ferrodoksynę na hydrogenazy lub nitrogenazy. Sama reakcja syntezy wodoru jest wspomagana przez fotosystem I, który dostarcza wysokoenergetycznych cząsteczek ATP, a te są wykorzystywane przez energochłonne enzymy katalizujące powstawanie wodoru. Trzeci wariant jest w zasadzie modyfikacją drugiego, główna różnica polega na przestrzennym rozdzieleniu obu etapów. Pierwszy etap, w którym oprócz wygenerowania wolnej puli elektronów uwalniany jest także tlen (jako produkt uboczny), zachodzi w typowych komórkach wegetatywnych sinic, drugi zaś w specjalnych komórkach zwanych heterocystami. Istotą tego rozdziału jest stworzenie warunków beztlenowych w miejscu działania hydrogenaz lub nitrogenaz, które są ekstremalnie wrażliwe na tlen i w jego obecności ulegają inaktywacji, w niektórych przypadkach nieodwracalnej. Oczywiście beztlenowe warunki, tworzone zarówno lokalnie jak i czasowo, tzn. tylko w pewnych obszarach komórek, gdzie i kiedy działają hydrogenazy lub nitrogenazy, są konieczne także w produkcji wodoru przedstawionej na schemacie pierwszym i drugim, ale w przypadku wariantu trzeciego beztlenowość zapewniona jest w całym obszarze heterocyst.

Aby takie modelowe systemy mogły nam zapewnić znaczącą ilość paliwa, jakim jest wódor, nie wystarczy wybudowanie setek czy tysięcy olbrzymich bioreaktorów, w których niezliczone ilości mikroorganizmów dostarczałyby nam wartościowego produktu. Główny problem leży bowiem w wydajności, a nie w skali. Niemal całe wysiłki badaczy pracujących

nad mikrobiologiczną produkcją wodoru z wody koncentrują się nad sposobami poprawy efektywności, czyli uzyskania z danej ilości komórek jak największej ilości paliwa w możliwie jak najkrótszym czasie. Niestety nie ma jednego idealnego rozwiązania, gdyż istnieje szereg barier utrudniających osiągnięcie założonego celu, a badania skupiają się na kilku kluczowych kwestiach. Główne możliwe strategie poprawy efektywności to: 1) uzyskanie wysokiej wydajności wykorzystania energii świetlnej, 2) obniżenie wrażliwości hydrogenaz/nitrogenaz na tlen oraz 3) przekierowanie większości powstałych w fotolizie wody elektronów na szlak syntezy wodoru. Problemy te próbuje się rozwiązywać na różne sposoby i przy wykorzystaniu różnorodnych technik, począwszy od poszukiwań i wyboru najbardziej odpowiednich gatunków mikroorganizmów, poprzez manipulowanie składem pożywki dostarczanej mikroorganizmom, manipulacje na poziomie fizjologii komórki, modyfikowanie szlaków biochemicznych oraz, wnikając w coraz głębsze poziomy organizacji komórki, wykorzystując techniki inżynierii genetycznej do zmian sekwencji DNA i ekspresji genów, a skończywszy na poziomie wręcz pojedynczych atomów. Jak się można domyślić, tego typu prace wymagają współpracy i koordynacji naukowców z różnych dyscyplin i często zdarza się, że w danej grupie badawczej pracują wspólnie naukowcy o specjalizacji typowo mikrobiologicznej, ale też specjaliści z biologii komórki, biochemicy, biofizycy i genetycy, skończywszy na

chemikach i fizykach. Jest to z jednej strony duże wyzwanie, ale też, jak to zwykle bywa w nauce, im większe trudności, tym większa pasja.

Podsumowując, mikrobiologiczna produkcja wodoru z wody stanowi wielką szansę, ale także wielkie wyzwanie dla całego świata nauki i nie tylko. Podkreślam, mówimy o produkcji czystego i wydajnego paliwa na bazie energii słonecznej. Gdyby udało się uzyskać wystarczającą efektywność tego procesu, można by mówić o wprost niewyczerpanych zasobach. Można sobie teoretycznie wyobrazić, że podstawowym i na dodatek jedynym substratem jest odsolona woda morska! Potrzebne dodatkowe składniki to jedynie światło słoneczne oraz wszelkie substancje niezbędne do wzrostu i funkcjonowania mikroorganizmów, ale je teoretycznie można ze skutecznością bliską 100% odzyskiwać z wyeksploatowanej biomasy. Oczywiście dochodzi koszt konstrukcji i funkcjonowania odpowiednich systemów, ale on byłby podobny do tych, które już są ponoszone w istniejących bioreaktorach. Wadą wodoru jest także trudność jego magazynowania, ale to już zajęcie dla inżynierów. Na koniec więc pozwalam sobie zamieścić drugą symboliczną sentencję, tym razem Jima Barbera, znakomitego specjalisty w dziedzinie mikrobiologicznej produkcji wodoru, która powinna nas zachęcić do pracy: „If a leaf can do it, we can do it... It's only chemistry” (pol. „Jeśli liść może to robić, my możemy to zrobić. To tylko chemia”). Spróbujmy więc to wykonać – kropla paliwa za kroplę wody.

Dr Dariusz Dziga, adiunkt w Zakładzie Fizjologii i Biologii Rozwoju Roślin, Wydział Biochemii, Biofizyki i Biotechnologii Uniwersytetu Jagiellońskiego. E-mail: dariusz.dziga@uj.edu.pl.

SKUTECZNOŚĆ PSYCHOTERAPII I FARMAKOTERAPII W LECZENIU ZABURZEŃ DEPRESYJNYCH I LĘKOWYCH Z PERSPEKTYWY NEUROBIOLOGICZNEJ

Magdalena Adamczyk (Kraków)

Od XVII wieku, wraz z dualizmem kartezjańskim, w nauce zapanowało przekonanie o bezwzględnej odrębności ludzkiego ciała i umysłu, a specjaliści zajmujący się leczeniem *psyche* i *somy* nie wchodzili sobie w drogę. Co prawda, pojedyncze głosy próbujące dowieść wzajemnego wpływu psychiki i ciała rozbrzmiewały już od początków XIX wieku, jednak dopiero rozwój technik neuroobrazowania pozwolił na naukowe wykazanie trafności tej idei.

Na przełomie XX i XXI wieku przeprowadzono wiele badań, w których starano się wykazać wpływ

psychoterapii na funkcjonowanie struktur mózgowych, a co za tym idzie – na poprawę stanu zdrowia pacjentów. W wielu z nich stan psychiczny osób cierpiących na zaburzenia psychiczne poprawił się jedynie w wyniku zastosowania terapii psychologicznej, bez wprowadzania farmakoterapii. Co więcej, stwierdzone zmiany w pracy mózgu były w większości przypadków podobne do tych zaobserwowanych u pacjentów przyjmujących leki, jednak niektóre badania wykazały odmienny wpływ psycho- i farmakoterapii.