

## Czy rośliny wytwarzają prąd?

**Jan Pietrzyk**

*Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Biologii  
E-mail: jan.pietrzyk@protonmail.com*

**Tutor: dr Małgorzata Adamiec**

*Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu,  
Wydział Biologii, Zakład Fizjologii Roślin*

**Słowa kluczowe** - *biotechnologia, bioelektryka roślin, biofotowoltaika, fizjologia roślin*

W dobie bardzo krytycznego podejścia do nieodnawialnych źródeł energii oraz promowania tzw. „zielonej energii” tj. takiej, która powstaje ze źródeł odnawialnych, rodzi się pytanie o konkretne opcje uniknięcia zanieczyszczenia przy jednoczesnym zapewnieniu energii ludzkości na świecie. Niektóre pomysły zdają się być kosztowne, inne z kolei mało efektywne, a od kiedy w dany temat angażują się coraz mocniej różni politycy oraz aktywiści sprawa staje się coraz bardziej zawiła. Co zatem z postawionym wyżej tytułowym pytaniem? Czy jest rozwiązaniem tego węzła gordyjskiego?

Odpowiedź zda się być mniej ambitna i bardziej skomplikowana od jakże doniosłego, a zarazem bezpośredniego pytania. Zaczniemy od samej definicji tego, czym dokładnie jest prąd. Jest to uporządkowany przepływ ładunków elektrycznych. Aby był uporządkowany musi wystąpić zazwyczaj jakiś bodziec działający na te ładunki. Czy znajdziemy coś takiego u roślin? Najłatwiej i najbardziej wyraźnie udaje się coś podobnego zauważyć w „fazie jasnej” fotosyntezy, kiedy to strumień fotonów lecący od ponad ośmiu minut z naszej gwiazdy dociera w końcu do chloroplastów i fotoukładów w ich tylakoidach. Należy pamiętać, że fotosynteza ma miejsce również np. w lodygach, ale też w niedojrzałych owocach lub niektórych kielichach kwiatów, co łatwo poznać po ich zielonym kolorze - nie tylko liście odpowiadają za ten magiczny proces. Czym zatem jest fotosynteza? Po dotarciu do takiego fotosystemu, kwanty światła powodują swego rodzaju łańcuch zdarzeń. Mianowicie wzbudzają elektrony w zewnętrznej części fotoukładu, które wzbudzają z kolei następne. Po dotarciu tej fali do centrum aktywnego dopiero stamtąd elektron jest wybijany i transportowany dzięki plastochinonom i cytochromom dalej. Z kolei zgromadzone aktywnie (również dzięki plastochinonom) po przeciwnej stronie błony tylakoidu protony wodorowe tworzą „przeciwny ładunek” w tym układzie. Przepływ protonów (po-

chodzących m. in. z wody) oraz elektronów biorących udział w tej operacji jest ze sobą sprzężony, przy czym elektrony napędzają pompę protonową (Berg i in., 2009). Zatrzymamy się tu na chwilę - łatwo jest nam zauważyć, że powstała różnica potencjałów, która jest „sztucznie”, wbrew układowi powiększana. Z reguły przekory i reguły maksymalizacji entropii wiemy, iż układ dąży do maksymalnej równowagi energetycznej, tym bardziej, im mocniej działa się wbrew owej równowadze. Nie musimy się martwić - na szczęście istnieje syntaza ATP, która niczym wentyl bezpieczeństwa „wypuszcza” jony wodorowe zgodnie z gradientem stężeń. Wykorzystując potencjał gradientu elektrochemicznego, zamieni go w zmagazynowaną energię w wysokoenergetycznym, trzecim już, wiązaniu grupy fosforanowej z pozostałą częścią cząsteczki ATP (Berg i in., 2009). Ileż praw biologicznych, chemicznych i wreszcie fizycznych zostało tu opisanych! A mówimy przecież o idealnym układzie, na który nie działają żadne pozostałe czynniki, pomijamy pozostałe kwestie i de facto zajmujemy się technicznym wycinkiem mikroczasu i mikroprzestrzeni. Nie popadajmy jednak w zachwyty - co z odpowiedzią na główne pytanie? Specjalnie podkreślone przeze mnie wyżej słowa „potencjał” i „zmagazynowana energia” świadczą o uzyskaniu z różnicy potencjałów konkretnej porcji energii, wykorzystanej do utworzenia wysokoenergetycznego wiązania chemicznego., czyli zmagazynowanej energii. Jest to tylko tyle i aż tyle. Prąd zatem powstaje - istnieje bowiem uporządkowany przepływ ładunków elektrycznych (tutaj - jonów  $H^+$  oraz elektronów), a różnica potencjałów tworzy - wg naszych standardów - bardzo niewielkie napięcie.

Zdawałoby się, że na tym poprzestaniemy i zostawimy temat przewodnictwa prądu w roślinach w tym miejscu. Nie byłoby to jednak w porządku wobec innego procesu, który zachodzi w komórkach m.in. roślinnych, a konkret-

nie - w mitochondriach. Proces, który tam ma miejsce, jest również występującym u nas procesem, dzięki któremu np. galki oczne Czytelnika mogą regularnie poruszać się za tekstem - warunkuje to praca mięśni skośnych w galce ocznej, a ich zdolność bierze się z procesu zachodzącego w mitochondriach z tzw. oddychania komórkowego, które syntetyzuje ATP i dzięki temu pośrednio dostarcza energii komórkom. Zmagazynowana energia pod tą postacią jest wykorzystywana do wielorakich działań wymagających jej doprowadzenia. Możemy zatem powiedzieć, iż są to niejako „mikroelektrownie” organizmów. Zasada działania jest tutaj podobna, jak w chloroplastach. Podczas jednej z faz oddychania komórkowego, a mianowicie podczas tzw. fosforylacji oksydacyjnej, również wykorzystywana jest różnica potencjałów do wytworzenia energii pod postacią ATP (Berg i in., 2009). Te zbieżności nie mogą zostać pominięte, jednak w tym wypadku napięcie również jest względnie bardzo niewielkie. Na marginesie można dodać, że oddychanie komórkowe jest jednak nieco mniej skomplikowanym niż fotosynteza procesem (np. brak fotoukładów i skomplikowanych procesów występujących między nimi, związki nieorganiczne jako produkty, brak uzależnienia oddychania komórkowego od światła i od konkretnej długości fal świetlnych) (Szwejkowska, 1999).

Uważam jednak, że trudno byłoby uznać rośliny za jakieś źródło prądu. Według mojej wiedzy również ani go nie przechowują, ani tym bardziej aktywnie z niego nie korzystają na poziomie wyższym niż komórkowy. Podobnie jest zresztą ze zwierzętami. Różni je jednak bardzo istotna rzecz - potrafią one aktywnie wykorzystywać sprawny, momentalnie regulujący się i reagujący oraz skomplikowany scalony układ receptorów i efektorów wplecionych w odpowiednio skonstruowaną tkankę nerwową do aktywnego reagowania na bodźce (czyli układ nerwowy). Dzięki temu układowi funkcjonalno-strukturalnemu m.in. krążkomeduza może odbierać proste bodźce świetlne i mechaniczne i jest w stanie porażać swą ofiarę parzydełkami. U roślin zaś brak jest takiego układu, w większości wypadków wszelki ruch lub reakcje na bodźce związane są z dwoma mechanizmami (u podstawy których leżą hormony roślinne), a mianowicie z turgorem oraz z mechanizmem wzrostowym.<sup>1</sup> Reakcja u nich jest zatem warunkowana chemiczno-mechanicznym czynnikami, nie zaś elektrycznym. Chciałbym tutaj uniknąć nieporozumień i doprecyzować pewną kwestię: moja - jakby nie patrzeć - subiektywna ocena bierze się z ciężaru słowa „wytwarzać”. Brzmi ono bardzo górnolotnie, dodatkowo odnosi się w tym wypadku do roślin ogólnikowo, a nie do procesów fotosyntezy lub oddychania komórkowego jako takich. Ponadto, kojarzy mi się ono, jeśli nie z przemysłową produkcją, to na pewno z czynną, przemyślaną lub uporządkowaną kreacją na większą skalę, a nie z wykorzystywaniem

1 Jednakże niektóre reakcje na konkretne zjawiska mają nieco podobną formę do tych występujących u zwierząt. Dobrym przykładem jest tutaj reakcja na zmianę położenia względem ziemskiej grawitacji - amyloplasty działające jako statolity w komórkach roślinnych powodują ucisk siateczki śródplazmatycznej, co przekłada się na zmianę potencjału elektrycznego w błonie komórki i wywołuje odpowiednią reakcję (tzw. grawitotropizm) (Szwejkowska, 1999). Ponadto badane są również reakcje roślin na stres. Są one powiązane z rozprzeczaniem jonów wapnia od miejsca, którego doświadczyło silnego bodźca (np. na zjadanie liści przez roślinozerców) i możliwe, że warunkują jakąś konkretną reakcję typu łańcuchowego, mającą np. zapobiec zjedzeniu całej rośliny.

przepływu ładunków elektrycznych do konkretnych celów osobnika. Lepiej charakteryzowałoby ten stan rzeczy sformułowanie stwierdzające, iż „rośliny wykorzystują prąd”. Być może mój tok myślenia nie jest matematycznie ścisły, podejźmy zatem ściśle do postawionego w tytule pytania. U roślin - a dokładniej mówiąc, w ich dwóch wcześniej wspomnianych organellach komórkowych - prąd jako taki istnieje, ponieważ dochodzi do wcześniej wspomnianego uporządkowanego przepływu jonów. Widzimy zatem, że z perspektywy ścisłego rozumienia słowo „wytwarzać”, wykreśliwszy mu skonkretyzowane granice, może być tutaj użyte. Dla mnie problemem jest w tym wypadku semantyka, która zawiera się także w indywidualnym spojrzeniu na konkretną wypowiedź i jej kontekst, co jest dla mnie motorem do mniej matematycznego spojrzenia na nasze tytułowe pytanie.

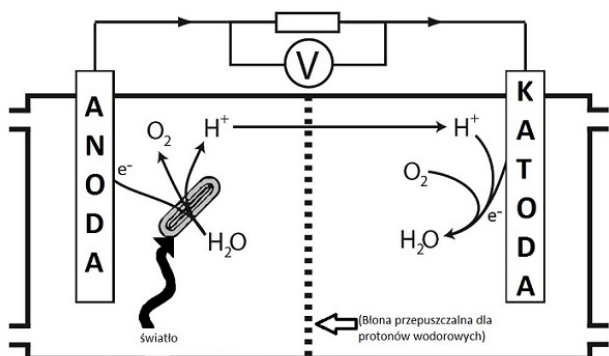
Możliwe, że na moją odpowiedź wpływa obecna skala wytwarzania energii elektrycznej na świecie. A skoro już zatoczyliśmy koło i powróciliśmy tematyką do pierwszego akapitu, to porównajmy zatem naszą niewiadomą do konkretnego źródła energii elektrycznej. Tym bardziej, że energia słoneczna wykorzystywana w fotowoltaice przypomina nieco zasadę działania w chloroplastach... na pierwszy rzut oka. Różnice są jednak ogromne! Sama budowa ogniwa jest inna i stworzona z materiałów nieorganicznych, wykorzystany jest nieorganiczny i krystaliczny przewodnik, prąd sam w sobie jest tutaj celem całego przedsięwzięcia, a nie środkiem służącym do wytworzenia wiązania chemicznego, które współtworzy związek mający swą rolę do odegrania później.<sup>2</sup> Ponadto, dochodzi do wytworzenia dużej ilości prądu, a później także do zmiany prądu stałego w zmienny, który to umożliwia korzystanie z urządzeń np. w domu. Podobieństwo kończy się zaś na wykorzystaniu fotonów i ich wpływie na wybite elektronów oraz powstaniu różnicy potencjałów.

Można by temat uznać za zamknięty, jednakże powinniśmy wziąć pod uwagę jeszcze jeden dział, spokrewniony z fotowoltaiką. Jest to tzw. biofotowoltaika (BPV), która jest od jakiegoś czasu w strefie zainteresowań naukowców. Tym bardziej, biorąc pod uwagę popyt na energię nieszkodzącą środowisku i tanią w eksploatacji, temat wydaje się interesujący. Istnieją różne „szkoly” przetwarzania energii świetlnej w elektryczną za pomocą organizmów żywych. Jedną z nich oparta jest na współpracy mchu oraz bakterii symbiotycznych - te drugie rozkładając dostarczone składniki odżywcze (uzyskane w procesie fotosyntezy w chloroplastach mchu), wydzielają jony, które są wylapywane przez włókna przewodzące, przez co powstaje uporządkowany przepływ jonów, czyli prąd (Adamczyk, 2016). Kolejnym przykładem jest wykorzystanie alg.

Na schemacie (Ryc. 1) widać dobrze zasadę działania. Jest ona dosyć mocno zbliżona do ogniwa galwanicznego - dwie elektrody w półogniwach umożliwiają transport elektronów, zaś rolę klucza elektrolicznego pełni wybiórczo przepuszczalna (tylko dla H<sup>+</sup>) membrana pośrodku, która

2 Generalnie rzecz ujmując, żaden organizm nie posiada możliwości magazynowania energii wykorzystywanej do funkcjonowania organizmu pod postacią energii elektrycznej - zawsze jest ona przechowywana w formie wiązań w związkach chemicznych.

zamyka obwód (Pazdro, 1996). Elektryony trafiające na anodę biorą się z procesu fotosyntezy glonów i biegną do katody (która ulega redukcji). Znow otrzymujemy prąd. Co ciekawe, najbardziej efektywne pod względem tworzenia prądu oraz najdłużej przeżywające są organizmy całościowo wykorzystywane w tej reakcji, nie zaś wyizolowane z nich błony tylakoidów lub nawet wyizolowane z owych błon fotoukłady.



Ryc. 1, Schemat funkcjonowania systemu biofotowoltaicznego (źródło - [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org))

Trzeci sposób wykorzystania systemów biofotowoltaicznych jest dosyć ciekawy - algi utrzymywane w zbiornikach wypełnionych wodą w wyeksponowanych na słońce miejscach tworzą zarówno prąd, jak i ciepło, przez co umożliwiają zmniejszenie nakładu energii doprowadzanej z zewnątrz do budynku w celach grzewczych. Woda ogrzana w takich zbiornikach może być bowiem transportowana do grzejników (Walker, 2014).

Jak jednak wyglądają realne możliwości wynikające z wyżej wspomnianych procesów? Szczerze mówiąc, obecnie trudno odnaleźć w tym dobre źródło prądu. Zaczniemy jednak od plusów. Jest to „zielone” źródło energii<sup>3</sup> o ujemnym śladzie węglowym (CO<sub>2</sub> jest pochłaniane w trakcie fotosyntezy), nie ma tutaj problemu z biodegradacją i komponentami przy jego wytwarzaniu. Trudno nie wspomnieć tutaj o akumulatorach w autach elektrycznych - litowo-jonowych, które to pochłaniają wiele energii przy tworzeniu, są też fatalne dla środowiska przy degradacji, zaś transport ich komponentów drogą morską z innych kontynentów wytwarza wiele zanieczyszczeń w związku ze spalaniem mazutu. Ponadto, ładowanie przebiega dzięki energii z elektrowni wykorzystujących np. węgiel. Wracając do biofotowoltaiki, kolejnym plusem może być tutaj niewielki koszt obsługi i przy wytwarzaniu oraz ewentualne możliwości grzewcze przy użytkowaniu (zob. wyżej). Jednakże pominiawszy fakt, że wydajność fotosyntezy *in vivo* wynosi ok. 1–2% (w laboratorium może dojść do 36%) (Lehninger, 1978), to uzyskana energia z biofotowoltaiki to ok. 50 mW z jednego metra kwadratowego (mchu)<sup>4</sup>. Tymczasem z jednego metra standardowego ogniwa fotowoltaicznego uzyskamy ok. 22W (Sokulska, 2013). Energia uzyskana z alg dałaby radę zasilić co najwyżej cyfrowy zegarek i posiada wydajność rzędu 0,1% (Sandru, 2010). Nadzieję daje ewentualna modyfikacja genetyczna docelowych autotrofów, które być może parokrotnie ich wydajność. Sytuacji też nie poprawia

<sup>3</sup> Warto tu wspomnieć o fakcie, iż wszelkie mediatory elektronów tylko utrudniają pracę takiego ogniwa, dzięki czemu otrzymujemy chemicznie bardziej jednnorodny i czystszy układ.

<sup>4</sup> Przy czym dla roślin naczyniowych jest to maksymalnie 220 mW/m<sup>2</sup> (Sokulska 2013).

fakt, iż należy się takimi ogniwami często zajmować. Warto mieć w pamięci fakt, iż jest to kompleks biologiczno-chemiczny (czasem potrójnie - mech i bakterie plus środowisko) podatny m.in. na patogeny, należy więc zapewniać mu cały czas odpowiednie warunki, co odbiega daleko od nieskomplikowanego użytkowania i wieloletniej gwarancji dla ogniw fotowoltaicznych. Obecnie układ „mech + bakterie” jest co najwyżej w stanie zasilać wcześniej wspomniany zegarek cyfrowy, jednak nie zapominajmy chociażby tego jaką moc obliczeniową miały pierwsze komputery, a jaką mają teraz zwykle osobiste telefony komórkowe.

Nie umniejsza to wszystko jednak ani ogniwo ani chloroplastom - obydwie struktury wykorzystują przecież podobne zjawisko. Zaskakuje jednak to, jak bardzo skomplikowane jest funkcjonowanie roślin i jak „mądrze” wykorzystują one wszelkie możliwe mechanizmy do otrzymania związków organicznych z nieorganicznych. Rośliny mogą być wspaniałym przykładem w wielu tematach, mogą być również inspiracją dla przyszłych ogniw będącymi źródłami energii odnawialnej. Jednakże, jak byśmy na to nie patrzyli, byłoby przesadą powiedzieć, że rośliny wytwarzają prąd [w domyśle – masowo], z powodów, o których wspominałem już wcześniej, niemniej powstaje on w roślinach. Powstaje także i pytanie – w ilu aspektach jeszcze te ciche i niepozorne organizmy nas zaskoczą?

## Literatura

- Adamczyk B., 2016. *Biofotowoltaika: roślinno - mikrobiologiczne ogniwa paliwowe*. <https://globenergia.pl/biofotowoltaika-roslinno-mikrobiologiczne-ogniwa-paliwowe/> [dostęp: 21.01.2020]
- Berg J. M., Tymoczko J. L., Stryer L., 2009. *Biochemia*, Warszawa, PWN
- Lehninger A. L., 1978. *Bioenergetyka*, Warszawa, PWN
- Pazdro K., 1996, *Elektrochemia*, Warszawa, Oficyna Edukacyjna
- Sandru O., 2010. *Green Algae Modified to Act as Photovoltaic Cells Power a Clock*. <https://www.greenoptimistic.com/green-algae-solar-cells-20100908/> [dostęp: 21.01.2020]
- Sokulska A., 2013, *Stoliczku zaświeć się*. <http://www.fiztaszki.pl/node/59> [dostęp: 21.01.2020]
- Szweykowska A., 1999. *Fizjologia Roslin*, Poznań, Wydawnictwo Naukowe UAM
- Walker C., 2014. *Arup's Latest Solar Panels Produce Energy From Algae*. <https://www.archdaily.com/514018/arup-s-latest-solar-panels-produce-energy-from-algae> [dostęp: 21.01.2020]
- Wikipedia.org, *Biological photovoltaics*. [https://en.wikipedia.org/wiki/Biological\\_photovoltaics](https://en.wikipedia.org/wiki/Biological_photovoltaics) [dostęp: 21.01.2020]

## Notka o Autorze

*Jestem studentem biologii na Uniwersytecie im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Moje początkowe zainteresowania historią przekułem w hobby, docelowo koncentrując się na biologii, nie stroniąc jednak od szerszego spektrum - nauk wobec niej pokrewnych i z nią powiązanych. Interesuję się różnymi dziedzinami, ponieważ lubię obserwować zjawiska wielowymiarowo. Wystrzegam się pobieżnego i naiwnego podejścia do nauki.*