

*Anna Kocimowska-Badek**

REAKCJE UTLENIANIA I REDUKCJI W ORGANIZMACH JAKO DROGI WIĄZANIA I POZYSKIWANIA ENERGII

Trudności dla ucznia stanowi utożsamianie reakcji redoks przedstawionych w programie chemii i biologii.

Przedmiotem referatu jest więc analiza głównych szlaków biochemicznych wiązania i uwalniania energii w organizmach, wykazanie zależności między potencjałem układów redoks uszeregowanych w łańcuchu oddechowym oksydoreduktaz i wydzielaną energią w procesie oddychania biologicznego.

Zrozumienie tych zagadnień jest możliwe poprzez wprowadzenie przez chemika pojęcia potencjału redoks jako siły motorycznej wszelkich procesów utleniania i redukcji.

Przedstawione zostaną tu również propozycje rozwiązań metodycznych wprowadzenia tych zagadnień w procesie kształcenia chemicznego na poziomie szkoły średniej.

Planowana w Polsce reforma edukacji dotyczyć będzie nie tylko treści nauczania, ale przede wszystkim filozofii kształcenia. Wyrażać się to powinno zmianą metod nauczania i traktowaniem ucznia jako podmiotu wszelkich zabiegów edukacyjnych.

Problemem wymagającym rozwiązania będzie określenie zakresu treści nauczania. Pojawiają się bowiem rozbieżności między możliwościami psychofizycznymi uczniów a poszerzającym się zakresem materiału, który powinni opanować, aby móc w przyszłości korzystać ze zdobyczy nauki i techniki, a jednocześnie żyć w zgodzie z samym sobą i otaczającym światem przyrody [1].

Poszczególne dyscypliny wiedzy stały się, mimo ich pierwotnego wspólnego pnia, zupełnie odrębnymi i często nie powiązanymi dziedzinami wiedzy. Obecny system edukacyjny sprzyja „szufladkowaniu wiedzy” Często pojęcia definiowane przez jedną dyscyplinę naukową są w świadomości ucznia zupełnie innymi pojęciami, niż te same pojęcia definiowane przez inną dyscyplinę. Stwarza to chaos pojęciowy i niemożność integrowania wiedzy. Ograniczoność działań integracyjnych wynika również z braku korelacji treści międzyprzedmiotowych w programach szkolnych na przykład między biologią i chemią.

* Politechnika Łódzka, Katedra Nauk Humanistycznych, 90-217 Łódź, ul. Sterlinga 16/18.

Istnieje więc pilna potrzeba dokonania analizy i ustalenia punktów wspólnych między dyscyplinami przyrodniczymi jak również zbudowania programów umożliwiających integrację wiedzy. Zmusza nas do tego konieczność, np. rozwiązywania problemów ekologicznych, których nie sposób traktować wycinkowo, lecz trzeba traktować je globalnie. Wyposażenie uczniów w zintegrowaną wiedzę będzie więc podstawą ukształtowania holistycznego postrzegania świata i globalnego rozwiązywania problemów. Rola chemii wydaje się tu szczególna. Chemia bowiem wyjaśnia na poziomie molekularnym istotę wielu skomplikowanych procesów, i to takich, o których do niedawna nie śmieliśmy nawet myśleć, jak na przykład: istotę dziedziczenia, syntezę skomplikowanych makrocząstek spełniających ważne funkcje biologiczne, a także istotę procesów wiązania i pozyskiwania energii w organizmach.

Tak więc chemia powinna stanowić podstawę rozumienia wielu zjawisk ekologicznych, a także funkcji życiowych roślin i zwierząt. Obecnie młodzież poznająca pojęcia chemiczne, takie jak na przykład: reakcje utleniania i redukcji, czy potencjał oksydoredukcyjny jako siłę napędzającą wszelkie reakcje redoks [2], nie odnosi ich do otaczającego świata przyrody i do tego, co dzieje się w organizmach roślin i zwierząt. A przecież to właśnie rośliny, wiążąc energię słoneczną i przeistaczając ją w energię wiązań chemicznych, umożliwiają życie na Ziemi.

To właśnie reakcje redoks są istotą zarówno fotosyntezy, czyli procesu wiązania energii w przyrodzie, jak i procesów oddychania biologicznego, czyli odzyskiwania tej energii przez organizmy. Są to, w moim przekonaniu, najtrudniejsze, a jakże istotne treści. Wiążą one bowiem, ze światem istot żywych i z bardzo skomplikowanymi reakcjami przemian fizjologicznych to, co w chemii i fizyce wydaje się wręcz proste i oczywiste.

Powstają zatem następujące pytania:

- jak realizować te treści w programach edukacyjnych na poziomie szkoły średniej,
- czy nie można ich wprowadzić jeszcze wcześniej, a więc w szkole podstawowej, oczywiście w formie uproszczonej,
- czy przygotowujemy nauczycieli do realizacji tych interdyscyplinarnych treści.

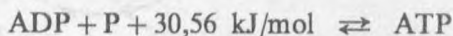
Wprowadzenie powyższych pojęć należałoby rozpocząć od przedstawienia najważniejszych związków chemicznych uczestniczących w wyżej wymienionych procesach wiązania i pozyskiwania energii w przyrodzie. Są to związki pełniące rolę przenośników atomów wodoru i elektronów oraz przenośników energii. Uczestniczą one w procesach utleniania i redukcji oraz w procesach magazynowania i dostarczania energii w organizmach.

Najważniejszymi przenośnikami elektronów i protonów są; dinukleotydy nikotynamidoadeninowy (NAD) i jego forma fosforanowa (NADP), dinu-

kleotydy flawinoadeninowy (FAD), ubichinon (Q) i cytochromy [3]. Natomiast adenozynofosforany, np. adenozynotrifosforan (ATP), adenozynodifosforan (ADP), adenozynomonofosforan (AMP) uczestniczą w procesach magazynowania i dostarczania energii.

Układy oksydoredukcyjne występujące w organizmach, $\text{NAD}^+|\text{NADH}$, $\text{FAD}|\text{FADH}_2$, $\text{Q}|\text{QH}_2$ i cytochromy zawierające układy porfiryne $\text{Fe}^{3+}|\text{Fe}^{2+}$ można uszeregować według wzrastających potencjałów oksydoredukcyjnych. Uszeregowane w ten sposób enzymy, zawierające te układy, stanowią cykl enzymów łańcucha oddechowego, w którym dokonuje się przenoszenie atomów wodoru, a następnie elektronów na ostateczny ich akceptor – tlen. Powstały jon O^{2-} reaguje ze znajdującymi się w środowisku komórki protonami i w ten sposób tworzy się cząsteczka wody. Różnica potencjałów między półogniwem $\text{NAD}|\text{NADH}_2$ ($-0,32\text{ V}$) a półogniwem $\text{O}|\text{O}^{2-}$ ($+0,81\text{ V}$) jest siłą napędzającą tę ostatnią fazę procesu utleniania biologicznego w organizmach [3].

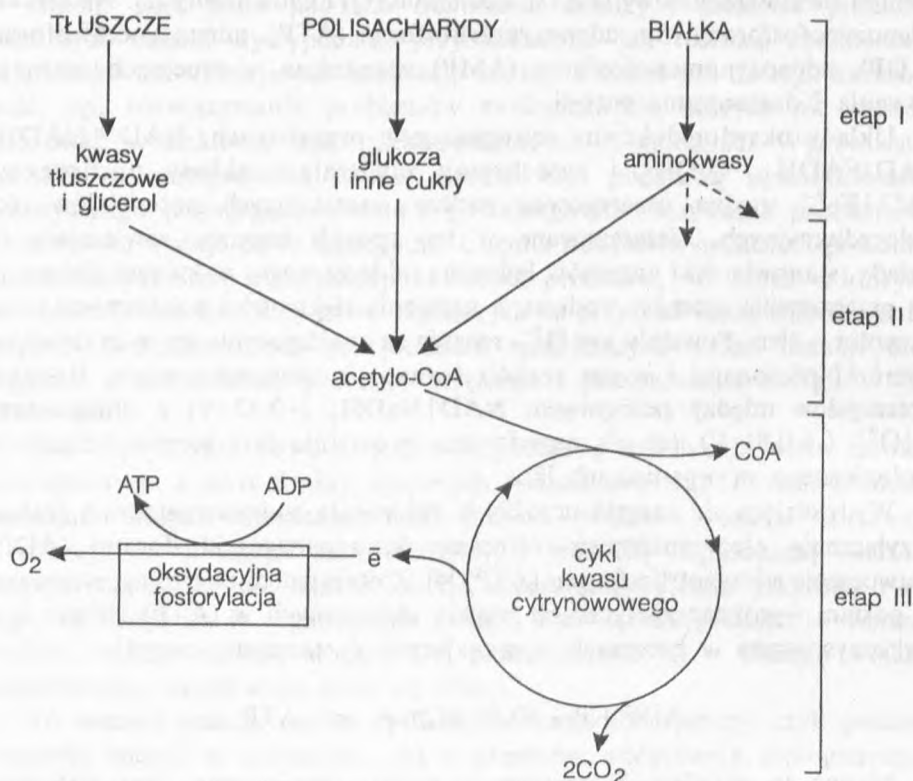
Wydzielająca się energia umożliwia zaistnienie endoenergetycznej reakcji przyłączenia nieorganicznego fosforanu do adenozynodifosforanu (ADP) i utworzenie adenozynotrifosforanu (ATP) [4]. Zostaje zatem ona zmagazynowana w postaci wysokoenergetycznych wiązań chemicznych w (ATP) i może być wykorzystywana w procesach wymagających dostarczenia energii:



Można to przedstawić uczniom w formie uproszczonej, bez głębszego wnikanie w uwarunkowania termodynamiczne tych procesów podając, że w wyniku przenoszenia dwóch elektronów i dwóch protonów na tlen i utworzenia jednej cząsteczki wody, wydziel się odpowiednia ilość energii wystarczająca do zsyntetyzowania trzech cząsteczek ATP, a reszta energii ulega rozproszeniu. Wydajność energetyczna tego procesu wynosi około 38%.

Zagadnienia te można omawiać, gdy uczniowie zapoznali się już z pojęciami reakcji redoks i energią reakcji na lekcjach chemii, podczas realizacji działów: „Elektrochemia” i „Termodynamika”. Dopiero bowiem po realizacji tych działów na podstawie zmian potencjału standardowego, uczeń może obliczyć ilość energii wydzielającą się podczas przenoszenia wodoru na tlen w łańcuchu oddechowym, może określić etapy wydzielania odpowiedniej ilości energii niezbędnej do przyłączenia nieorganicznego fosforanu do ADP i utworzenia ATP. Może również obliczyć efektywność procesu utleniania wodoru wiedząc, że w wyniku przeniesienia dwu protonów i dwu elektronów na tlen wytwarzają się trzy wysokoenergetyczne cząsteczki ATP.

Przedstawienie struktury obrazującej całokształt przemian tłuszczów, węglowodanów i białek (rys. 1) umożliwi uczniom poznanie głównych dróg pozyskiwania energii przez organizmy z pożywienia.



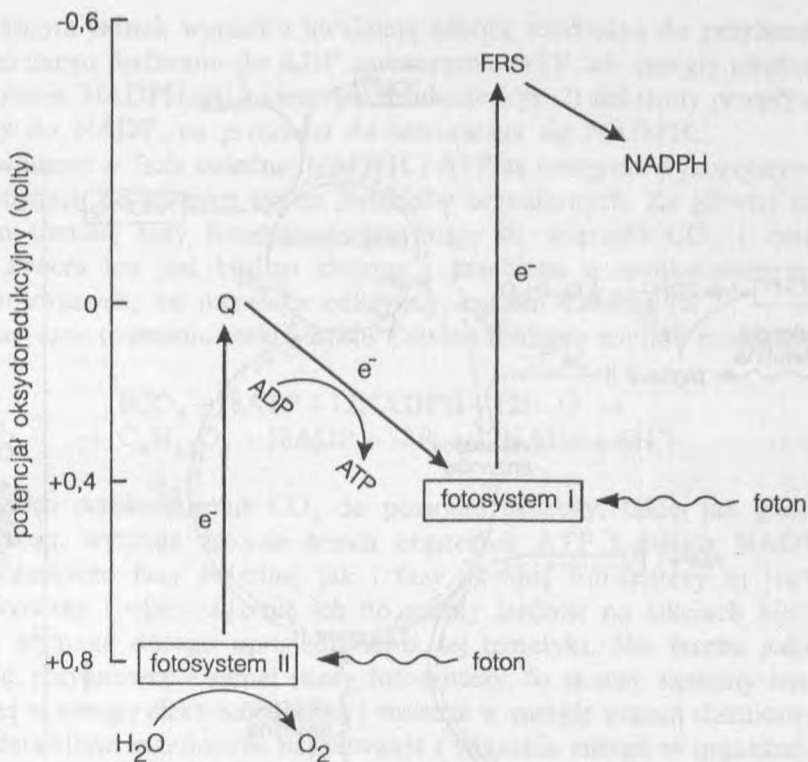
Rys. 1. Etapy wydobywania energii z pożywienia

Pierwszym i drugim etapem pozyskiwania energii z tłuszczów, węglowodanów i białek jest ich rozkład do substancji prostych. Te z kolei ulegają dalszej odbudowie do acetylokoenzymu A (acetylo-CoA) – związku wysokoenergetycznego, przenośnika dwuwęglowych grup acetylowych. Jest on włączany do dalszych przemian pozyskiwania energii.



Trzecim etapem pozyskiwania energii jest odbudowa dwuwęglowego łańcucha w cyklu Krebsa. Wytwarza się dwutlenek węgla i zredukowane cząsteczki NAD i FAD, które po włączeniu w cykl enzymów łańcucha oddechowego umożliwiają syntezę cząsteczek H_2O i ATP. Synteza ATP z nieorganicznego fosforanu i ADP, podczas przenoszenia atomów wodoru na tlen w cyklu enzymów łańcucha oddechowego, nosi nazwę oksydacyjnej fosforylacji.

Jako główny, dla celów pozyskiwania energii przez organizmy, przyjmuje się szlak przemian węglowodanów do dwutlenku węgla i wody. Analizując

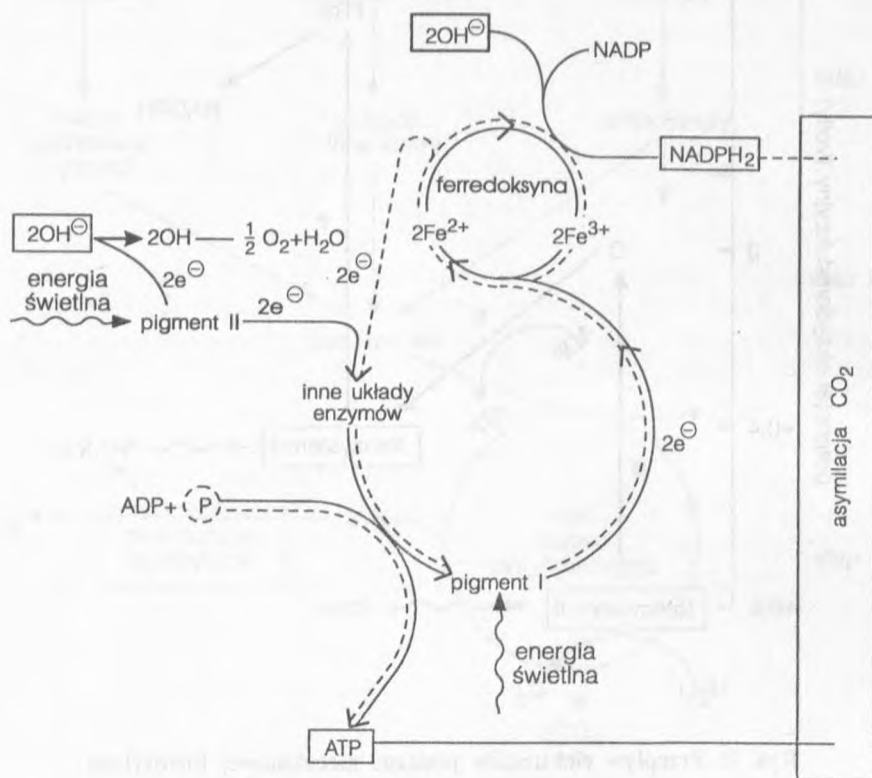


Rys. 2. Przepływ elektronów podczas niecyklicznej fosforylacji

poszczególne etapy utleniania biologicznego cukrów, można obliczyć efekty energetyczne i wydajność tego procesu. Wydajność netto ATP na cząsteczkę glukozy przy całkowitym jej utlenieniu wynosi 36 cząsteczek [3].

Zdecydowana większość ATP (32 z 36 cząsteczek) jest produkowana w procesie fosforylacji oksydacyjnej. W warunkach standardowych utlenianie glukozy dostarcza energię 2872 kJ/mol i swobodna entalpia tego procesu $\Delta G^0 = -2872$ kJ/mol. Ilość energii swobodnej zmagazynowanej w 36 cząsteczkach ATP wynosi 1101 kJ, bowiem entalpia swobodna hydrolizy ATP $\Delta G^0 = -30,56$ kJ/mol. Zatem wydajność termodynamiczna tworzenia ATP podczas utleniania glukozy wynosi 1101/2872, czyli 38% (w warunkach standardowych).

Omówione główne szlaki pozyskiwania energii wymagają dostarczenia organizmom związków wysokoenergetycznych, jakimi są, np. składniki pożywienia. Należy zatem wyjaśnić uczniom, skąd biorą się na Ziemi związki bogate w energię. Najprościej można powiedzieć, że dostarczone są w wyniku fotosyntezy, to znaczy procesu umożliwiającego wiązanie energii świetlnej przez rośliny zielone (oraz niektóre bakterie i sinice) i zamienianie jej



Rys. 3. Schemat fazy świetlnej fotosyntezy

fosforylacja cykliczna (---), niecykliczna (—)

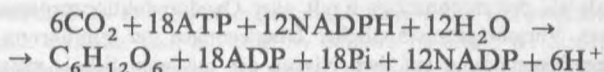
w energię wiązań chemicznych. Jest to proces bardzo złożony, jednakże, co należy podkreślić, jego istotę stanowią reakcje redoks. Proces ten można podzielić na dwie fazy, tj. fazę świetlną i ciemną. Faza świetlna to zespół reakcji zachodzących pod wpływem światła, charakteryzujących się dużą szybkością, a ich efektem jest zamiana energii świetlnej w energię wiązań chemicznych. Tworzą się bogate energetycznie związki ATP i NADPH.

Pierwszym etapem tych przemian jest absorpcja światła przez zielony barwnik roślin, a w wyniku tego emisja i przenoszenie elektronów, wbrew gradientowi potencjału, na ich akceptor. Barwnik ten, składa się z dwóch zbliżonych pod względem chemicznym pigmentów – chlorofilu (a) (pigmentu I) i chlorofilu (b) (pigmentu II). Obydwa pigmenty mają układ porfirynowy (zbliżony do hemu i cytochromów) zawierający magnez. Proces przenoszenia elektronów może przebiegać cyklicznie, jeśli ostatecznym ich akceptorem jest chlorofil lub niecyklicznie, jeśli ich akceptorem jest NADP (rys. 2).

W każdym jednak wypadku uwalniają energię niezbędną do przyłączenia nieorganicznego fosforanu do ADP i utworzenia ATP lub energię niezbędną do utworzenia NADPH. W końcowym rezultacie (rys. 2) elektrony przepływają od wody do NADP, co prowadzi do utworzenia się NADPH.

Wytworzone w fazie świetlnej NADPH i ATP są następnie wykorzystywane w organizmach do różnych syntez związków organicznych. Za główny szlak przemian ciemnej fazy fotosyntezy przyjmuje się wiązanie CO_2 i syntezę heksoz. Proces ten jest bardzo złożony i przebiega w zamkniętym cyklu przemian zwanych, od nazwiska odkrywcy, cyklem Calvina [5].

Sumaryczne równanie reakcji cyklu Calvina możemy zapisać następująco:



Tak więc przekształcenie CO_2 do poziomu heksozy, takiej jak glukoza lub fruktoza, wymaga zużycia trzech cząsteczek ATP i dwóch NADPH. Reakcje zarówno fazy świetlnej jak i fazy ciemnej fotosyntezy są bardzo skomplikowane i wprowadzenie ich do szkoły średniej na lekcjach biologii i chemii wymaga dużego upogładowienia tej tematyki. Nie trzeba jednak, jak sądzę, rezygnować z samej istoty fotosyntezy, to znaczy zamiany energii słonecznej w energię elektrochemiczną i wreszcie w energię wiązań chemicznych.

Przedstawione zagadnienie uzyskiwania i wiązania energii w organizmach jako szereg reakcji redoks, umożliwiłby uczniom zrozumienie tych, tak istotnych dla życia procesów [6]. Należą one jednak do najtrudniejszych obszarów chemii i biochemii oraz biologii. Jednakże, ze względu na wielkie ich znaczenie integrujące te dyscypliny, oraz rozumienie istoty procesów życiowych i ekologicznych, należałoby je podjąć na możliwie najniższym szczeblu nauczania. Wymaga to jednak odpowiednich opracowań metodycznych.

LITERATURA

- [1] J. Kozielecki, *Koncepcja transgresyjna człowieka*, PWN, Warszawa (1987)
- [2] Z. Kozłowski, *Chemia 3*, WSiP, Warszawa (1988)
- [3] L. Stryer, *Biochemia*, PWN, Warszawa (1986)
- [4] A. L. Lehninger, *Biochemia – Molekularne podstawy struktury i funkcji komórki*, PWRiL, Warszawa (1979)
- [5] B. Filipowicz, *Biochemia dziś i jutro*, PWN, Warszawa (1973)
- [6] A. Kocimowska-Badek, „Chemia dla klasy III i IV Liceum Ogólnokształcącego o profilu biologiczno-chemicznym (rozdz. 8 i 9) WSiP, Warszawa (1983)

Anna Kocimowska-Badek

OXYDOREDUKTIONSREAKTIONEN IN ORGANISMEN ALS WEGE DER BINDUNG UND GEWINNUNG DER ENERGIE

Schwierigkeiten bereitet die Identifizierung der Redoxreaktionen, die im Chemie- und Biologieunterricht dargestellt werden.

Der Gegenstand des Referats ist es, die biochemischen Hauptwege der Energiebindung und -ablösung in Organismen zu analysieren und die Abhängigkeit zwischen dem Potential der in der Atmungskette von „Oxydoreduktasen“ gereihten Redoxsteme und der abgelösten Energie im Prozeß der biologischen Atmung nachzuweisen.

Das Verstehen dieser Probleme ist durch die Einführung durch den Chemiker des Begriffs des Redoxpotentials als der motorischen Kraft aller Oxydoreduktionsprozesse möglich.

Es werden auch Vorschläge methodischer Überlegungen der Einführung dieser Probleme im Prozeß der Chemieausbildung auf dem Niveau der mittleren Schule vorgestellt.