



## Przenoszenie energii w reakcjach redoks

- [Wprowadzenie](#)
- [Film samouczek](#)
- [Podsumowanie](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



## Przenoszenie energii w reakcjach redoks

Reakcje utleniania i redukcji polegają na wymianie elektronów między donorem i akceptorem.

Źródło: Pixabay, domena publiczna.

Organizmy żywe wymagają dopływu energii ze środowiska. Fotoautotrofom jest ona dostarczana w postaci energii świetlnej, a następnie przekształcana w energię chemiczną, skumulowaną w związkach organicznych. Te z kolei mogą być wykorzystane jako źródło energii dla roślinożerców, którzy mogą stać się pożywieniem dla konsumentów mięsożernych. W ten sposób energia jest przenoszona oraz przekształcana. Oczywiście jej część ulega wypromieniowaniu do otoczenia w postaci ciepła.

Transfer energii wiąże się z przenoszeniem elektronów w obrębie komórki z udziałem uniwersalnych przenośników elektronów i protonów, biorących udział w reakcjach redoks. Energia potencjalna elektronów, zmagazynowana w cząsteczkach NADH, FADH<sub>2</sub> czy też NADPH, może być następnie wykorzystana do syntezy ATP. Przekazywane w ten sposób elektrony i protony pochodzą z wysokoenergetycznych pokarmów: węglowodanów i tłuszczów.

### Twoje cele

- Wyjaśnisz, czym są reakcje redoks.
- Opiszysz rolę uniwersalnych przenośników elektronów i protonów NAD, NADP i FAD.

# Film samouczek

---

## Polecenie 1

Trwa wczytywanie danych..



## Przenoszenie energii w reakcjach redoks



Film dostępny pod adresem </preview/resource/R1aGurJ8Tk67S>

Przenoszenie energii w reakcjach redoks.

Źródło: Inga Wójtowicz, reż. Englishsquare.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Film nawiązujący do treści materiału.

---

Schemat glikolizy.

Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Rozmieszczenie uniwersalnych przenośników elektronów i protonów w reakcjach cyklu Krebsa.

Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Łańcuch oddechowy.

Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

## Polecenie 2

Podaj nazwę reakcji charakterystycznej dla komórek mięksizu asymilacyjnego, w której rolę uniwersalnego przenośnika elektronów i protonów pełni cząsteczka NADP. Zastanów się, czy NADP jest w tej reakcji utleniaczem czy reduktorem.

---

---

## Polecenie 3

Wyjaśnij, co oznacza stwierdzenie, że pierwiastek znajduje się na pierwszym stopniu utlenienia.

---

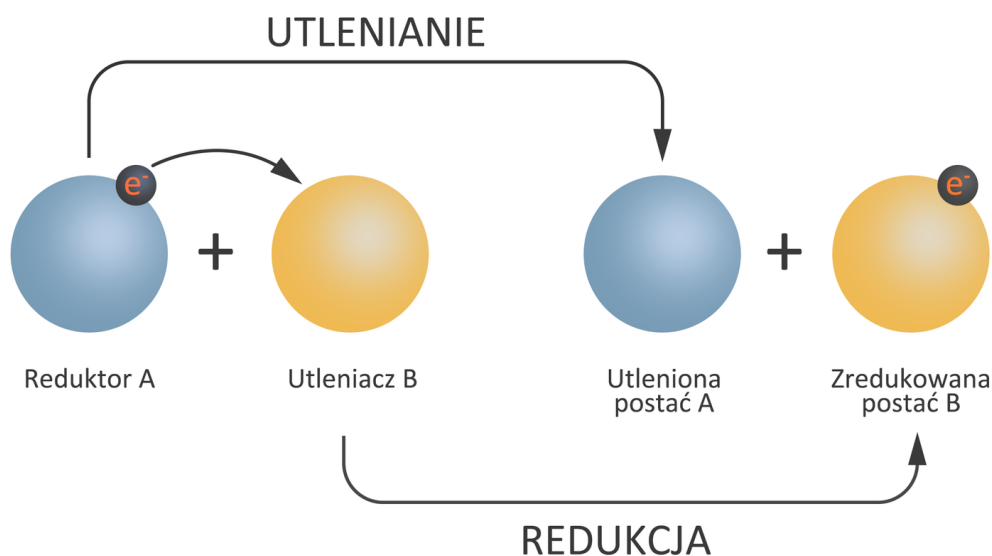
---

# Podsumowanie

## Reakcje utleniania-redukcji (reakcje redoks)

Reakcje redoks to wszystkie reakcje chemiczne, w których dochodzi zarówno do **redukcji**, jak i **utleniania**. Katalizowane są przez enzymy z klasy **oksydoreduktaz**, których przykładem jest **dehydrogenaza alkoholowa**. Reakcje redukcji wiążą się z przejściem danego atomu lub związku chemicznego z wyższego stopnia utlenienia na niższy. Natomiast utlenianie polega na przejściu danego atomu na wyższy stopień utlenienia.

Podczas reakcji utleniania dochodzi do oddawania elektronów przez dany atom lub związek, a akceptor tych elektronów nazywany jest **utleniaczem**. Z kolei w trakcie redukcji dany związek przyjmuje elektrony od donora elektronów, który jest w tym przypadku **reduktorem**.



Schematyczne przedstawienie reakcji redoks.  
Źródło: Englishsquare sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

## Rola uniwersalnych przenośników elektronów i protonów w reakcjach redoks

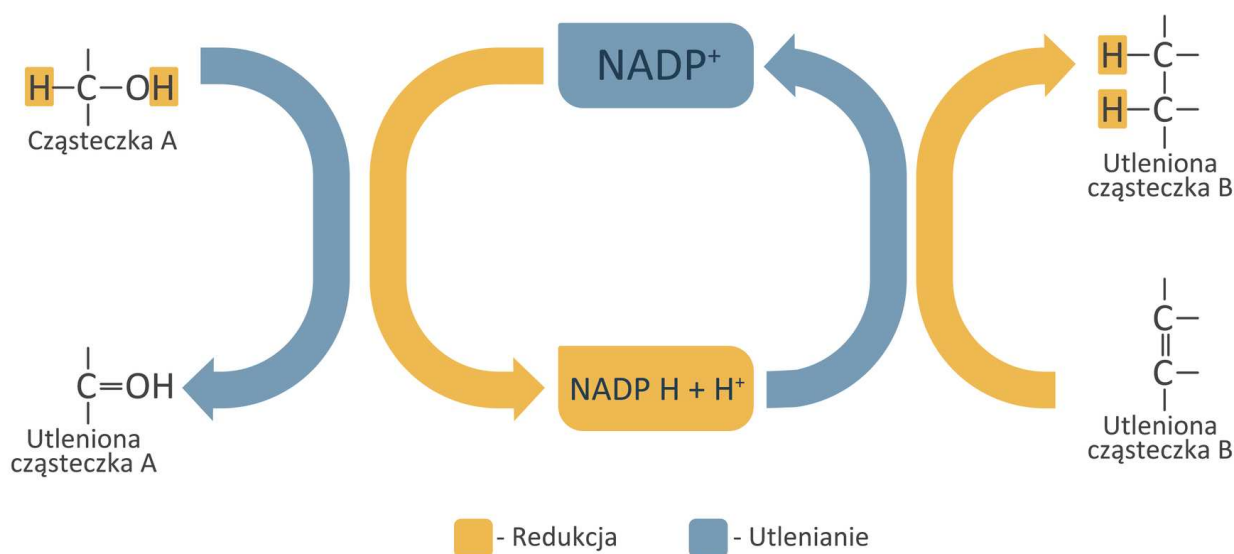
Energia zawarta w pokarmie jest stopniowo odbierana i magazynowana w cząsteczkach uniwersalnych przenośników elektronów i protonów, a następnie może zostać wykorzystana w komórce do syntezy innych cząsteczek, w tym ATP.

### Dinukleotyd nikotyno-amidoadeninowy

**NAD** to związek organiczny. Może występować w formie zredukowanej, jako NADH, oraz w formie utlenionej, jako  $\text{NAD}^+$ . Cząsteczka  $\text{NAD}^+$  jest dinukleotydem. Może wiązać jeden proton ( $\text{H}^+$ ) oraz dwa elektrony, czyli ulegać redukcji, w wyniku której powstaje NADH.

### Fosforan dinukleotydu nikotynoamidoadeninowego

### Dinukleotyd flawinoadeninowy

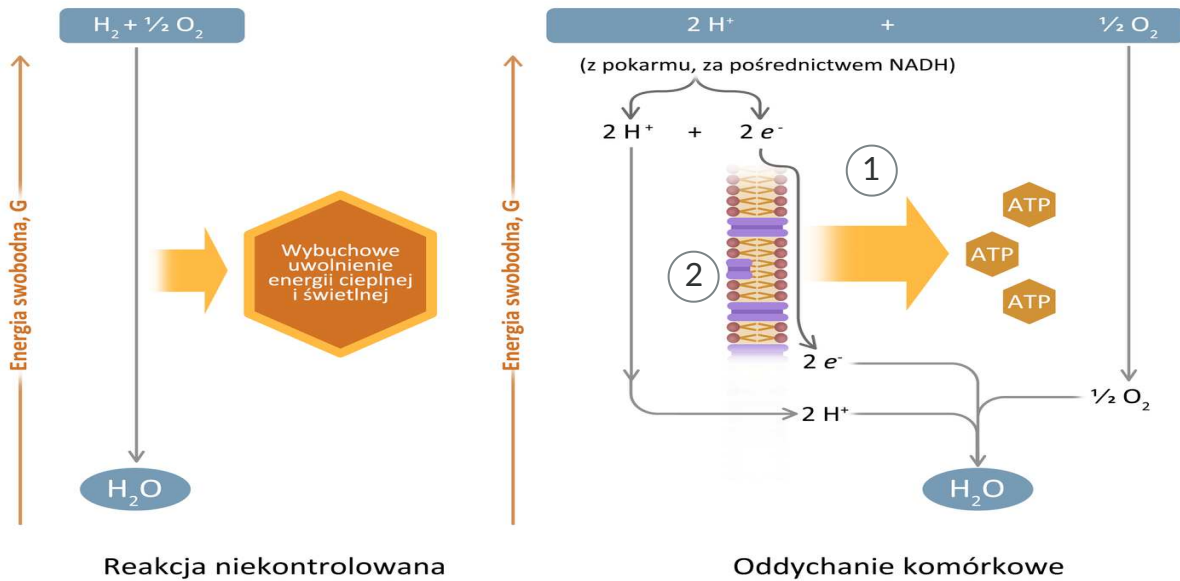


Schematyczne przedstawienie redukcji i utleniania przenośników elektronów i protonów w reakcjach redoks. Kation  $\text{NADP}^+$  jest formą utlenioną związku NADP, który ma zdolność przyłączania atomów wodoru pochodzących od substratu. NADPH (forma zredukowana) powstaje przez oderwanie dwóch elektronów i dwóch protonów od zredukowanego związku organicznego (cząsteczki A). Podczas tego procesu elektrony oraz jeden proton zostają przyłączone do  $\text{NADP}^+$ , a jeden z protonów w postaci jonu  $\text{H}^+$  zostaje uwolniony do środowiska, co wyrażamy zapisem  $\text{NADPH} + \text{H}^+$ . Kolejny cykl reakcji redoks rozpoczyna się, gdy atom wodoru zostanie przeniesiony na utlenioną cząsteczkę B.

Źródło: Englishsquare sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Forma utleniona	Forma zredukowana	Przykładowe reakcje, w których biorą udział
-----------------	-------------------	---

Forma utleniona	Forma zredukowana	Przykładowe reakcje, w których biorą udział
NAD <sup>+</sup>	NADH + H <sup>+</sup>	glikoliza, reakcja pomostowa, cykl Krebsa, łańcuch oddechowy
FAD	FADH <sub>2</sub>	cykl Krebsa, łańcuch oddechowy
NADP <sup>+</sup>	NADPH + H <sup>+</sup>	fotosynteza



1

Kontrolowane uwalnianie energii potrzebnej do syntezy ATP

2

### Łańcuch oddechowy

Bezpośrednie przeniesienie elektronów z atomu wodoru na tlen, w wyniku którego powstaje cząsteczka wody, jest reakcją silnie egzoergiczną, prowadzącą do wydzielenia dużej ilości energii w postaci ciepła i światła. Taka eksplozja nie byłaby korzystna dla komórki, gdyż zbyt duża porcja uwalnianej energii mogłaby doprowadzić do jej uszkodzenia. Rozwiązaniem jest odbieranie energii z pokarmu stopniowo, co się wiąże z przyłączaniem elektronów i protonów pochodzących z dostarczonych związków organicznych do uniwersalnych przenośników elektronów i protonów, a następnie ich oddawaniem na inne cząsteczki. Prowadzi to do stopniowego uwalniania energii w reakcjach redoks, która może być wykorzystana do syntezy ATP, a przykładem takiego mechanizmu jest łańcuch oddechowy.

Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

## Słownik

### **dehydrogenaza alkoholowa**

enzym z klasy oksydoreduktaz; katalizuje reakcję przekształcenia aldehydu octowego w etanol

### **FAD**

dinukleotyd flawinoadeninowy, złożona z kwasu adenozybonomonofosforowego i nukleotydu flawinowego pochodna witaminy B<sub>2</sub> – ryboflawiny; FAD bierze udział w reakcjach oksydacyjno-redukcyjnych; wiąże dwa atomy wodoru, tworząc FADH<sub>2</sub>, który przekazuje następnie elektrony do tlenu za pośrednictwem łańcucha oddechowego

### **NAD**

dinukleotyd nikotynoamidoadeninowy; NADH + H<sup>+</sup> jest formą zredukowaną, a NAD<sup>+</sup>, formą utlenioną; pełni istotną rolę w procesach oddychania komórkowego, jest akceptorem elektronów i protonów w procesach utleniania komórkowego

### **NADPH**

fosforan dinukleotydu nikotynoamidoadeninowego; forma zredukowana (NADPH + H<sup>+</sup>) jest głównym donorem elektronów w biosyntezach redukcyjnych, np. przy biosyntezie kwasów tłuszczowych, fotosyntetycznym cyklu Calvina–Bensona (faza ciemna fotosyntezy), reakcjach hydroksylacji; forma utleniona (NADP<sup>+</sup>) to ostateczny akceptor elektronów w fotosyntetycznym łańcuchu przenośników elektronów

### **oksydoreduktazy**

enzymy katalizujące reakcje utleniania i redukcji (reakcje redoks)

### **reakcja redoks**

reakcja utleniania-redukcji, w której dochodzi do przeniesienia jednego lub więcej elektronów od atomu, jonu lub cząsteczki donora (czyli reduktora) do akceptora (czyli utleniacza)

### **redukcja**

proces polegający na pobraniu elektronu (elektronów) przez jon lub atom, w wyniku czego maleje stopień utlenienia pierwiastka

### **reduktor**

substancja chemiczna, która oddaje elektrony substancji redukowanej, a sama ulega utlenieniu

### **utleniacz**


substancja chemiczna, która jest akceptorem elektronów pochodzących od reduktora, a sama ulega redukcji

### **utlenianie**

proces polegający na oddaniu elektronu (elektronów) przez jon, atom lub grupę atomów, w wyniku czego podwyższa się stopień utlenienia pierwiastka oddającego elektrony

# Sprawdź się

---

Pokaż ćwiczenia:   

## Ćwiczenie 1



Zaznacz poprawne dokończenie poniższego zdania:

Enzymy katalizujące reakcje utleniania i redukcji to...

liazy.

ligazy.

transferazy

izomerazy.

hydrolazy.

oksydoreduktazy.

Przykładem enzymu z tej klasy jest:

fosfataza kwaśna

kinaza fosfokreatynowa

dehydrogenaza alkoholowa

syntaza ATP

## Ćwiczenie 2



Podczas fazy fotosyntezy zależnej od światła (faza jasna) dochodzi do procesu fotolizy wody, który polega na rozpadzie jej cząsteczki do tlenu cząsteczkowego, dwóch jonów  $H^+$  i dwóch elektronów. Fotoliza zachodzi wyłącznie w fotosystemie II, w którym znajdują się cząsteczki chlorofilu *a*. Pod wpływem światła z cząsteczek tych wybijane są elektrony, których wędrówka przez przenośniki elektronów skutkuje wydzieleniem energii. Energia ta zostaje wykorzystana do wytworzenia ATP (fosforylacja fotosyntetyczna).

Na podstawie zamieszczonego wyżej tekstu i własnej wiedzy połącz poniższe stwierdzenia tak, aby razem podawały prawdziwe informacje.

utlenianie cząsteczek chlorofilu A

zachodzi dzięki energii fotonów światła

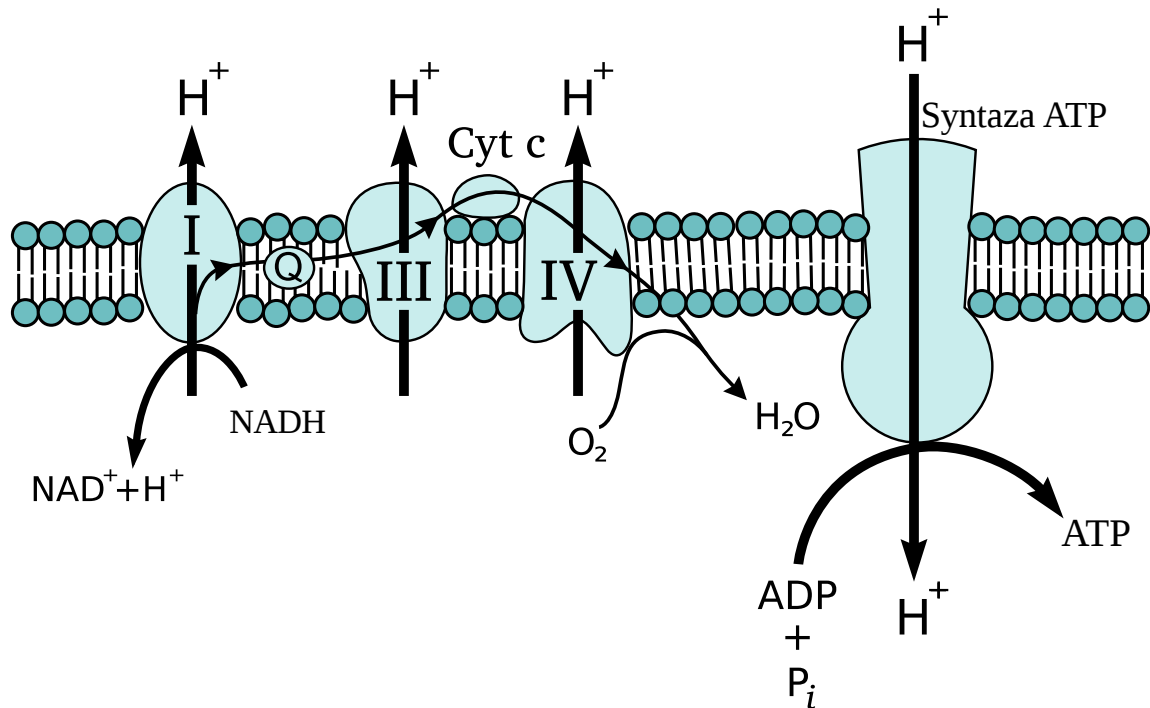
redukcja cząsteczek chlorofilu A

zachodzi dzięki produktom fotolizy wody

### Ćwiczenie 3



Poniższy rysunek przedstawia łańcuch oddechowy, będący jednym z etapów oddychania tlenowego. Kompleksy białkowe oznaczone jako I, III i IV pełnią funkcję pomp protonowych, które transportują kationy wodoru z matriks mitochondrium do przestrzeni międzybłonowej.



Łańcuch oddechowy.

Źródło: Masur, wikimedia.org, domena publiczna.

Na podstawie podanych wyżej informacji i własnej wiedzy wskaż poprawną odpowiedź na pytanie: „Jaką energią napędzane są pompy protonowe obecne w łańcuchu oddechowym?”.

- energią pochodzącą z ATP wytworzonego w glikolizie i cyklu Krebsa
- energią pochodzącą z hydrolizy ATP, produkowanego przez syntazę ATP
- potencjalną energią protonów wędrujących w łańcuchu oddechowym
- energią elektronów przekazywanych pomiędzy kolejnymi elementami łańcucha oddechowego

## Ćwiczenie 4



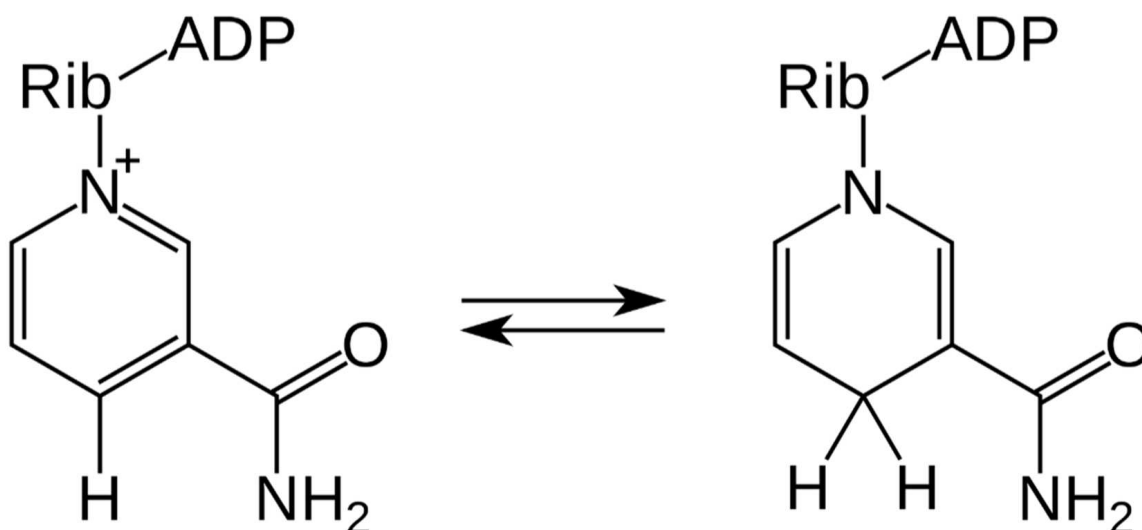
Odnosząc się do informacji do ćwiczenia 3 i własnej wiedzy, oceń prawdziwość zdań dotyczących przekształceń energii w łańcuchu oddechowym.

	Prawda	Fałsz
Energia elektronów przepływających przez łańcuch oddechowy przekształcana jest w energię gradientu elektrochemicznego (protonomotorycznego).	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Powstawanie wiązania wysokoenergetycznego pomiędzy ADP a resztą kwasu ortofosforowego(V) jest reakcją redoks.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Elektrony przemieszczają się w łańcuchu oddechowym w kierunku wzrastającego potencjału oksydoredukcyjnego, co oznacza, że ich energia wzrasta.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kompleksy białkowe przenoszące elektrony w łańcuchu oddechowym zwiększają swój stopień utlenienia przez przyłączenie transportowanego elektronu.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## Ćwiczenie 5



Poniższy schemat opisuje przemiany redoks zachodzące między dwiema postaciami dinukleotydu nikotynoamidoadeninowego (NAD<sup>+</sup>/NADH). Odnosząc się do schematu, zaznacz poprawne określenia w tekście pod schematem.



Reakcje redoks dinukleotydu nikotynoamidoadeninowego. Rib – ryboza.

Źródło: Fvasconcellos, wikimedia.org, domena publiczna.

Postać opisywanego nukleotydu mająca cząsteczkowy ładunek dodatni jest postacią

utlenioną

zredukowaną

. Dehydrogenacja związków organicznych prowadzi do

powstania

NAD<sup>+</sup>

NADH

, widocznego na schemacie po stronie

prawej

lewej

. Postać dinukleotydu nikotynoamidoadeninowego, przekazująca elektrony na

łańcuch oddechowy, to

NAD<sup>+</sup>

NADH

.

## Ćwiczenie 6



Poniższa tabela przedstawia niektóre produkty kompletnego utleniania biologicznego 1 mola cząsteczek glukozy. W wyniku chemicznego spalania 1 mola cząsteczek glukozy w warunkach laboratoryjnych uzyskuje się 2872 kJ energii. 1 mol cząsteczek ATP niesie w sobie energię o wartości 30,55 kJ.

Nazwa etapu	Wybrane produkty
glikoliza	2 ATP
	2 NADH
oksydacyjna dekarboksylacja pirogronianu	2 NADH
cykl Krebsa	2 ATP
	2 FADH <sub>2</sub>
	6 NADH

Na etapie łańcucha oddechowego dochodzi do przemian energetycznych, które skutkują wytworzeniem ATP. Po przeliczeniu udział 1 mola cząsteczek NADH skutkuje wytworzeniem 2,5 mola cząsteczek ATP, a 1 mola cząsteczek FADH<sub>2</sub> – 1,5 mola cząsteczek ATP.

Na podstawie tych informacji i własnej wiedzy zaznacz wśród podanych niżej prawdziwe stwierdzenia.

- Produktem biologicznego utleniania glukozy jest  $\text{CO}_2$ , w którym węgiel znajduje się na wyższym stopniu utlenienia niż w glukozie.
- Produkty glikolizy i cyklu Krebsa dostarczają ostatecznie takiej samej ilości energii.
- Jedna cząsteczka  $\text{FADH}_2$  dostarcza sumarycznie mniej energii niż jedna cząsteczka  $\text{NADH}$ .
- Rozerwanie wiązania wysokoenergetycznego między resztami fosforanowymi w ATP dostarcza więcej energii w przypadku, gdy powstało ono przy udziale  $\text{NADH}$  (a nie  $\text{FADH}_2$ ).

## Ćwiczenie 7



Skorzystaj z informacji do ćwiczenia 6 oraz własnej wiedzy i oblicz wydajność biologicznego utleniania glukozy. Załóż, że wydajność wynosiłaby 100 proc., gdyby ilość energii z biologicznego utleniania 1 mola cząsteczek glukozy była identyczna jak uzyskana w wyniku spalania 1 mola cząsteczek glukozy w warunkach laboratoryjnych.

## Ćwiczenie 8



Przeanalizuj zawartość poniższych tabel. Tabela 1 przedstawia reakcje zachodzące podczas pierwszych etapów chemosyntezy, przeprowadzanej przez różne gatunki bakterii siarkowych, oraz energię (mierzoną w kJ) wytwarzaną w tym czasie. Tabela 2 prezentuje stopnie utlenienia osiągnięte przez siarkę w związkach chemicznych i w czystym pierwiastku.

Tabela 1

Reakcja I etapu chemosyntezy	Energia uwolniona w I etapie chemosyntezy
$2\text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{S}$	ok. 273 kJ
$2\text{S} + 2\text{H}_2\text{O} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{SO}_4$	ok. 1193 kJ

Tabela 2

Wzór związku lub pierwiastka	Stopień utlenienia siarki
$\text{H}_2\text{SO}_4$	VI
S	0
$\text{H}_2\text{S}$	-II

Na podstawie danych zawartych w tabelach sformułuj wniosek dotyczący wpływu zmiany stopnia utlenienia siarki na ilość energii uwalnianej w pierwszym etapie chemosyntezy bakterii siarkowych. W odpowiedzi zawrzyj informację o typie reakcji, jakiej ulega siarka (utlenianie lub redukcja).

# Dla nauczyciela

---

**Autor:** Anna Juwan

**Przedmiot:** biologia

**Temat: Przenoszenie energii w reakcjach redoks**

**Grupa docelowa:** uczniowie III etapu edukacyjnego – kształcenie w zakresie rozszerzonym

**Podstawa programowa:**

Zakres rozszerzony

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

III. Energia i metabolizm.

2. Przenośniki energii oraz protonów i elektronów w komórce. Uczeń:

2) przedstawia znaczenie  $\text{NAD}^+$ , FAD,  $\text{NADP}^+$  w procesach utleniania i redukcji.

**Kształtowane kompetencje kluczowe:**

- kompetencje cyfrowe;
- kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się;
- kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii.

**Cele operacyjne:**

**Uczeń:**

- wyjaśnia, czym są reakcje redoks;
- przedstawia budowę i funkcje nukleotydu FAD;
- przedstawia budowę i funkcje nukleotydu NAD.

**Strategie nauczania:**

- konstruktywizm;
- konektywizm;
- nauczanie wyprzedzające.

**Metody i techniki nauczania:**

- z użyciem komputera;

- rozmowa kierowana;
- ćwiczenia interaktywne;
- gra dydaktyczna;
- praca z filmem.

### **Formy pracy:**

- praca indywidualna;
- praca w parach;
- praca w grupach;
- praca całego zespołu klasowego.

### **Środki dydaktyczne:**

- komputery z głośnikami, słuchawkami i dostępem do internetu;
- zasoby multimedialne zawarte w e-materiale;
- tablica interaktywna/tablica, pisak/kreda.

### **Przed lekcją:**

1. Uczniowie zapoznają się z treścią w sekcji „Film samouczek”.

### **Przebieg lekcji**

#### **Faza wstępna:**

1. Nauczyciel wyświetla i odczytuje temat lekcji oraz zawarte w sekcji „Wprowadzenie” cele zajęć. Prosi uczniów lub wybraną osobę o sformułowanie kryteriów sukcesu.
2. **Wprowadzenie do tematu.** Nauczyciel pyta uczniów:
  - Czym są reakcje typu redoks i na czym polegają?
  - Jakie związki występują w formie utlenionej i zredukowanej?
  - Jakie pełnią funkcje?Uczniowie udzielają swobodnych odpowiedzi.

#### **Faza realizacyjna:**

1. **Praca z filmem samouczkiem pt. „Przenoszenie energii w reakcjach redoks”.**  
Uczniowie samodzielnie wykonują polecenie 3 (wyjaśniają, co oznacza stwierdzenie, że pierwiastek znajduje się na pierwszym stopniu utlenienia). Następnie nauczyciel wyświetla film samouczek i uczniowie weryfikują swoją odpowiedź. Prowadzący zajęcia wyjaśnia ewentualne wątpliwości.
2. Uczniowie, pracując w parach, wykonują polecenie nr 2 („Podaj nazwę reakcji charakterystycznej dla komórek miękkiszu asymilacyjnego, w której rolę uniwersalnego przenośnika elektronów i protonów pełni cząsteczka NADP. Zastanów się, czy NADP

jest w tej reakcji utleniaczem czy reduktorem”). Nauczyciel w razie potrzeby naprowadza ich na prawidłowe rozwiązanie.

- 3. Praca z tekstem.** Uczniowie na podstawie treści w sekcji „Podsumowanie” zapisują na kartkach minimum pięć pytań dotyczących tematu lekcji. Wybrana osoba zbiera pytania do urny. Uczniowie dzielą się na 5-osobowe grupy, losują pytania z puli i przygotowują odpowiedzi. Zespół, który jest gotowy, zgłasza się i przedstawia rezultaty swojej pracy. Pozostali uczniowie wraz z nauczycielem weryfikują poprawność odpowiedzi.
- 4. Utrwalanie wiedzy i umiejętności.** Uczniowie wykonują ćwiczenia od 6 do 8 w sekcji „Sprawdź się”. Nauczyciel sprawdza poprawność wykonanych zadań, omawiając je wraz z uczniami.

### **Faza podsumowująca:**

- Chętni lub wybrani uczniowie omawiają budowę NAD i FAD w kontekście reakcji typu redoks, wykorzystując grafiki z sekcji „Podsumowanie” wyświetlone na tablicy interaktywnej.
- Uczniowie rozwiązują ćwiczenie nr 4 (typu „prawda/fałsz”) z sekcji „Sprawdź się”. Następnie przygotowują podobne zadanie dla osoby z pary: tworzą trzy prawdziwe lub fałszywe zdania dotyczące tematu lekcji. Uczniowie wykonują ćwiczenie otrzymane od kolegi lub koleżanki.
- Nauczyciel wyświetla na tablicy temat lekcji i cele zawarte w sekcji „Wprowadzenie”. W tym kontekście dokonuje podsumowania najważniejszych informacji przedstawionych na lekcji oraz wyjaśnia wątpliwości uczniów.

### **Praca domowa:**

- Wykonaj ćwiczenia 1, 2 i 3 z sekcji „Sprawdź się”.

### **Materiały pomocnicze:**

- Jane B. Reece i in., „Biologia Campbella”, tłum. K. Stobrawa i in., Dom Wydawniczy REBIS, Poznań 2021.
- „Encyklopedia szkolna. Biologia”, red. Marta Stęplewska, Robert Mitoraj, Wydawnictwo Zielona Sowa, Kraków 2006.

### **Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania filmu samouczka:**

- Film samouczek można wykorzystać jako materiał służący powtórzeniu i utrwaleniu wiedzy uczniów.