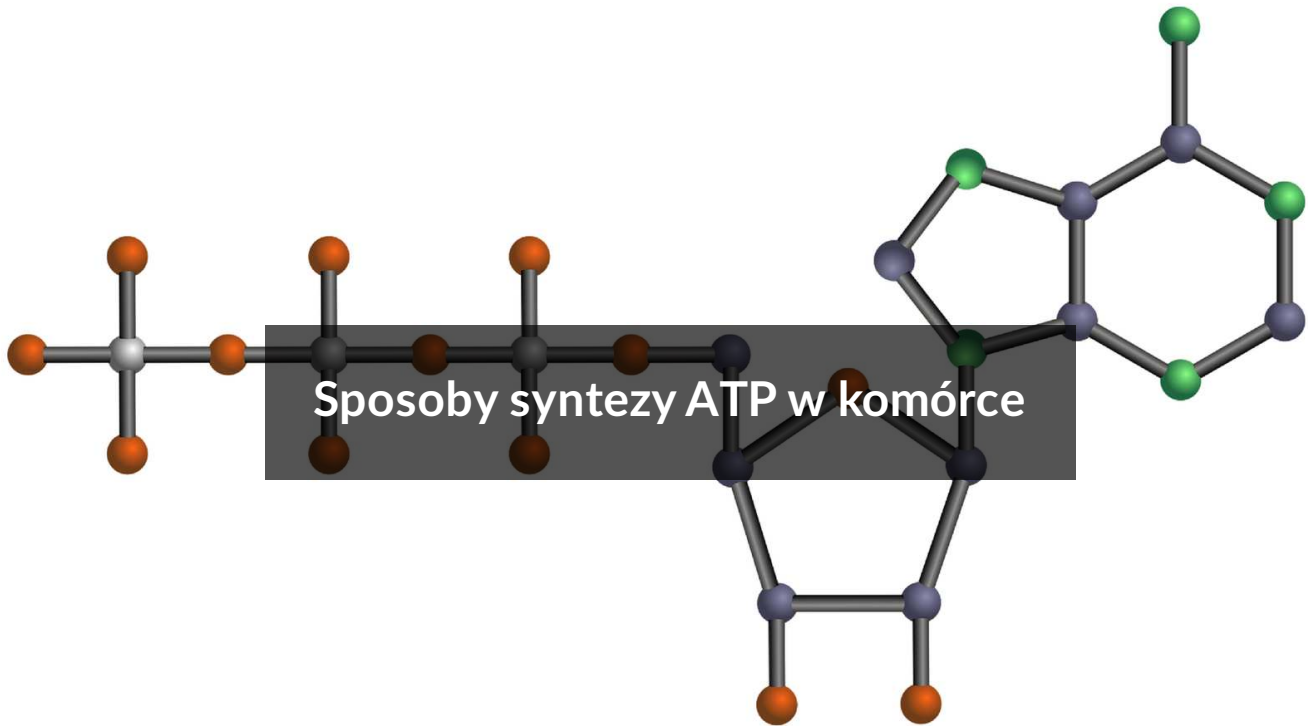


## Sposoby syntezy ATP w komórce

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



ATP jest nośnikiem energii w komórce. Składa się z zasady azotowej, cukru i trzech reszt fosforanowych.

Źródło: <https://pixabay.com>, domena publiczna.

Adenozynotryfosforan to związek niezbędny do przeprowadzania najważniejszych reakcji biochemicznych w komórce. ATP powstaje w wyniku reakcji egzoenergetycznych, natomiast zużywany jest w procesach endoenergetycznych. Jakie zjawiska biochemiczne związane są z powstawaniem tego związku?

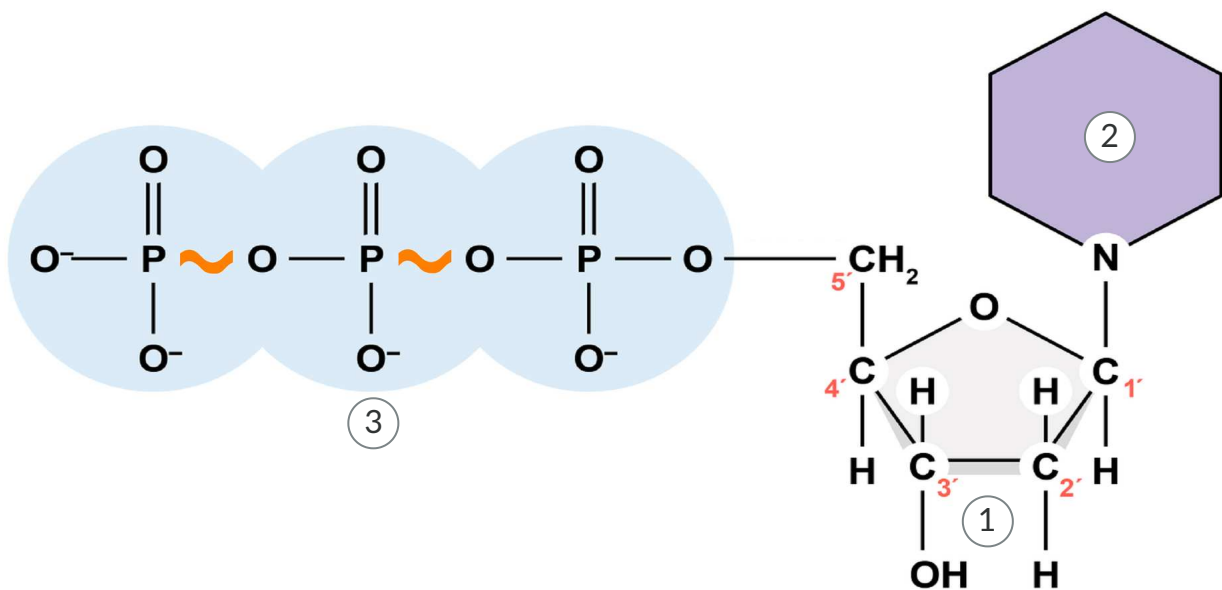
### Twoje cele

- Wyjaśnisz, czym jest fosforylacja substratowa i podasz przykład substratu dla takiej reakcji.
- Poznasz istotę teorii chemiosmotycznej Mitchella.
- Wyjaśnisz, czym jest fosforylacja fotosyntetyczna i wskażesz, jakie związki powstają w jej przebiegu.

# Przeczytaj

## ATP – podstawowy nośnik energii

Adenozynotryfosforan, czyli w skrócie ATP, to związek organiczny będący podstawowym wewnątrzkomórkowym nośnikiem energii. ATP jest zbudowany z zasady purynowej – adeniny, pięciowęglowego cukru prostego, czyli rybozy, oraz trzech reszt fosforanowych. ATP zawiera dwa **wysokoenergetyczne wiązania**, które znajdują się pomiędzy grupami fosforanowymi (oznaczone na poniższej rycinie pomarańczowymi falami). Rozpad tych wiązań prowadzi do uwolnienia energii zgromadzonej w cząsteczce.



1

Ryboza

2

## Trzy reszty fosforanowe

Budowa ATP.

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

Energia zgromadzona w postaci ATP jest używana między innymi do skurczu włókien mięśniowych, utrzymywania odpowiedniego stężenia jonów po obu stronach błon komórkowych oraz syntezy wielu związków chemicznych, takich jak kwasy tłuszczowe, białka, kwasy nukleinowe, cholesterol czy [glikogen](#). W wyniku rozpadu ATP powstaje **ADP**, czyli adenozynodifosforan, z którego ponownie jest syntetyzowany wysokoenergetyczny ATP.

## Fosforylacja substratowa

ATP powstaje w procesie **fosforylacji**. Jednym z jej rodzajów jest **fosforylacja substratowa**. Polega ona na przeniesieniu reszty fosforanowej ze związku ufosforylowanego bezpośrednio na ADP, czyli adenozynodifosforan, w wyniku czego powstaje cząsteczka ATP. Adenozynodifosforan (ADP) zawiera jedno wiązanie wysokoenergetyczne. Po przeniesieniu na cząsteczkę ADP kolejnej reszty fosforanowej zyskuje ona dodatkowe wysokoenergetyczne wiązanie.

Fosforylacja substratowa nie wymaga obecności tlenu i jest ważnym sposobem syntezy ATP w komórkach o metabolizmie beztlenowym. W mięśniach szkieletowych występuje **fosfokreatyna**, czyli związek, który może być wykorzystywany w procesach fosforylacji substratowej. W wyniku działania enzymu **kinazy kreatynowej** zachodzi reakcja polegająca na przeniesieniu reszty fosforanowej z fosfokreatyny na ADP. Dzięki temu powstaje ATP, będący doskonałym źródłem energii podczas skurczu włókien mięśniowych.

fosfokreatyna + ADP  $\leftrightarrow$  kreatyna + ATP

## Teoria chemiosmozy

Synteza ATP może zachodzić także zgodnie z teorią **chemiosmozy Mitchella**, według której synteza ATP zachodzi z ADP i nieorganicznego fosforanu Pi przy udziale gradientu protonowego. Gradient ten powstaje na skutek różnicy stężenia protonów po dwóch stronach błony biologicznej. Do jego wytworzenia dochodzi w wyniku działania błonowych pomp protonowych. Transportują one protony w poprzek błon biologicznych oddzielających różne przedziały w organellach otoczonych dwiema błonami, tj. mitochondriach i chloroplastach. Różnica stężeń protonów po obu stronach błony jest źródłem energii do syntezy ATP przez kompleks białkowy zwany syntazą ATP.

Zgodnie z teorią chemiosmotyczną Mitchella protony powracają do macierzy mitochondrialnej (a w przypadku chloroplastów – do stromy) przez kanał w syntazie ATP. Dochodzi do rozładowania gradientu elektrycznego, co jest źródłem energii do reakcji, na drodze której powstaje wiązanie wysokoenergetyczne w ATP. Więcej informacji na ten temat znajdziesz w e-materiale pt. [ATP – uniwersalny przenośnik energii w komórce](#).

## Fosforylacja oksydacyjna

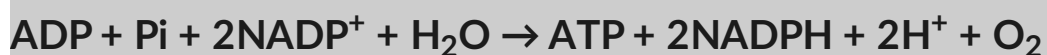
**Fosforylacja oksydacyjna** zachodzi u organizmów eukariotycznych w **wewnętrznej błonie mitochondrialnej**. Transport elektronów między kolejnymi elementami **łańcucha oddechowego** prowadzi do przepompowania protonów przez pompy protonowe na drugą stronę wewnętrznej błony mitochondrialnej. Skutkuje to

powstaniem gradientu protonowego. Właśnie ten gradient protonów jest wykorzystywany do syntezy ATP przez **syntazę ATP**.

Opisane zjawiska są istotą fosforylacji oksydacyjnej, a synteza ATP w tym procesie wiąże się z omówioną powyżej teorią **chemiosmozy Mitchella**. Transportowi elektronów w łańcuchu oddechowym towarzyszy jednoczesny transport protonów do przestrzeni międzybłonowej (między błoną wewnętrzną a zewnętrzną mitochondrium). Istotą łańcucha oddechowego jest transport jednej pary elektronów z NADH (czyli zredukowanej formy [NAD<sup>+</sup>](#)) na atom tlenu. Wiąże się to z jednoczesnym transportem trzech par protonów (H<sup>+</sup>) do przestrzeni międzybłonowej, w wyniku czego powstaje **gradient protonów**. Prowadzi to również do różnicy w naładowaniu obu stron błony mitochondrialnej: zewnętrzna strona, dzięki obecności protonów, jest naładowana bardziej dodatnio niż wewnętrzna.

## Fosforylacja fotosyntetyczna (fotofosforylacja)

Fosforylacja z udziałem gradientu protonowego zachodzi także podczas fotosyntezy, gdzie ATP powstaje podczas **fosforylacji fotosyntetycznej** przy udziale energii świetlnej. Ma to miejsce w fazie jasnej fotosyntezy. Energia świetlna sprawia, że z barwnika fotosyntetycznego, jakim jest [chlorofil](#), **wybijane są elektrony**. Są one następnie transportowane przez nośniki białkowe, co prowadzi do wytworzenia gradientu protonowego w poprzek błony tylakoidów w chloroplastach. Na tym etapie powstają ATP i NADPH (czyli zredukowana forma [NADP<sup>+</sup>](#)). Związki te są niezbędne do przekształcenia dwutlenku węgla do aldehydu 3-fosfoglicerynowego (PGAL). NADPH i ATP tworzą tak zwaną **siłę asymilacyjną**, która wykorzystywana jest w fazie ciemnej fotosyntezy.



# Słownik

## chlorofil

organiczny związek chemiczny, barwnik fotosyntetyczny zdolny do pochłaniania kwantów energii świetlnej; znajduje się w roślinach i niektórych bakteriach fotosyntetyzujących

## glikogen

cukier złożony zbudowany z wielu cząsteczek glukozy; podstawowy materiał zapasowy w komórkach zwierzęcych

## NAD<sup>+</sup>

dinukleotyd nikotynoamidoadeninowy; związek organiczny, który może występować w formie zredukowanej, jako NADH, oraz w formie utlenionej, jako NAD<sup>+</sup>; cząsteczka NAD<sup>+</sup> może związać jeden proton (H<sup>+</sup>) oraz dwa elektrony, czyli może ulec redukcji, w wyniku której powstaje NADH

## NADP<sup>+</sup>

fosforan dinukleotydu nikotynoamidoadeninowego; organiczny związek chemiczny, który występuje zarówno w formie zredukowanej, NADPH, jak i utlenionej – NADP<sup>+</sup>; dzięki tej właściwości bierze udział w reakcjach utleniania-redukcji

# Film

---



Film dostępny pod adresem </preview/resource/R1S8VE8NDEDBN>

Sposoby syntezy ATP w komórce.

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

Film określa sposoby syntezy ATP w komórce.

---




## Polecenie 1

Opisz proces regeneracji ATP.

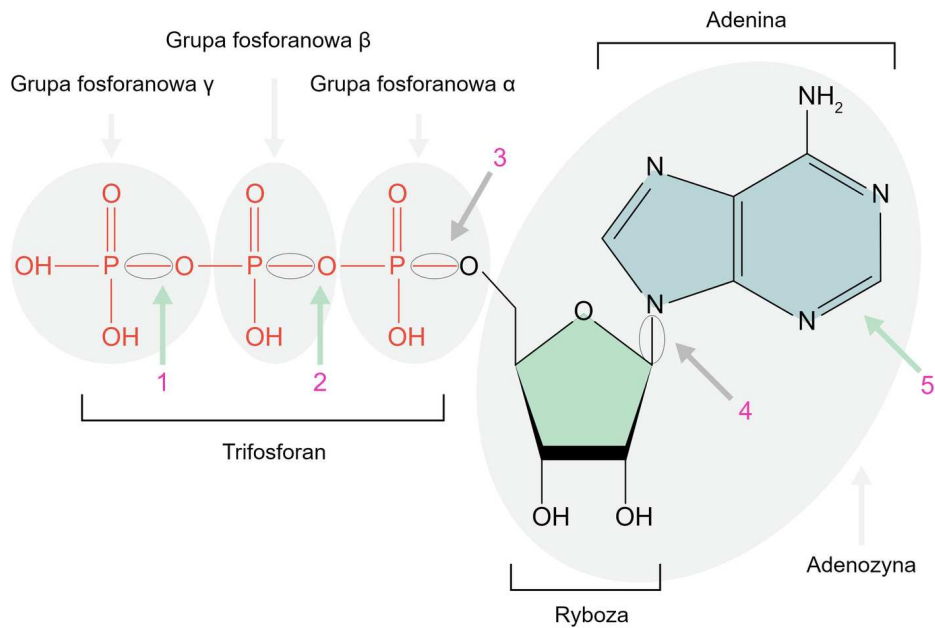
## Polecenie 2

Opisz, w jaki sposób magazynowana jest energia w ATP.

# Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

## Schemat do ćwiczeń 1 i 2.



Schemat budowy cząsteczki ATP.

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

Ćwiczenie 1



Ćwiczenie 2



Ćwiczenie 3



Ćwiczenie 4



Materiał źródłowy do ćwiczeń 5 i 6

Wyobraźmy sobie serię eksperymentów przeprowadzonych na chloroplastach rzodkiewnika pospolitego (*Arabidopsis thaliana*). W eksperymencie I dezaktywowano wyłącznie syntazę ATP obecną w chloroplastach rzodkiewnika. W eksperymencie II dezaktywowano syntazę ATP oraz wszystkie białka pełniące funkcję pomp protonowych, ale zakwaszono wewnątrz tylakoidów (zwiększono stężenie  $H^+$ ). W eksperymencie III dezaktywowano wszystkie białka pełniące funkcję pomp protonowych i zakwaszono wewnątrz tylakoidów.

## Ćwiczenie 5



## Ćwiczenie 6



### Materiał źródłowy do ćwiczeń 7 i 8

Stan przedrzucawkowy (preeklampsja) jest zespołem chorobowym, pojawiającym się u kobiet po 20 tygodniu ciąży. Objawia się między innymi zwiększonym ciśnieniem krwi, białkomoczem, bólami głowy i skąpomoczem. Przyczyny występowania tej jednostki chorobowej pozostają niejasne, choć wiadomo, że powiązane są z dysfunkcją łożyska. W 2019 r., w prestiżowym czasopiśmie [PNAS](#), opublikowano wyniki badań nad zmianami w procesie oddychania tlenowego w mitochondriach komórek łożyska u kobiet, które cierpią na stan przedrzucawkowy.

W wewnętrznej błonie tych mitochondriów zaobserwowano dużą ilość niestandardowych białek (UPR). Białka te są kanałami, przez które mogą przenikać kationy wodoru. Obecność białek UPR powiązano ze spadkiem wydajności oddychania tlenowego zachodzącego w badanych mitochondriach.

Na podstawie: H. W. Yung i wsp., *Noncanonical mitochondrial unfolded protein response impairs placental oxidative phosphorylation in early-onset preeclampsia*, PNAS, 2019.

## Ćwiczenie 7



We wspomnianych wyżej mitochondriach zaobserwowano nietypowo dużą ilość białek, związanych ze ścieżką odpowiedzi na pojawienie się niesfałdowanych białek (UPR).

Białka UPR są produkowane w odpowiedzi na warunki stresowe w komórkach.

Obecność znacznie zwiększonej ilości białek UPR powiązano ze spadkiem wydajności oddychania tlenowego zachodzącego w badanych mitochondriach.

## Ćwiczenie 8



Tabela do ćwiczenia 9

Nazwy kolejnych enzymów lub (grup enzymów) łańcucha oddechowego	Substrat, na który enzym przenosi elektron	Potencjał elektrochemiczny substratu w woltach (V)
1. Dehydrogenaza NADH	NAD <sup>+</sup>	-0,32
2. Dehydrogenaza bursztynianowa	FMN lub FAD	-0,2
3. Kompleks cytochromów bc <sub>1</sub>	Koenzym Q10	+0,06
4. Kompleks cytochromów bc <sub>1</sub>	Cytochrom b	+0,12
5. Kompleks IV	Cytochrom c	+0,22
6. Kompleks IV	Cytochrom a	+0,29
7. Kompleks IV	O <sub>2</sub>	+0,82

Na podstawie: Anders Overgaard Pedersen, Henning Nielsen, *Medical CHEMISTRY Compendium*, Aarhus University, 2008.

## Ćwiczenie 9



# Dla nauczyciela

---

**Autor:** Anna Juwan

**Przedmiot:** biologia

**Temat: Sposoby syntezy ATP w komórce**

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

**Podstawa programowa:**

Zakres rozszerzony

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

III. Energia i metabolizm.

4. Fotosynteza. Uczeń:

4) wyjaśnia mechanizm powstawania ATP w procesie chemiosmozy w chloroplastach;

5. Pozyskiwanie energii użytecznej biologicznie. Uczeń:

3) przedstawia, na czym polega fosforylacja substratowa;

4) wyjaśnia mechanizm powstawania ATP w procesie chemiosmozy w mitochondriach (fosforylacja oksydacyjna);

**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 (językiem ucznia):**

- Wyjaśnisz, czym jest fosforylacja substratowa i podasz przykład substratu dla takiej reakcji.
- Poznasz istotę teorii chemiosmotycznej Mitchella.
- Wyjaśnisz, czym jest fosforylacja fotosyntetyczna i wskażesz, jakie związki powstają w jej przebiegu.

### **Strategie nauczania:**

- konstruktywizm;
- konektywizm.

### **Metody i techniki nauczania:**

- z użyciem komputera;
- rozmowa kierowana;
- dyskusja;
- mapa myśli;
- ćwiczenia interaktywne;
- obserwacja.

### **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;
- arkusze papieru w formacie A2 i flamastry.

## Przed lekcją:

1. **Przygotowanie do zajęć.** Nauczyciel loguje się na platformie i udostępnia uczniom e-materiał „Sposoby syntezy ATP w komórce”. Uczestnicy zajęć zapoznają się z treścią zawartą w sekcji „Przeczytaj” i przygotowują pytania, jakie można by było zadać w kontekście tematu zajęć.

## Przebieg lekcji

### Faza wstępna:

1. Prowadzący lekcję wyświetla treści z sekcji „Wprowadzenie”. Informuje uczniów o planowanym przebiegu lekcji i przedstawia kryteria sukcesu.
2. **Raport z przygotowań.** Nauczyciel, przy użyciu dostępnego w panelu użytkownika raportu, weryfikuje przygotowanie uczniów do lekcji: sprawdza, którzy uczestnicy zajęć zapoznali się z udostępnionym e-materiałem. Nauczyciel poleca uczniom, aby zgłaszali swoje propozycje pytań do wspomnianego tematu. Jedna osoba może zapisywać je na tablicy. Gdy uczniowie wyczerpią swoje pomysły, a pozostały jeszcze jakieś ważne kwestie do poruszenia, nauczyciel uzupełnia informacje.

### Faza realizacyjna:

1. **Praca z filmem pt. „Sposoby syntezy ATP w komórce”.** Nauczyciel prosi uczniów, aby przeczytali polecenia do filmu: nr 1 (dotyczące procesu regeneracji ATP) i nr 2 (dotyczące sposobu magazynowania energii w ATP). Następnie uczniowie

zapoznają się z multimediami i w parach wykonują polecenia. Wybrane osoby przedstawiają swoje rozwiązania na forum klasy.

2. **Mapa myśli.** Nauczyciel dzieli uczniów na cztery grupy i prosi ich, by na podstawie e-materiału opracowali mapę myśli dotyczącą przydzielonych zagadnień:

- grupa I i II – teoria chemiosmozy Mitchella i fosforylacja substratowa;
- grupa III i IV – fosforylacja oksydacyjna oraz fosforylacja fotosyntetyczna.

Grupy otrzymują po dwa arkusze papieru A2 i na jednym z nich sporządzają mapę myśli. Następnie wybierają po dwóch ekspertów, którzy najlepiej opanowali otrzymane zagadnienia. Eksperti zamieniają się grupami (I z III, II z IV) i przekazują zdobytą wiedzę. Uczniowie z drugiej grupy robią na drugim arkuszu notatki w formie mapy myśli, porządkując informacje przekazywane przez eksperta. Po upływie wyznaczonego czasu eksperci wracają do swoich grup. Grupy prezentują wyniki swojej pracy, nauczyciel uzupełnia brakujące informacje, koryguje ewentualne błędy.

3. **Utrwalenie wiedzy i umiejętności.** Uczniowie dobierają się w pary i wykonują ćwiczenia od 1 do 8 z sekcji „Sprawdź się”. Następnie konsultują swoje rozwiązania z inną parą uczniów i formułują wspólne uzasadnienia. Nauczyciel w razie potrzeby naprowadza ich na prawidłowy tok rozumowania. Chętni prezentują odpowiedzi na forum klasy. Nauczyciel udziela informacji zwrotnej.

### **Faza podsumowująca:**

1. Nauczyciel prosi uczniów o udzielenie krótkich odpowiedzi na pytania zapisane na tablicy na początku lekcji. Koryguje ewentualne błędy i wyjaśnia wątpliwości uczniów.

### **Praca domowa:**

1. Wykonaj ćwiczenie nr 9 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:**

- Uczniowie zapoznają się z filmem i przygotowują do niego pytania. Następnie zadają je sobie nawzajem, sprawdzając stopień przyswojenia jego treści.