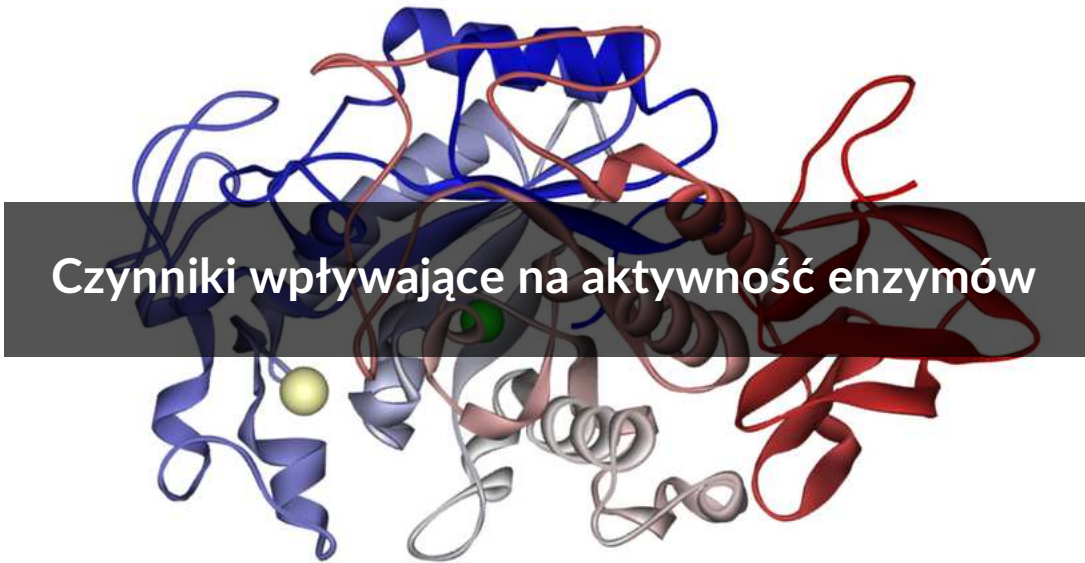


Czynniki wpływające na aktywność enzymów

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Wirtualne laboratorium I \(WL-S\)](#)
- [Wirtualne laboratorium II \(WL-S\)](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)

A 3D ribbon diagram of an enzyme structure, likely alpha-amylase, shown in various colors (blue, red, grey, green, yellow). A semi-transparent grey rectangular box is overlaid on the center of the image, containing the title text.

Czynniki wpływające na aktywność enzymów

Optymalna temperatura dla aktywności przedstawionej na modelu α -amylazy (enzymu wchodzącego w skład ludzkiej śliny, który odpowiada za początkowy etap trawienia cukrów złożonych) wynosi ok. 40°C.

Źródło: Fvasconcellos, Wikimedia Commons, domena publiczna.

Szybkość reakcji enzymatycznej, a więc i aktywność enzymu, zależy od wielu czynników zarówno fizycznych, jak i chemicznych. Z niniejszego e-materiału dowiesz się, jak czynniki fizykochemiczne wpływają na aktywność enzymów oraz jak badać ten wpływ w warunkach laboratoryjnych.

Twoje cele

- Wyjaśnisz wpływ czynników fizykochemicznych, m.in. temperatury, pH i stężenia substratu, na przebieg katalizy enzymatycznej.
- Zaplanujesz i przeprowadzisz doświadczenie badające wpływ temperatury oraz pH na aktywność enzymów.
- Zaobserwujesz wpływ temperatury na aktywność enzymów.
- Dowiesz się, co opisuje krzywa Michaelisa–Menten.

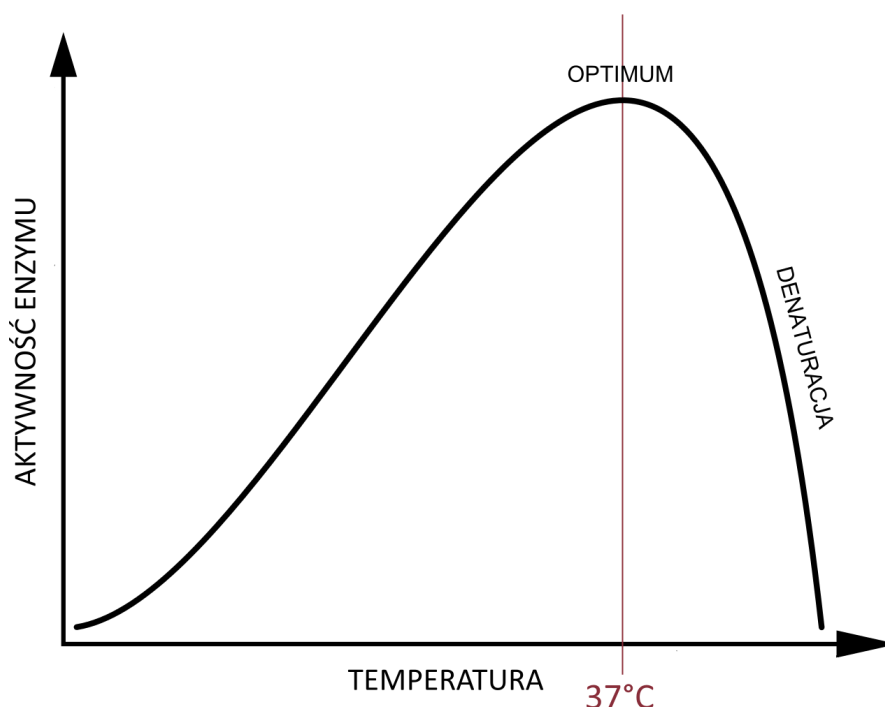
Przeczytaj

Czynniki wpływające na aktywność enzymów

Najważniejszymi czynnikami środowiskowymi wpływającymi na aktywność [enzymów](#) są temperatura i pH. Optymalne wartości temperatury i pH dla enzymów działających w organizmie człowieka są zbliżone do panujących w nim warunków. Oznacza to, że odpowiednia temperatura dla działania enzymu jest porównywalna do temperatury ciała (od 35 do 40°C), a optymalne pH jest zbliżone do występującego w miejscu, w którym dany enzym jest aktywny.

Temperatura

Aktywność większości enzymów rośnie wraz ze wzrostem temperatury do ok. 37°C, po czym utrzymuje stałą wartość do ok. 42°C, a następnie spada wskutek postępującej [denaturacji białka](#) enzymatycznego. Wyjątkiem są tzw. enzymy termostabilne, które występują w komórkach termofilnych bakterii zasiedlających gorące źródła.



Zależność aktywności enzymów organizmu człowieka od temperatury. Gwałtowny spadek aktywności po przekroczeniu temperatury optymalnej związany jest z denaturacją struktury enzymów.

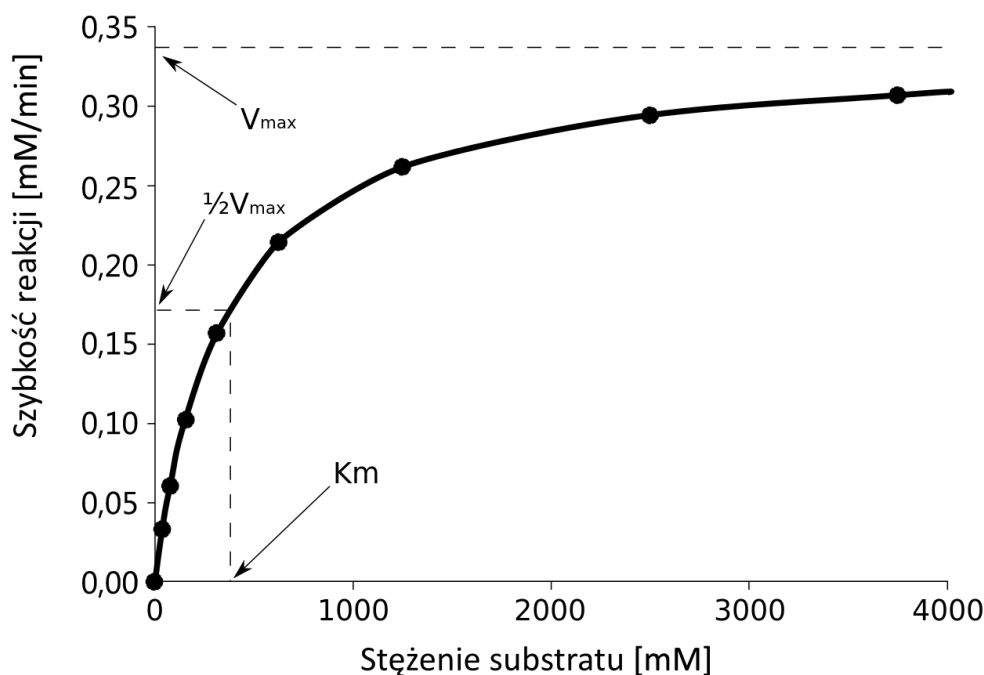
Źródło: Szczepan (zmodyfikowano), Wikimedia Commons, licencja: CC BY-SA 3.0.

pH środowiska

Stężenie substratu i enzymu

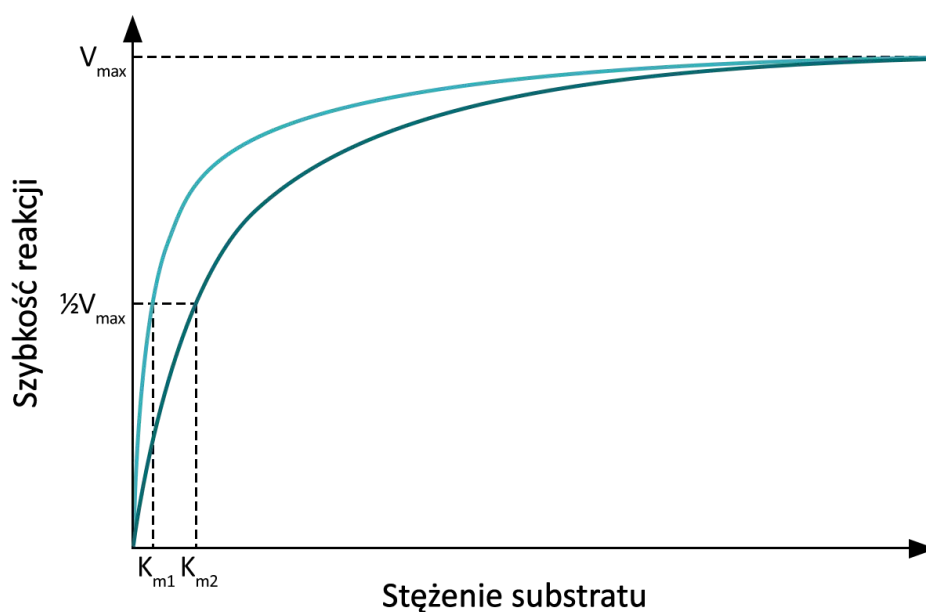
Stała Michaelisa–Menten

Stała Michaelisa–Menten (K_m) to takie stężenie substratu (dla określonego stężenia enzymu), przy którym szybkość reakcji enzymatycznej osiąga połowę szybkości maksymalnej (V_{max}) tej reakcji. Stała Michaelisa–Menten określa **powinowactwo** enzymu do substratu i jest wyrażana w molach na dm^3 . Wysoka wartość K_m mówi o małym powinowactwie enzymu do substratu. Natomiast im mniejsza K_m , tym powinowactwo enzymu do substratu jest większe. Znając wartość K_m różnych enzymów można więc porównać ich powinowactwo do substratu.



Wykres zależności szybkości reakcji od stężenia substratu w przypadku enzymu zachowującego się zgodnie z kinetyką Michaelisa–Menten.

Źródło: fullofstars, Wikimedia Commons, domena publiczna.



Krzywa Michaelisa-Menten dla dwóch enzymów. Enzym o niższej stałej K_m ma większe powinowactwo do substratu.

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

Doświadczenie – wpływ temperatury na aktywność enzymów komórek bulwy ziemniaka

Komórki bulwy ziemniaka zawierają katalazę, która katalizuje rozkład H_2O_2 (wody utlenionej) do wody oraz wolnego tlenu. Wydzielanie pęcherzyków tlenu widoczne jest w postaci piany.

Wpływ temperatury na aktywność enzymów komórek bulwy ziemniaka.

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

Słownik

amylazy

enzymy z klasy hydrolaz glikozydowych; katalizują rozkład polisacharydów: skrobi i glikogenu; występują w ślinie, soku trzustkowym oraz u roślin, np. w ziarnach zbóż

denaturacja białka

zniszczenie struktury cząsteczek białkowych wynikające z rozerwania wiązań chemicznych (wodorowych, jonowych, mostków disiarczkowych) stabilizujących ich strukturę drugo-, trzecio- i czwartorzędową

enzym

biokatalizator; zazwyczaj białko, rzadziej cząsteczka RNA lub DNA; zdolny do obniżenia energii aktywacji i przyspieszenia przebiegu reakcji chemicznej

pepsyna

główny enzym proteolityczny soku żołądkowego kręgowców; syntetyzowany jako proenzym (pepsynogen), który w żołądku pod wpływem niskiego pH zostaje przekształcony w pepsynę

powinowactwo

trwałość połączenia enzymu z substratem

trypsina

enzym proteolityczny, który trawi białka w jelicie cienkim; wytwarzany w trzustce jako proenzym (trypsynogen), a następnie transportowany do jelita cienkiego, gdzie przekształca się w trypsynę pod wpływem enzymu gruczołów ściany jelita cienkiego – enterokinazy

Wirtualne laboratorium I (WL-S)

Laboratorium 1

Przeprowadź doświadczenie w laboratorium. Rozwiąż problem badawczy i postaw hipotezę. W formularzu zapisz swoje wyniki, a następnie sformułuj wnioski.

Problem badawczy:

Wpływ temperatury na aktywność katalazy w komórkach bulwy ziemniaka.

Materiał biologiczny:

- bulwa ziemniaka.

Odczynniki:

- 3% nadtlenek wodoru (H_2O_2);
- woda destylowana.

Sprzęt laboratoryjny:

- nóż;
- moździerz z pistelem;
- probówki;
- stojak na probówki;
- pipeta Pasteura;
- łaźnia wodna;
- wanienka z lodem.



1. Pokrój bulwę ziemniaka i utrzyj ją w moździerzu.

Zasób interaktywny dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/DeFTYrs5C>

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

Polecenie 1

Wirtualne laboratorium II (WL-S)

Laboratorium 1

Przeprowadź doświadczenie w laboratorium. Rozwiąż problem badawczy i postaw hipotezę. W formularzu zapisz swoje wyniki, a następnie sformułuj wnioski.

Problem badawczy:

Wpływ pH na aktywność proteiny w miąższu owocu ananasa.

Materiał biologiczny:

- miąższ owocu ananasa.

Odczynniki:

- 2M roztwór wodorotlenku sodu;
- 2M roztwór kwasu solnego;
- woda destylowana;
- żelatyna.

Sprzęt laboratoryjny:

- mikser;
- czajnik;
- probówki;
- stojak na probówki;
- pipety Pasteura;
- bagietki szklane;
- łyżka;
- zlewka;
- marker;

- wanienka z lodem;
- papierki wskaźnikowe.






Zasób interaktywny dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/Ds3VIZMGb>

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

Polecenie 1

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Ćwiczenie 2



Ćwiczenie 3



Ćwiczenie 4



Poniższa tabela przedstawia intensywność chemiluminescencji (zjawisko emisji fal świetlnych w wyniku reakcji chemicznych) **peroksydazy chrzanowej**. Efektem reakcji katalizowanej przez ten enzym (w zależności od użytego substratu) może być barwny produkt, dzięki czemu staje się on łatwy do wykrycia.

pH	Temperatura (°C)	Intensywność chemiluminescencji (jednostki umowne)
6	14	3,8
	16	4,0
	18	4,18
	20	4,30
	22	4,50
	24	4,22
	26	4
	28	3,82
	30	3,6
7	14	7,0
	16	7,21
	18	7,5
	20	7,7
	22	7,52
	24	7,44
	26	7,22
	28	6,95
	30	6,87
8	14	4,09
	16	4,44

pH	Temperatura (°C)	Intensywność chemiluminescencji (jednostki umowne)
	18	4,66
	20	4,35
	22	4,11
	24	4,02
	26	3,80
	28	3,55
	30	3,42

Informacja do ćwiczeń 5-7

Enzymy organizmów mezofilnych (preferujących średnie wartości czynników środowiska) pod wpływem wysokiego stężenia soli ulegają wysoleniu. Proces ten polega na rozerwaniu wiązań wodorowych pomiędzy powierzchnią białka a wodą będącą rozpuszczalnikiem. Dodatek soli powoduje zniszczenie otoczki hydratacyjnej, a cząsteczki białek ulegają agregacji, co obserwujemy jako koagulację. Halofity to organizmy żyjące w środowiskach o wysokim stężeniu soli (w zakresie od 0,6 do nawet ponad 5 mol/dm³). Ich enzymy mają przystosowania pozwalające na przeprowadzanie katalizy w takich warunkach. Białka te zawierają nawet 25% aminokwasów o niskim punkcie izoelektrycznym (kwasowych). Ujemnie naładowane reszty tych aminokwasów występujące na powierzchni białek wiążą się z uwodnionymi kationami, a także za pomocą innych oddziaływań – bezpośrednio z wodą. Enzymy halofilne zawierają procentowo mniej aminokwasów o długich łańcuchach węglowych niż ich mezofilne odpowiedniki. Ciekawym organizmem halofilnym jest bakteria *Haloferox mediterranei*. Ma ona gen kodujący odporny na wysokie zasolenie enzym chitynazę (z klasy hydrolaz) oraz halofilne enzymy przekształcające produkty rozpadu chityny w PHBV – poli(3-hydroksymaślan-co-3-hydroksywalerianian). PHBV jest biodegradowalnym plastikiem.

Na podstawie: S. DasSarma i in., *Halophiles and their enzymes: Negativity put to good use*, Current Opinion in Microbiology 2015, nr 25, s. 120-126.

Ćwiczenie 5



Ćwiczenie 6



Ćwiczenie 7



Przemysł spożywczy generuje duże ilości odpadów. W przypadku produkcji pożywienia pochodzącego z krabów, krewetek i innych skorupiaków są to głównie ich pancerze. Wyjaśnij, w jaki sposób bakterie *Haloferax mediterranei* mogą być użyteczne w utylizowaniu wspomnianych odpadów bez konieczności mycia ich wodą oraz dlaczego jest to korzystne dla przemysłu i środowiska naturalnego.

Ćwiczenie 8



Enzymy są zazwyczaj specyficzne względem substratu oraz reakcji, jakiej ten substrat ulega. Istnieje jednak coraz więcej dowodów na istnienie zjawiska zwanego *enzyme promiscuity*, co tłumaczy się jako „swobodność enzymów”. Przykładem takiego działania może być lipaza, która rozkłada między innymi tłuszcze, ale również tworzy wiązania C-C (pomiędzy węglami związków organicznych). Warto dodać, że lipaza zamiast dwóch centrów aktywnych ma jedno, wysoce plastyczne – miejsce katalityczne mogące dopasowywać się do substratów o zupełnie różnych strukturach. Takie zdolności niektórych enzymów uważane są za dowód na wciąż postępującą ewolucję – w tym przypadku na ewolucyjne przystosowywanie się enzymów do katalizy nowych reakcji. Cecha, którą nazwaliśmy „swobodnością enzymów”, charakteryzuje się o wiele niższym powinowactwem enzymu do drugiego substratu (nazywanego w tym przypadku „nietypowym”).

Na podstawie: Rinkoo Devi Gupta, *Recent advances in enzyme promiscuity*, „Sustainable Chemical Processes”

2016, nr 2, vol. 4.

Dla nauczyciela

Autor: Anna Juwan

Przedmiot: biologia

Temat: Czynniki wpływające na aktywność enzymów

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

Podstawa programowa:

Zakres podstawowy

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

III. Energia i metabolizm.

2. Enzymy. Uczeń:

5) wyjaśnia wpływ czynników fizycznych i chemicznych (temperatury, pH, stężenia substratu) na przebieg katalizy enzymatycznej; planuje i przeprowadza doświadczenie badające wpływ czynników na aktywność wybranych enzymów (katalaza).

Zakres rozszerzony

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

III. Energia i metabolizm.

3. Enzymy. Uczeń:

5) wyjaśnia wpływ czynników fizycznych i chemicznych (temperatury, pH, stężenia substratu) na przebieg katalizy enzymatycznej; planuje i przeprowadza doświadczenie badające wpływ różnych czynników na aktywność enzymów (katalaza, proteinaza).

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 wpływ czynników fizykochemicznych, m.in. temperatury, pH i stężenia substratu, na przebieg katalizy enzymatycznej.
- Zaplanujesz i przeprowadzisz doświadczenie badające wpływ temperatury oraz pH na aktywność enzymów.
- Zaobserwujesz wpływ temperatury na aktywność enzymów.
- Dowiesz się, co opisuje krzywa Michaelisa–Menten.

Strategie nauczania:

- konstruktywizm;
- konektywizm.

Metody i techniki nauczania:

- z użyciem komputera;
- ćwiczenia interaktywne;
- ćwiczenia laboratoryjne;
- praca z tekstem.

Formy pracy:

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

Środki dydaktyczne:

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

Przed lekcją:

1. Uczniowie zapoznają się z treścią w sekcji „Przeczytaj”.

Przebieg lekcji

Faza wstępna:

1. Nauczyciel wyświetla na tablicy temat lekcji oraz cele zajęć, omawiając lub ustalając razem z uczniami kryteria sukcesu.
2. **Rozmowa wprowadzająca.** Nauczyciel, odwołując się do wiedzy uczniów zdobytej na wcześniejszych zajęciach, zadaje pytania:

- Czym są enzymy?
- Jaką pełnią funkcję?
- Jak na enzymy wpływają inhibitory?

Faza realizacyjna:

1. **Praca z tekstem.** Uczniowie łączą się w 4-osobowe grupy. Na podstawie tekstu, z którym zapoznali się w ramach przygotowania do lekcji, analizują wykresy w sekcji „Przeczytaj” i formułują prawidłowości na temat wpływu temperatury, pH i stężenia substancji oraz stałej Michaelisa–Menten na szybkość reakcji enzymatycznej. Liderzy grup prezentują wyniki pracy.
2. **Praca z multimedium („Wirtualne laboratorium I (WL-S)”)**. Uczniowie, pracując samodzielnie, przeprowadzają doświadczenie w wirtualnym laboratorium I. Rozwiązują problem badawczy (wpływ temperatury na aktywność katalazy w komórkach bulwy ziemniaka) i formułują hipotezę. W formularzu zapisują wyniki i formułują wnioski oraz weryfikują hipotezę. Nauczyciel omawia i wyjaśnia wnioski z doświadczenia.
3. **Praca z drugim multimedium („Wirtualne laboratorium II (WL-S)”)**. Uczniowie przeprowadzają doświadczenie w wirtualnym laboratorium II. Rozwiązują problem badawczy (wpływ pH na aktywność proteiny w miąższu owocu ananasa) i formułują hipotezę. W formularzu zapisują swoje wyniki, a następnie formułują wnioski. Nauczyciel omawia i wyjaśnia wnioski z doświadczenia.
4. **Utrwalanie wiedzy i umiejętności.** Uczniowie dobierają się w pary i wykonują ćwiczenie nr 7 (w którym mają za zadanie napisać – na podstawie podanych informacji – w jaki sposób enzymy bakterii *Haloferax mediterranei* mogą być korzystne w utylizacji opisanych odpadów) w sekcji „Sprawdź się”. Następnie konsultują swoje rozwiązania z inną parą uczniów i ustalają jedną wersję odpowiedzi. Wybrane zespoły przedstawiają rozwiązanie na forum klasy.

Faza podsumowująca:

1. Uczniowie rozwiązują ćwiczenie nr 6 (typu „prawda/fałsz”) z sekcji „Sprawdź się”. Następnie przygotowują podobne zadanie dla osoby z pary: wymyślają trzy prawdziwe lub fałszywe zdania dotyczące tematu lekcji. Uczniowie wykonują ćwiczenie otrzymane od kolegi lub koleżanki.
2. Nauczyciel prosi uczniów o rozwinięcie zdań: „Dziś nauczyłem/nauczyłam się...”, „Zrozumiałem/zrozumiałam, że...”, „Zaskoczyło mnie...”, „Dowiedziałem/dowiedziałam się...”.
3. Nauczyciel wyświetla treści zawarte w sekcji „Wprowadzenie” i na ich podstawie dokonuje podsumowania najważniejszych informacji przedstawionych na lekcji. Wyjaśnia także wątpliwości uczniów.

Praca domowa:

1. Wykonaj ćwiczenia od 1 do 5 z sekcji „Sprawdź się”.

2. Dla chętnych: Wykonaj ćwiczenie nr 8 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.