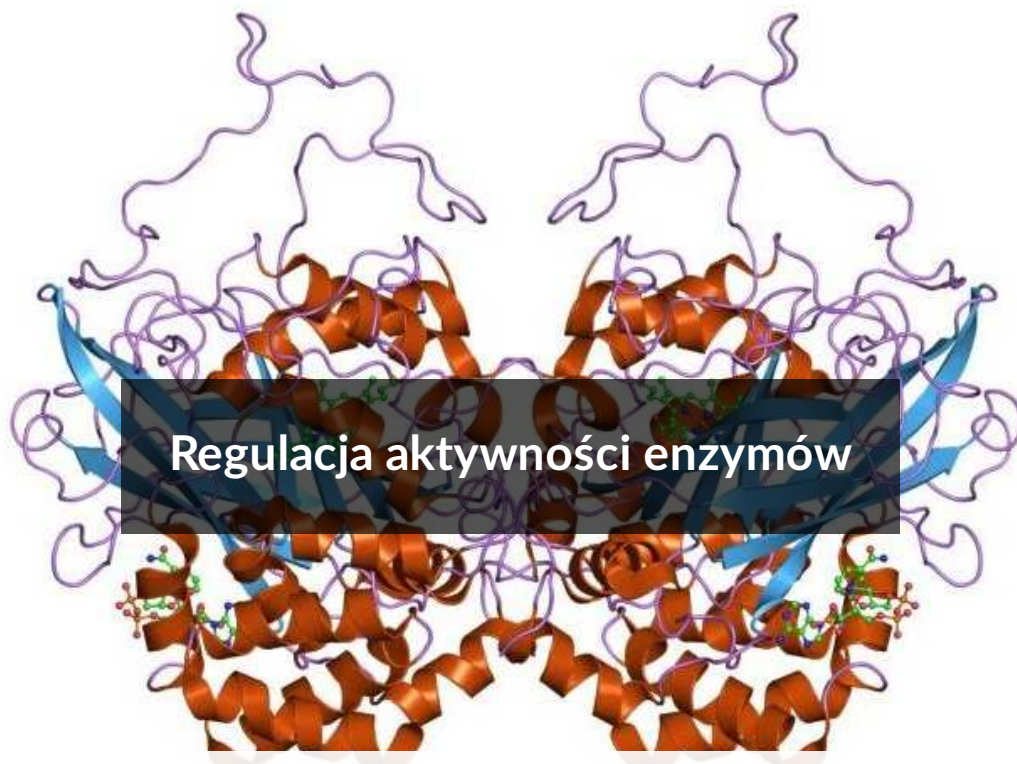


## Regulacja aktywności enzymów

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



Katalaza to enzym z grupy oksydoreduktaz katalizujący proces rozkładu nadtlenu wodoru ( $H_2O_2$ ) do wody ( $H_2O$ ) i tlenu ( $O_2$ ). Duże jej ilości występują m.in. w wątrobie, nerkach, leukocytach i erytrocytach.

Źródło: Jawahar Swaminathan, WikimediaCommons, domena publiczna.

Enzymy pełnią wiele funkcji w organizmie – warunkują tempo większości reakcji zachodzących w komórkach. Nie wszystkie jednak działają w tym samym czasie. Ich aktywność jest ściśle kontrolowana i odpowiednio ograniczana.

Dlaczego wszystkie enzymy nie mogą być aktywne jednocześnie? Jak to się dzieje, że jedne enzymy kontrolują pracę innych? Odpowiedzi na te pytania znajdziesz w dalszej części materiału.

### Twoje cele

- Wyjaśnisz, jak kontrolowana jest aktywność enzymów.
- Uzasadnisz konieczność kontroli aktywności enzymów.
- Wyjaśnisz, na czym polega sprzężenie zwrotne ujemne.
- Opiszysz typy inhibicji enzymów.

# Przeczytaj

---

## Aktywność enzymów

Enzymy są związkami organicznymi, które pełnią rolę **katalizatorów**. Przeważnie należą do białek i cechują się dużą specyficznością pod względem katalizowanej reakcji.

Rola enzymów polega na obniżeniu **energii aktywacji** i przyspieszeniu reakcji chemicznej. Jednym ze sposobów wyrażenia **aktywności enzymu** jest podawanie początkowej szybkości ( $V_0$ ). Zależy ona od czynników środowiskowych oraz obecności związków chemicznych, tzw. efektorów, aktywujących lub hamujących ich działanie.

Najważniejszymi czynnikami środowiskowymi wpływającymi na aktywność enzymów są **temperatura i pH**. Ich optymalne parametry u człowieka zbliżone są do warunków panujących wewnątrz jego organizmu.

Więcej informacji na temat czynników wpływających na aktywność enzymów znajdziesz [tutaj](#).

Aktywność enzymów zależy również od obecności niebiałkowych związków chemicznych – [kofaktorów](#), które są niezbędne do specyficznego wiązania się enzymów z ich substratami. Więcej o działaniu kofaktorów przeczytasz w materiale: [„Budowa, działanie i funkcje enzymów”](#).

# Inhibicja

Aktywność enzymów może być hamowana przez niektóre związki chemiczne, tzw. inhibitory enzymów. Zalicza się do nich naturalnie występujące [metabolity](#) komórkowe oraz substancje obcego pochodzenia, takie jak leki i toksyny. Związki te łączą się odwracalnie (inhibicja kompetycyjna i inhibicja niekompetycyjna) lub nieodwracalnie (inhibicja nieodwracalna) z enzymami, uniemożliwiając przyłączenie substratu.

Wyróżnia się dwa rodzaje odwracalnej inhibicji: inhibicję kompetycyjną i niekompetycyjną.

1

2

- Inhibitor ma budowę podobną do struktury substratu.
- Inhibitor i substrat współzawodniczą o miejsce w centrum aktywnym enzymu.
- Działanie inhibitora jest przewyżczone dużym stężeniem substratu.

3

Klasycznym przykładem inhibicji kompetycyjnej jest współzawodnictwo **metanolu**, będącego inhibitorem, oraz **etanolu**, będącego substratem. Związki te konkurują o wiązanie się z miejscem aktywnym w dehydrogenazie alkoholowej. Enzym ten katalizuje proces utleniania

metanolu do silnie toksycznych produktów: aldehydu mrówkowego i kwasu mrówkowego. Katalizuje również proces utleniania etanolu, ale produktem tej reakcji jest aldehyd octowy – znacznie mniej toksyczny dla organizmu człowieka. Duże stężenie substratu skutkuje częstszym łączeniem etanolu z centrum aktywnym dehydrogenazy, co z kolei prowadzi do blokowania dostępu metanolu do centrum aktywnego enzymu i obniżenia produkcji aldehydu mrówkowego.

4

– Inhibitor wiąże się z enzymem w innym miejscu niż substrat.

– Inhibitor i substrat mogą zostać przyłączone do enzymu jednocześnie.

– Przyłączenie inhibitora powoduje zmianę konformacji białka.

Spośród przykładów tego typu inhibitorów warto zwrócić uwagę na **kwas acetylosalicylowy** (aspiryna). Kwas acetylosalicylowy hamuje niekompetycyjnie **dehydrogenazę 2-oksoglutaranową** (enzym działający w cyklu Krebsa).

5

Inhibitory łączą się wiązaniem kowalencyjnym z resztami aminokwasowymi w miejscu

1

aktywnym.

2

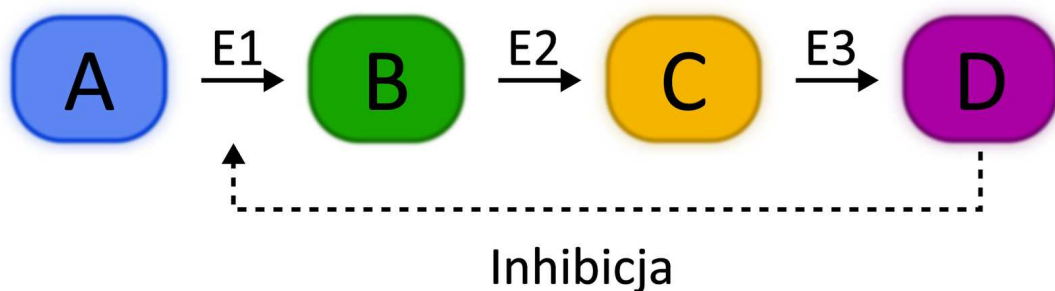
**Penicylina wiąże się z enzymem bakteryjnym transpeptydazą peptydoglikanu.**

Antybiotyk (otrzymywany przy użyciu pleśni *Penicillium*) po związaniu z tym enzymem blokuje jego aktywność. Transpeptydaza peptydoglikanu katalizuje reakcję usieciowiania peptydów tworzących peptydoglikan (składnik ściany komórkowej bakterii).

## Sprzężenie zwrotne

### Sprzężenie zwrotne

Aktywność enzymu może być kontrolowana przez stężenie produktu końcowego katalizowanej reakcji. Wzrost jego stężenia hamuje działanie enzymu uczestniczącego w reakcji na początku szlaku metabolicznego – na drodze [sprzężenia zwrotnego](#). Zapobiega to nagromadzeniu się zbyt dużej ilości produktu i nadmiernemu wykorzystaniu substratów oraz energii metabolicznej.



A to substrat, B i C to produkty pośrednie, D to produkt końcowy, a E1, E2 i E3 to enzymy. Kontrola aktywności enzymu na drodze sprzężenia zwrotnego polega na hamowaniu pierwszego enzymu szlaku metabolicznego przez produkt końcowy.

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

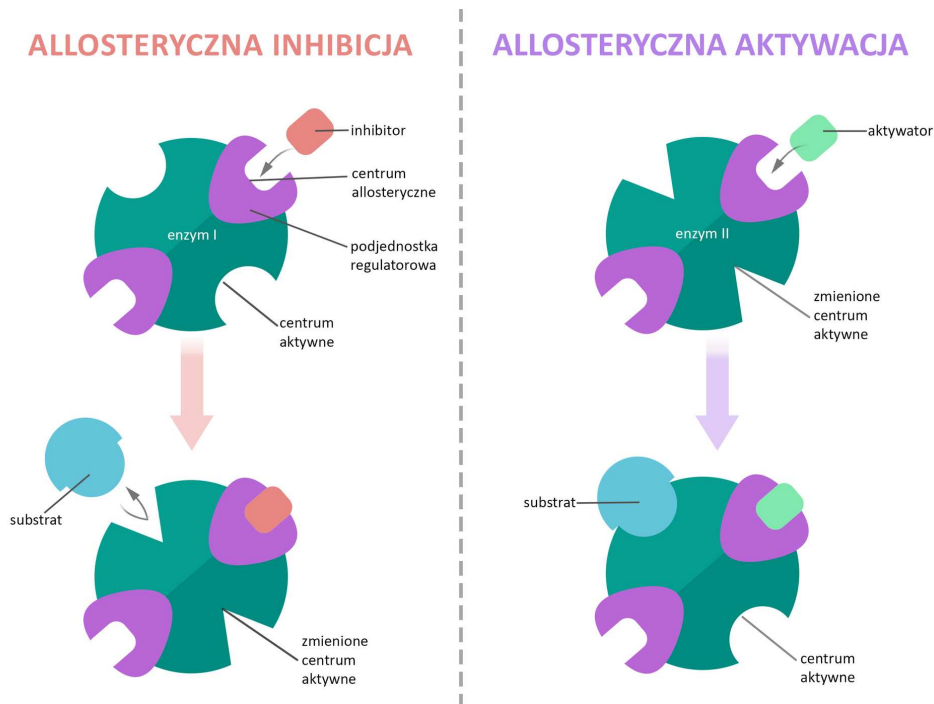
Sekwencyjne sprzężenie zwrotne

## Aktywatory enzymów

Aktywność enzymów może być także wzmacniana przez tzw. **aktywatory**. Należą do nich m.in. jony metali. Na przykład jony  $Mg^{2+}$  aktywują fosfatazy,  $Fe^{2+}$  – peroksydazy,  $Mn^{2+}$  – fosfotransferazy, a  $Zn^{2+}$  – dehydrogenazę alkoholową. Niespecyficznymi aktywatorami enzymatycznymi są związki zapobiegające uszkodzeniom enzymów, np. przeciwutleniacze ([glutation](#), [kwas askorbinowy](#), [dysmutaza ponadtlenkowa](#)) obecne w komórce w dużym stężeniu i neutralizujące aktywne formy tlenu.

## Enzymy allosteryczne

Nie zawsze efektor przyłączany jest do centrum aktywnego. Może on wiązać się w innym miejscu – [centrum allosterycznym](#) występującym w tzw. **enzymach allosterycznych**. Powoduje to zmianę konformacji białka, co z kolei prowadzi do modyfikacji centrum aktywnego. W konsekwencji następuje zmiana powinowactwa pozostałych miejsc do cząsteczek substratu. W przypadku enzymów allosterycznych cząsteczki sygnałowe regulujące ich pracę to regulatory (efektory allosteryczne). W zależności od typu przyłączonej cząsteczki może ona zmniejszać (inhibitor) lub zwiększać (aktywator) powinowactwo enzymu względem substratu, co będzie skutkowało hamowaniem lub przyspieszaniem jego aktywności.

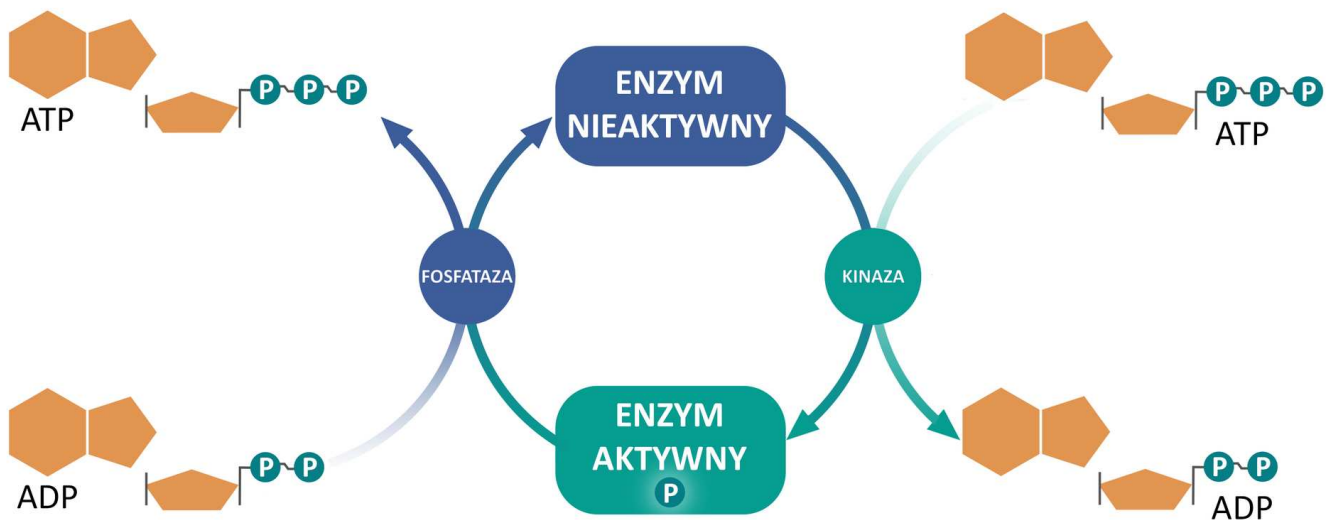


Schemat allosterycznego hamowania i allosterycznej aktywacji.

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

## Odwracalne modyfikacje kowalencyjne

Zmiany struktury białka enzymatycznego i związane z tym zmiany jego aktywności mogą być spowodowane odwracalnymi modyfikacjami kowalencyjnymi. Polegają one na tworzeniu lub rozcinaniu wiązań między grupą białkową i niebiałkową enzymu. Do najczęstszych modyfikacji należą [fosforylacja](#) i [defosforylacja](#).



Schemat przedstawiający przebieg fosforylacji i defosforylacji.

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

## Aktywacja proteolityczna

Niektóre enzymy aktywowane są dzięki nieodwracalnej hydrolizie wiązań peptydowych, czyli tzw. aktywacji proteolitycznej. Zachodzi ona wtedy, gdy enzym produkowany jest w formie nieaktywnej (**proenzym** lub zymogen) i aktywowany dopiero w miejscu działania. Przykładem takiego enzymu jest [trypsyna](#), produkowana przez trzustkę jako proenzym – trypsynogen. Do aktywacji trypsyny dochodzi w jelicie cienkim pod wpływem działania innego enzymu – enteropeptydazy, która rozcina wiązania peptydowe.

## Słownik

### centrum allosteryczne

miejsce w apoenzymie, do którego przyłączają się efektory, czyli drobnocząsteczkowe związki wpływające na aktywność enzymu; enzymy, których aktywność jest regulowana w ten sposób, to enzymy allosteryczne

### defosforylacja

reakcja odłączania reszty fosforanowej

### **dehydrogenaza 2-oksoglutaranowa**

biokatalizator będący kluczowym ogniwem cyklu Krebsa, który bierze udział w podstawowych szlakach przemian węglowodanów, kwasów tłuszczowych oraz aminokwasów zarówno w kierunku katabolicznym, jak i anabolicznym

### **dysmutaza ponadtlenkowa**

enzym z grupy oksydoreduktaz, katalizuje przekształcenie dwóch anionów  $O_2^-$  do nadtlenu wodoru ( $H_2O_2$  rozkładanego przez katalazę) i tlenu ( $O_2$ ); obecna we wszystkich organizmach tlenowych.

### **energia aktywacji**

wielkość bariery energetycznej, która musi zostać przekroczona, aby doszło do reakcji chemicznej

### **fosforylacja**

reakcja przyłączania reszty fosforanowej

### **glutation**

tripeptyd złożony z kwasu glutaminowego, cysteiny i glicyny; najważniejszy przeciwutleniacz w organizmie

### **katalizator**

substancja zwiększająca szybkość reakcji

### **kofaktory**

niebiałkowe składniki niezbędne do katalitycznej aktywności wielu enzymów

### **kwas acetylosalicylowy**

potocznie aspiryna; pochodna kwasu salicylowego o działaniu przeciwbólowym, przeciwzapalnym, przeciwgorączkowym i przeciwapagacyjnym

### **kwas askorbinowy**

witamina C (łac. *acidum ascorbicum*); organiczny związek chemiczny z grupy nienasyconych alkoholi polihydroksylowych, niezbędny do funkcjonowania organizmów żywych

### **metabolity**

produkty przemian chemicznych zachodzących w organizmach

### **penicylina**

antybiotyk, cząsteczka blokująca enzymy bakteryjne, które biorą udział w syntezie peptydoglikanu ściany komórkowej bakterii

### **sprężenie zwrotne**

oddziaływanie produktów końcowych procesu lub szlaku metabolicznego na cząsteczki wejściowe, np. enzymy

### **transpeptydaza peptydoglikanu**

enzym biorący udział w syntezie peptydoglikanu ściany komórkowej bakterii

### **trypsyna**

enzym proteolityczny, który trawi białka w jelicie cienkim; wytwarzany w trzustce jako proenzym – trypsynogen (forma nieczynna), a następnie transportowany do jelita cienkiego, gdzie przekształca się w trypsynę za sprawą enzymu śluzówki jelita cienkiego

# Animacja

---

## Regulacja aktywności enzymatycznej

Film dostępny pod adresem </preview/resource/R188A6JK5QCCH>

Regulacja aktywności enzymatycznej.

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

Film pod tytułem: regulacja aktywności enzymatycznej.

---

### Polecenie 1

Nawiązując do różnic między inhibicją kompetycyjną i niekompetycyjną scharakteryzuj inhibicję.




### Polecenie 2

Wyjaśnij, na czym polega regulacja allosteryczna.

### Polecenie 3

Scharakteryzuj antagonistyczne działanie kinazy i fosfatazy w regulacji aktywności enzymów.

# Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Ćwiczenie 2



Ćwiczenie 3



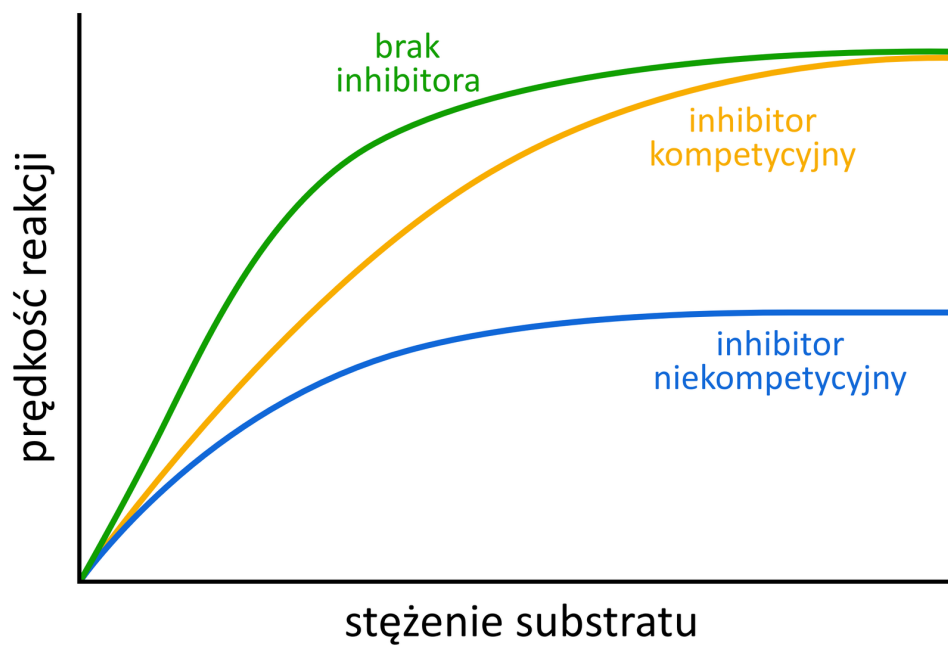
Ćwiczenie 4



Ćwiczenie 5



Ćwiczenie 6



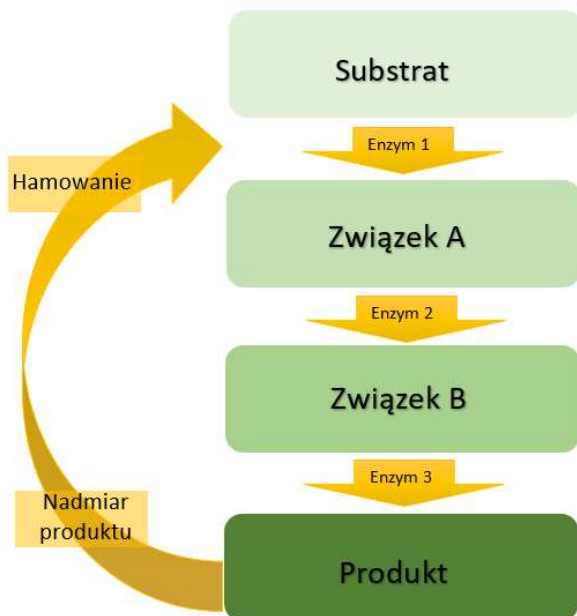
Wpływ inhibitora kompetycyjnego i niekompetycyjnego na szybkość reakcji enzymatycznej.

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

## Ćwiczenie 7

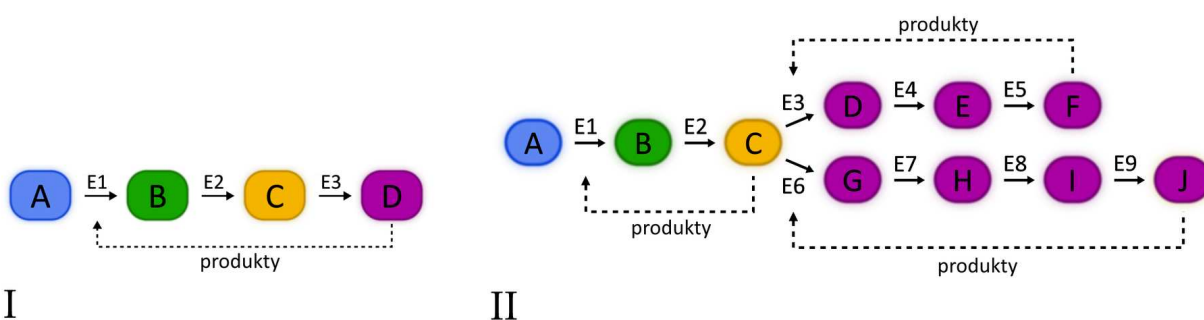


Na poniższym schemacie przedstawiono jeden z mechanizmów regulacji aktywności enzymów w szlaku metabolicznym.



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

## Ćwiczenie 8



(I) Elementy od E1 do E3 – enzymy; A – substrat, B i C – produkty pośrednie, D – produkt końcowy; (II) od E1 do E9 – enzymy; od A – substrat, B, D, E, G, H, I – produkty pośrednie, C, F, J – produkty końcowe.

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

# Dla nauczyciela

---

**Autor:** Anna Juwan

**Przedmiot:** Biologia

**Temat: Regulacja aktywności 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:

3) przedstawia sposoby regulacji aktywności enzymów (aktywacja, inhibicja);

4) wyjaśnia mechanizm sprzężenia zwrotnego ujemnego w regulacji przebiegu szlaków metabolicznych;

Zakres rozszerzony

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

III. Energia i metabolizm.

3. Enzymy. Uczeń:

3) przedstawia sposoby regulacji aktywności enzymów (aktywacja, inhibicja);

4) wyjaśnia mechanizm sprzężenia zwrotnego ujemnego jako sposobu regulacji przebiegu szlaków metabolicznych;

### **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, jak kontrolowana jest aktywność enzymów.
- Uzasadnisz konieczność kontroli aktywności enzymów.
- Wyjaśnisz, na czym polega sprzężenie zwrotne ujemne.
- Opisziesz typy inhibicji enzymów.

### **Strategie nauczania:**

- konstruktywizm;
- konektywizm.

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

- z użyciem komputera;
- rozmowa kierowana;
- analiza animacji;
- ćwiczenia interaktywne;
- mapa myśli;
- gwiazda pytań.

### **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, flamastry, magnesy.

### Przed lekcją:

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

### Przebieg lekcji

#### Faza wstępna:

1. Nauczyciel wyświetla zawartość sekcji „Wprowadzenie”. Uczniowie wspólnie z nauczycielem omawiają cele lekcji i określają kryteria sukcesu.
2. **Wprowadzenie do tematu.** Nauczyciel rozpoczyna pogadankę, mówiąc: „Enzymy uczestniczą w większości reakcji chemicznych zachodzących w organizmach. Jaka jest ich rola w procesach metabolicznych i biochemicznych?”

#### Faza realizacyjna:

1. **Praca z tekstem – mapa myśli.** Nauczyciel dzieli uczniów na grupy. Każda z nich dostaje arkusz papieru i flamastry. Uczniowie na podstawie tekstu zamieszczonego w sekcji „Przeczytaj”, z którym mieli się zapoznać przed lekcją, wykonują mapę myśli, której centralne miejsce zajmuje hasło: „Aktywność enzymów”. Zespoły kolejno prezentują wyniki swojej pracy. Nauczyciel w razie potrzeby dopowiada potrzebne informacje lub koryguje błędy.

- 2. Praca z multimedium („Animacja”).** Nauczyciel wyświetla na tablicy interaktywnej lub za pomocą rzutnika multimedium. Uczniowie odczytują polecenie nr 1 („Opisz przebieg regulacji aktywności enzymów na drodze sprzężenia zwrotnego”) oraz polecenie nr 2 („Wyjaśnij, na czym polega regulacja allosteryczna”) i wykonują je w parach. Następnie dzielą się swoimi odpowiedziami na forum klasy.
- 3. Utrwalenie wiedzy i umiejętności.** Uczniowie samodzielnie wykonują ćwiczenie nr 7 (w którym mają za zadanie uzasadnić, jakie znaczenie w regulacji aktywności enzymów ma mechanizm przedstawiony na schemacie) z sekcji „Sprawdź się”. Następnie w 4-osobowych grupach omawiają prawidłowe rozwiązanie. Po upływie wyznaczonego czasu wskazany przez nauczyciela przedstawiciel grupy prezentuje odpowiedź wraz z jej uzasadnieniem. Klasa ustosunkowuje się do niej. Nauczyciel udziela uczniom informacji zwrotnej.
- 4.** Uczniowie rozwiązują w grupach 4-osobowych ćwiczenie nr 8 (w którym mają za zadanie przeanalizować schematy i wyjaśnić różnicę pomiędzy inhibicją na drodze sprzężenia zwrotnego a inhibicją na drodze sekwencyjnego sprzężenia zwrotnego), wyświetlone przez nauczyciela na tablicy. Po jego wykonaniu następuje omówienie rezultatów na forum klasy.

### **Faza podsumowująca:**

- 1. Gwiazda pytań.** Nauczyciel dzieli klasę na trzy grupy. Każdy zespół otrzymuje arkusz papieru A3 z ilustracją gwiazdy. Zadaniem uczniów jest umieszczenie na ramionach gwiazdy pięciu pytań dotyczących tematu lekcji. Każdy zespół po napisaniu pytań przekazuje gwiazdę innej grupie, zgodnie z kierunkiem wskazówek zegara. Teraz zadaniem uczniów jest udzielenie odpowiedzi na zadane pytania na podstawie wiadomości znajdujących się w e-materiale. Uczniowie swoje odpowiedzi zapisują na otrzymanym arkuszu papieru A3. Po upływie wyznaczonego czasu grupy prezentują swoje gwiazdy. Nauczyciel w razie potrzeby uzupełnia informacje, wyjaśnia wątpliwości.
- 2.** Nauczyciel wyświetla temat lekcji i cele zawarte w sekcji „Wprowadzenie”, podsumowuje omawiany na lekcji materiał, wyjaśnia wątpliwości uczniów.

### **Praca domowa:**

1. Wykonaj ćwiczenia od 1 do 6 z sekcji „Sprawdź się”.
2. Dla chętnych: Wyszukaj informacje na temat wykorzystania inhibitorów enzymów w leczeniu chorób.

### **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.

### **Dodatkowe wskazówki metodyczne:**

- Uczniowie zapoznają się z multimediami w sekcji „Animacja” i przygotowują do niego pytania. Następnie zadają je sobie nawzajem, sprawdzając stopień przyswojenia jego treści.