KURS
„BIOLOGIA POD KLUCZ"

ENZYMY

Prezentacja jest chroniona prawnie przed kopiowaniem bez pisemnej zgody autora i stanowi „utwór" i w myśl Ustawy z dnia 4 lutego 1994 r. o prawie autorskim i prawach pokrewnych (Dz. U. z 1994 r., Nr 24, poz. 83 z późn. zm.).

PODSTAWA PROGRAMOWA 2025



1. Przedstawia charakterystyczne cechy budowy enzymu.
2. Wyjaśnia, na czym polega swoistość substratowa enzymu oraz opisuje katalizę enzymatyczną.
3. Przedstawia sposoby regulacji aktywności enzymów (aktywacja, inhibicja).
4. Wyjaśnia mechanizm sprzężenia zwrotnego ujemnego jako sposobu regulacji przebiegu szlaków metabolicznych.
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).

CZYM SĄ ENZYMY?

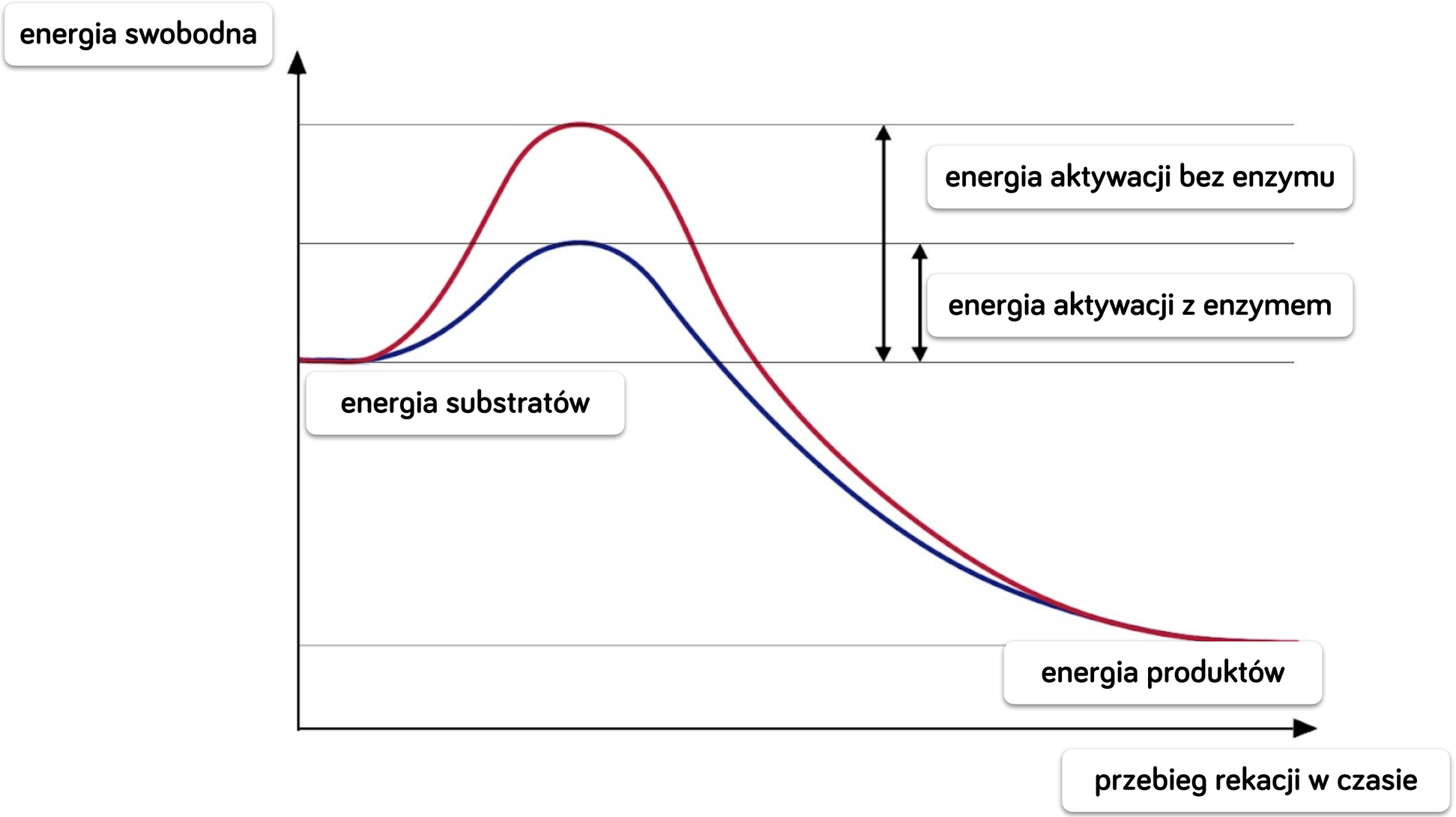


Enzymy to **białka** pełniące funkcje **katalityczne.**

Enzymy **przyśpieszają** reakcję chemiczną poprzez **obniżenie energii aktywacji reakcji.** Same w trakcie katalizowania reakcji **nie zużywają się.**

Energia aktywacji to energia niezbędna do zapoczątkowania reakcji i przekształcenia substratów w produkty.

ENZYMY A ENERGIA AKTYWACJI



BUDOWA ENZYMÓW



Enzymy zbudowane tylko z białka to **enzymy proste**.

Enzymy złożone składają się z:

- części **białkowej,** nazywanej **apoenzymem**
- części **niebiałkowej**, nazywanej **kofaktorem**;

Kofaktorem mogą być **jony metali**, które zawsze trwale są związane z enzymem.

Kofaktory będące cząsteczkami związków organicznych nazywamy **koenzymami**.

BUDOWA ENZYMÓW

Koenzym z apoenzymem może łączyć się luźno lub trwale.

Jeżeli połączenie jest **trwałe**, to mówimy o **grupie prostetycznej**, którą stanowi np. witamina H

Aby enzym składający się z części niebiałkowej i części białkowej mógł katalizować reakcję, obie części muszą tworzyć ze sobą **kompleks**.



CENTRUM AKTYWNE ENZYMU



Centrum aktywne to miejsce w enzymie, do którego przyłącza się substrat.

Każdy enzym posiada swoje centrum aktywne. Jest to „wgłębienie” w cząsteczce enzymu, które ma swój **charakterystyczny, przestrzenny kształt**. Zbudowane jest z fragmentu łańcucha polipeptydowego tworzącego enzym o odpowiednim pofałdowaniu.

Do centrum aktywnego enzymu przyłącza się więc tylko taki substrat, który przestrzennie będzie pasować do kształtu centrum aktywnego .

CENTRUM AKTYWNE ENZYMU

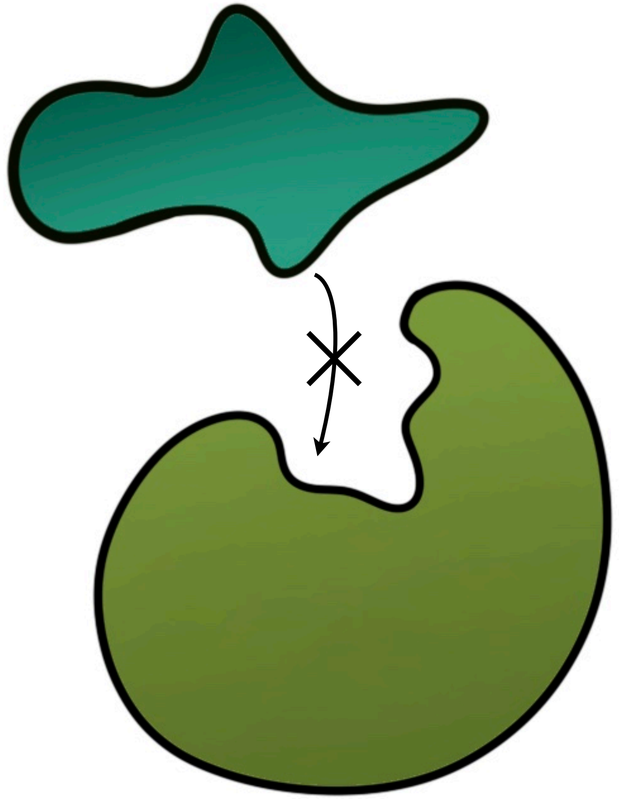
substrat przestrzennie pasujący do kształtu CA

substrat

enzym



substrat przestrzennie niepasujący do kształtu CA



CENTRUM AKTYWNE ENZYMU

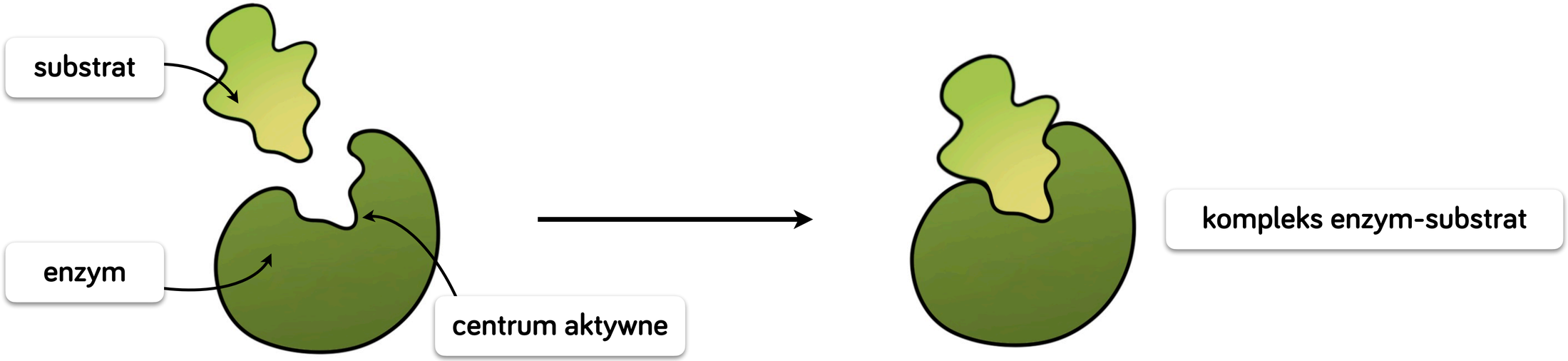


Zachowanie kształtu centrum aktywnego jest niezbędne do prawidłowego funkcjonowana enzymu.

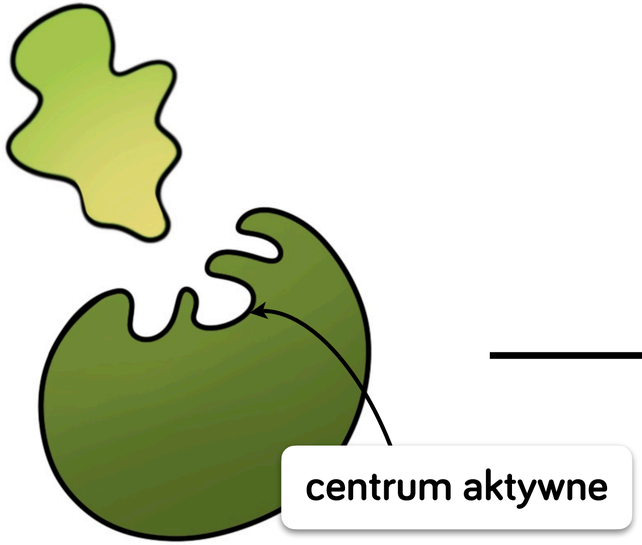
Zmiana tego kształtu, w wyniku **mutacji** lub działania **czynników fizyczno-chemicznych** powoduje **dezaktywację** enzymu, ponieważ substrat nie będzie przestrzennie pasował do zmienionego kształtu centrum aktywnego.

W wyniku **denaturacji** także dochodzi do unieczynnienia enzymu, ponieważ łańcuch polipeptydowy rozfałdowuje się i centrum aktywne w enzymie zanika.

CENTRUM AKTYWNE ENZYMU



ZMIANA KSZTAŁTU CENTRUM AKTYWNEGO



KOMPLEKS ENZYM-SUBSTRAT NIE POWSTAJE

BUDOWA ENZYMÓW – CENTRUM AKTYWNE



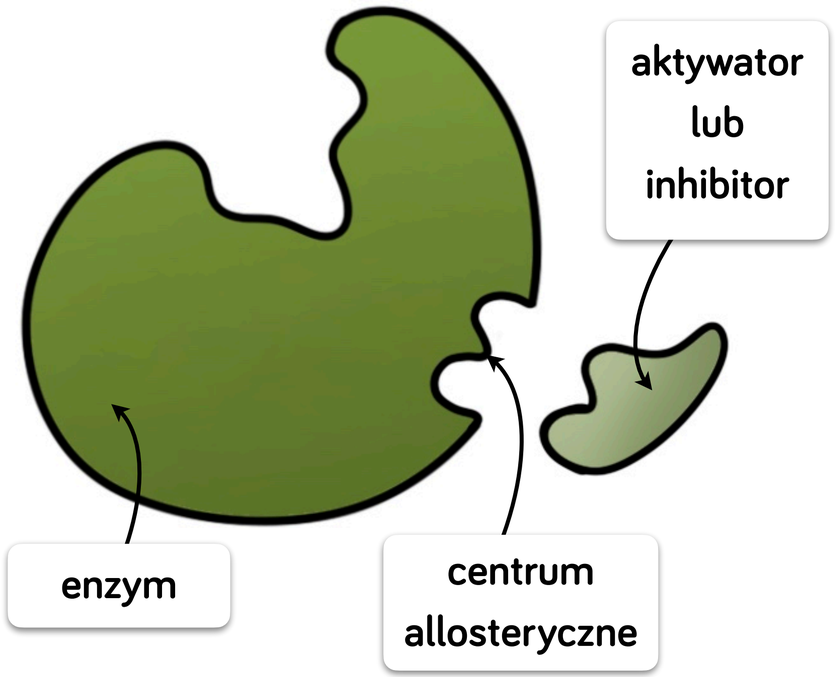
Przyłączenie substratu do centrum aktywnego enzymu skutkuje powstaniem **kompleksu enzym-substrat** (E-S). Pomiędzy enzymem a substratem tworzą się **słabe wiązania niekowalencyjne i oddziaływania**, na przykład:

- wiązania wodorowe,
- wiązania jonowe,
- oddziaływania hydrofobowe.

Powstanie kompleksu enzym-substrat jest bardzo ważne, ponieważ właśnie wtedy dochodzi do obniżenia energii aktywacji enzymu!

CENTRUM ALLOSTERYCZNE

Centrum allosteryczne odpowiada za przyłączenie **inhibitora**, który inaktywuje enzym lub **aktywatora**, który go aktywuje. Nie wszystkie enzymy posiadają centrum allosteryczne.



Do centrum allosterycznego nie przyłącza się substrat!

KATALIZA ENZYMATYCZNA

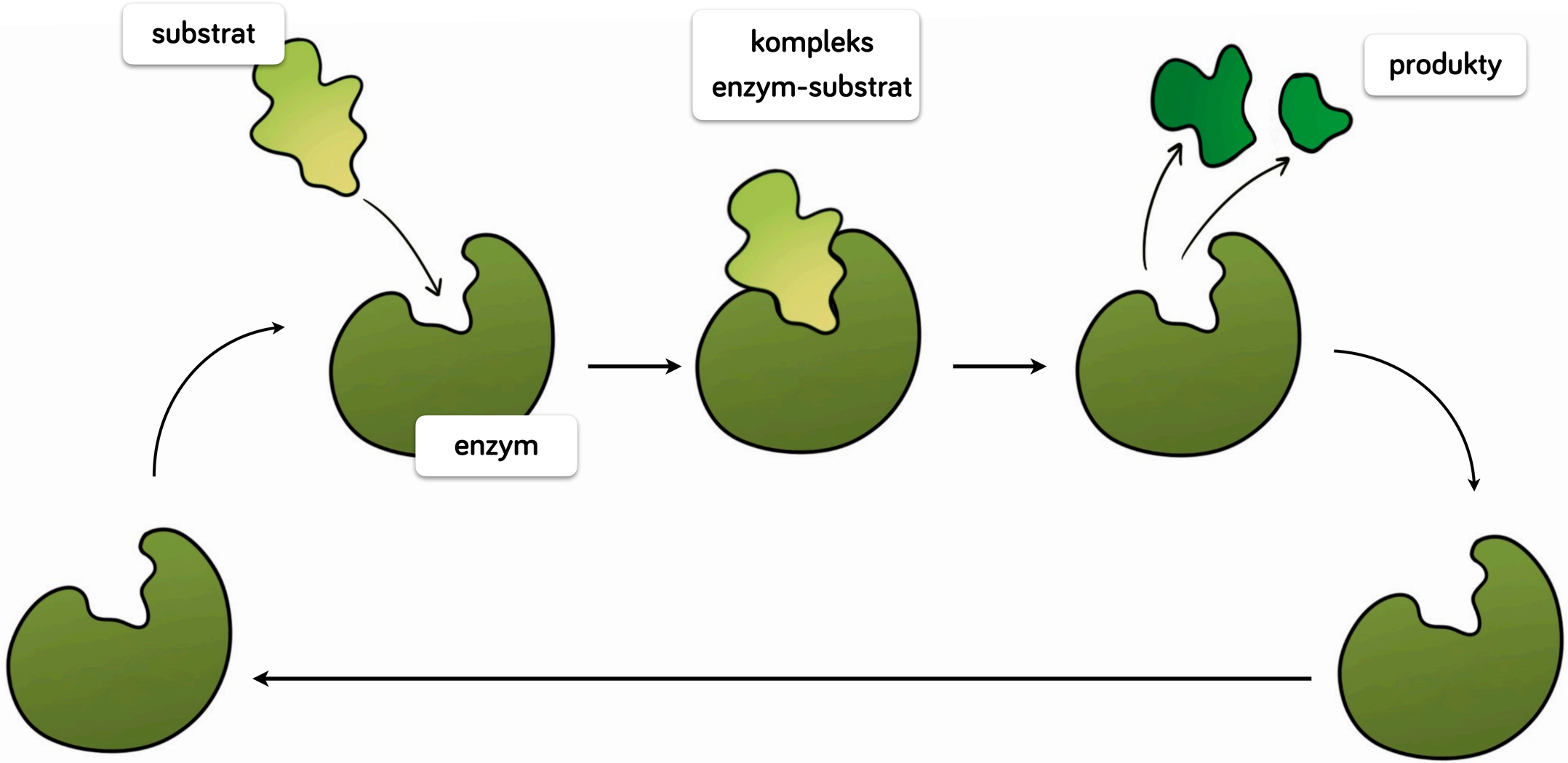
WŁAŚCIWOŚCI ENZYMÓW



Enzymy charakteryzują się następującymi właściwościami:

- **są swoiste wobec substratu** - oznacza to, że do *danego* enzymy przyłącza się *określony* substrat, który przestrzennie pasuje do centrum aktywnego enzymu
- **są swoiste wobec katalizowanej reakcji** - oznacza to, że *dany* enzym katalizuje *konkretną* reakcję, w wyniku której powstają określone produkty
- **nie zużywają się w przebiegu reakcji enzymatycznej** - po zakończeniu reakcji i odłączeniu produktów od enzymu, ten sam enzym może przyłączyć kolejny substrat

PRZEBIEG KATALIZY ENZYMATYCZNA



PRZEBIEG KATALIZY ENZYMATYCZNA

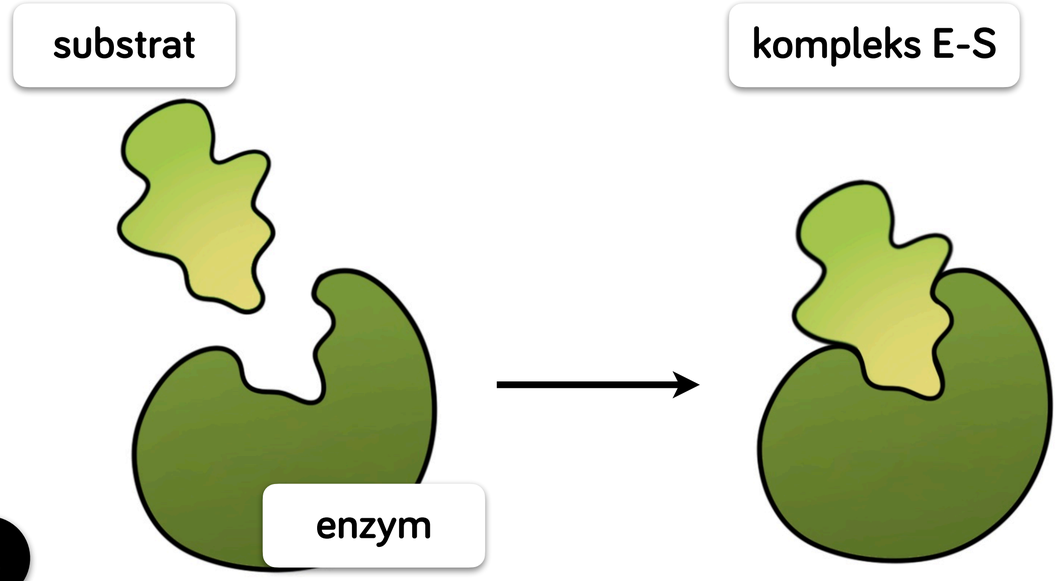


Powstały w wyniku reakcji **produkt odłącza się od enzymu**, ponieważ **ma mniejsze do niego powinowactwo niż substraty reakcji.**

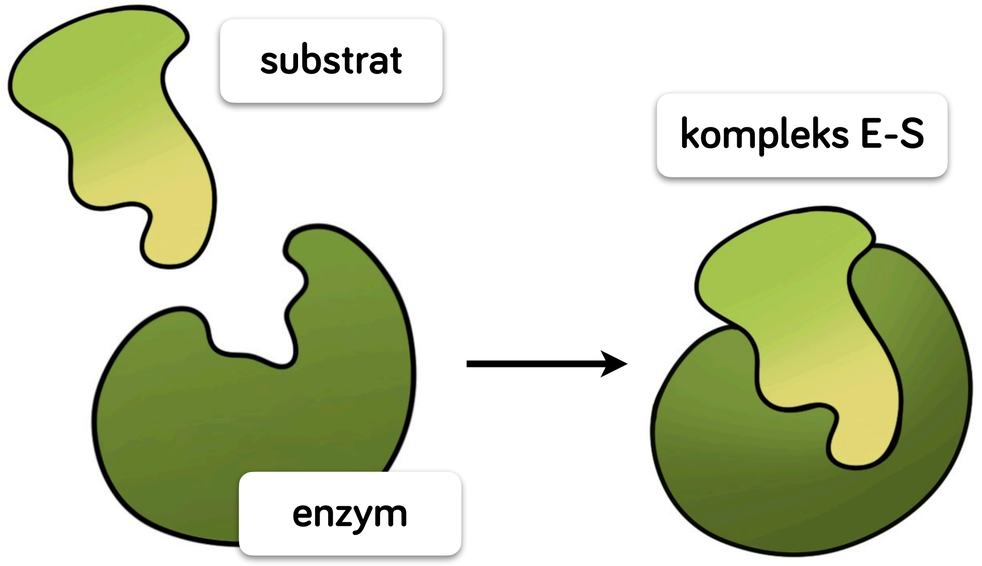
Cząsteczka enzymu **nie zużywa się i może ponownie związać się** z substratem tworząc nowy kompleks E-S.

TEORIE DZIAŁANIA ENZYMÓW

Dawniej panowało przekonanie, że substrat pasuje do centrum aktywnego jak **klucz do zamka (1.)**. Obecnie wykazano, że dopiero zbliżenie cząsteczki substratu do centrum aktywnego enzymu prowadzi do dopasowania kształtu centrum aktywnego. Model ten nazywa się **indukowanym dopasowaniem (2.)**.



1.



2.

TEORIE DZIAŁANIA ENZYMÓW



Model indukcyjnego dopasowania zakłada że:

- centrum aktywne enzymu i substrat **nie są do siebie idealnie dopasowane,**
- enzymy są zwykle dość elastyczne strukturalnie, ponieważ grupy boczne aminokwasów tworzące centrum aktywne **podlegają rearanżacjom przestrzennym,** ściśle dopasowując swe pozycje do wiązanego substratu, co dopiero umożliwia przeprowadzenie katalizy.

Można powiedzieć że substrat pasuje tak do centrum aktywnego jak **ręka do rękawiczki**.

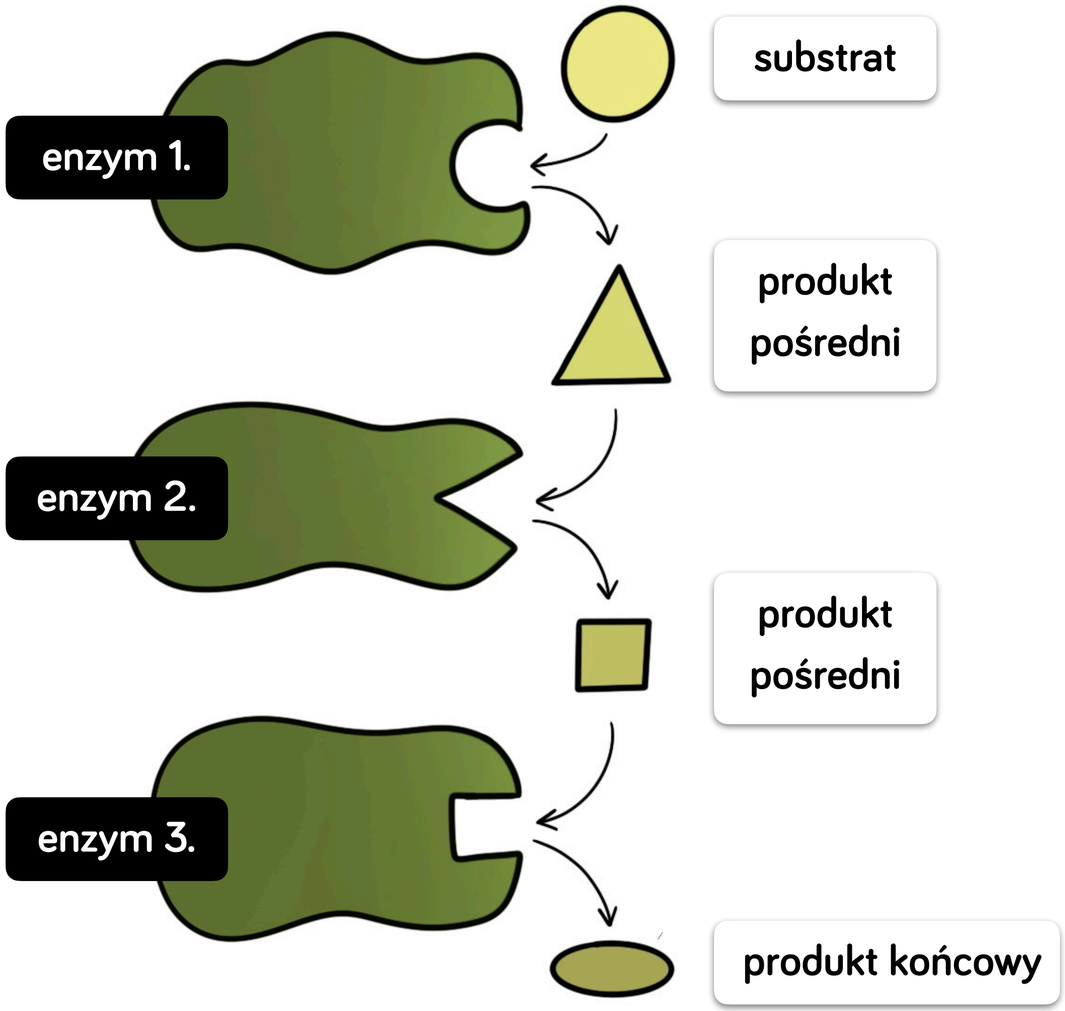
UJEMNE SPRZĘŻENIE ZWROTNE

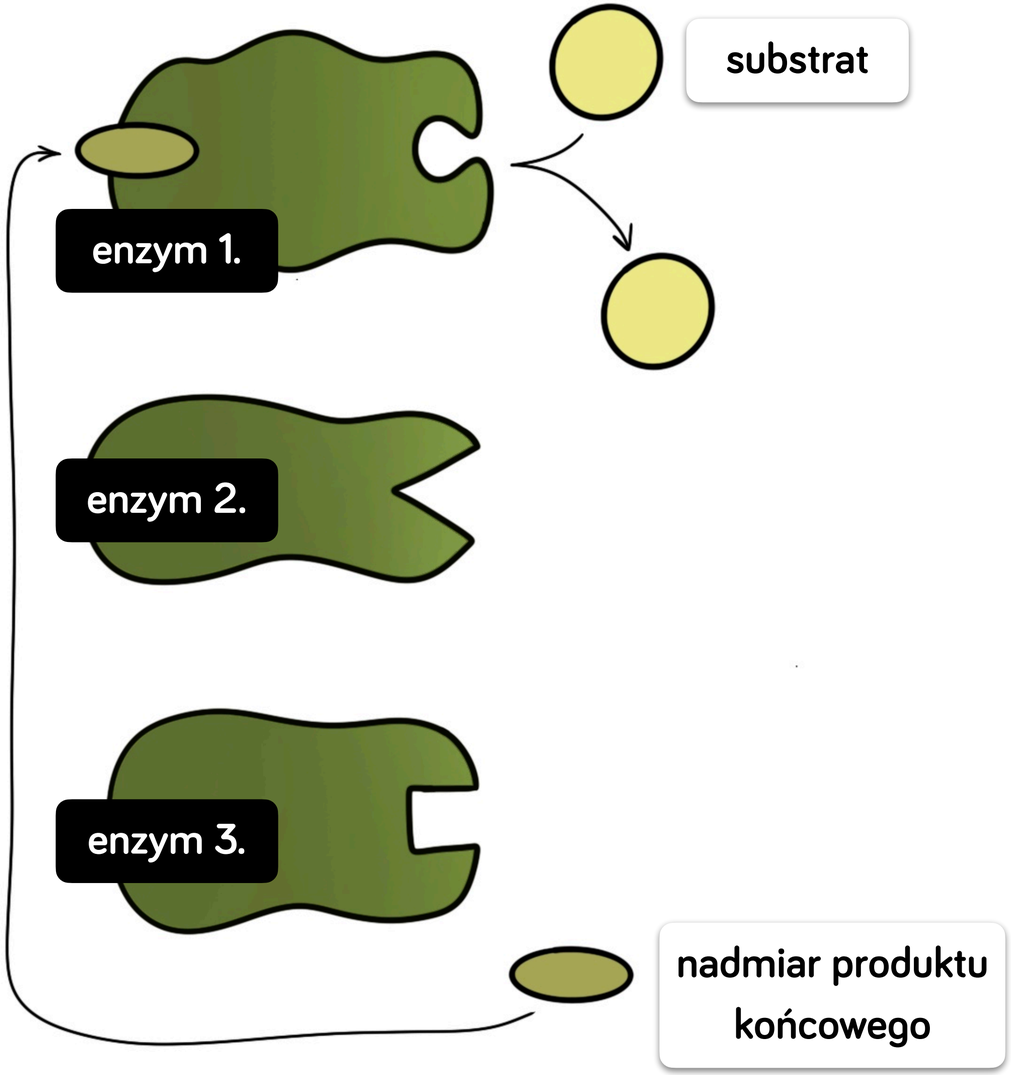


Kiedy w komórce syntetyzowana jest **zbyt duża ilość danego produktu**, to jego cząsteczki łączą się z **pierwszym enzymem szlaku** metabolicznego, co powoduje, że reakcja katalizowana przez ten enzym zostaje **zahamowana**, a przez to cały szlak **przestaje funkcjonować** i **produkt przestaje być wytwarzany**.

Mechanizm ten jest wyrazem **oszczędności** komórki. Nadmiar produktu **zapobiega jego gromadzeniu się** i pozwala komórce **zaoszczędzić energię**. Gdy nadmiar produktu zostanie wyczerpany, dochodzi do wznowienia aktywności szlaku metabolicznego.

UJEMNE SPRZĘŻENIE ZWROTNE





CZYNNIKI WPŁYWAJĄCE NA KATALIZĘ ENZYMATYCZNĄ



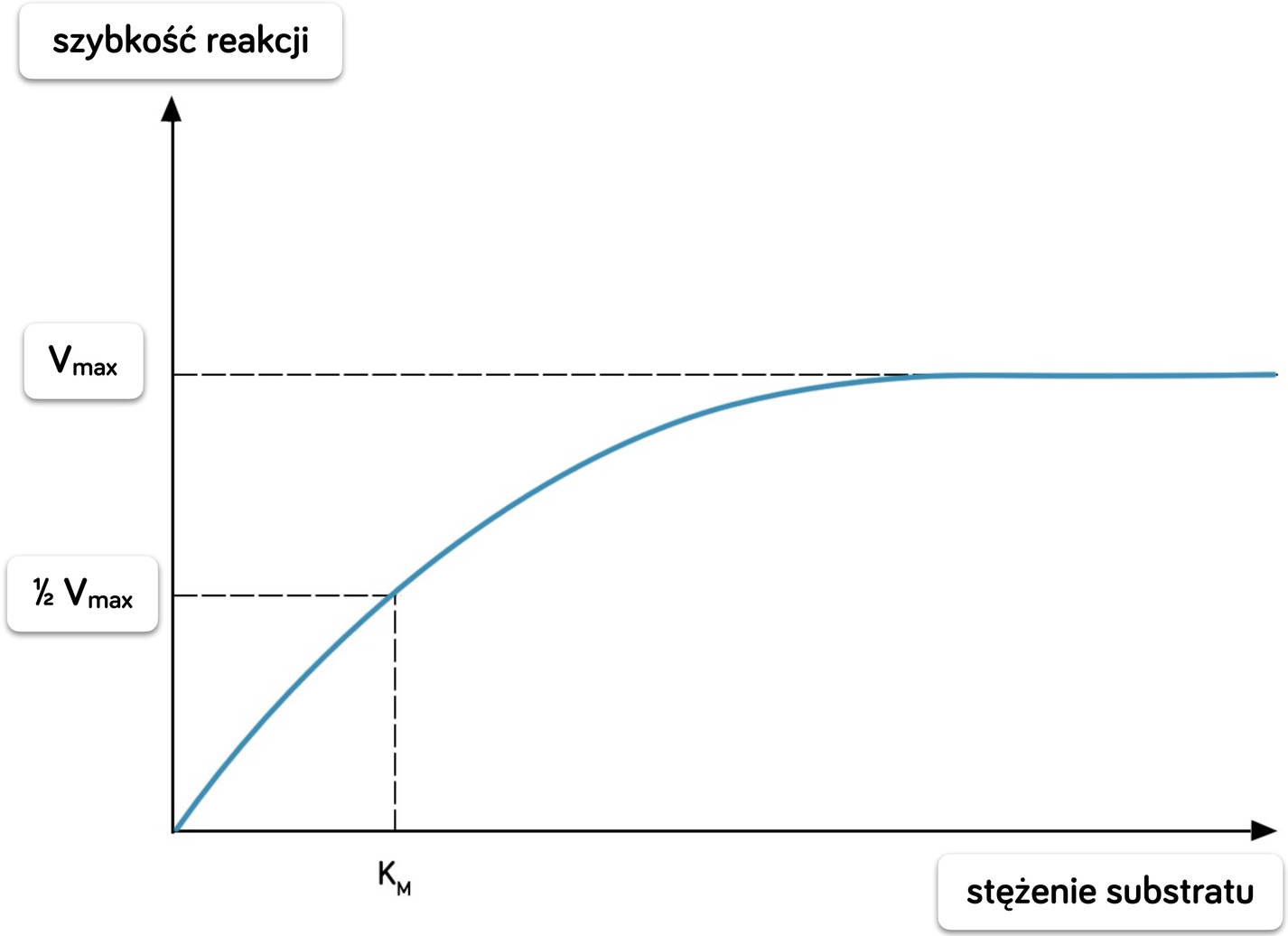
STĘŻENIE SUBSTRATU

TEMPERATURA

pH ŚRODOWISKA

AKTYWATORY I INHIBITORY

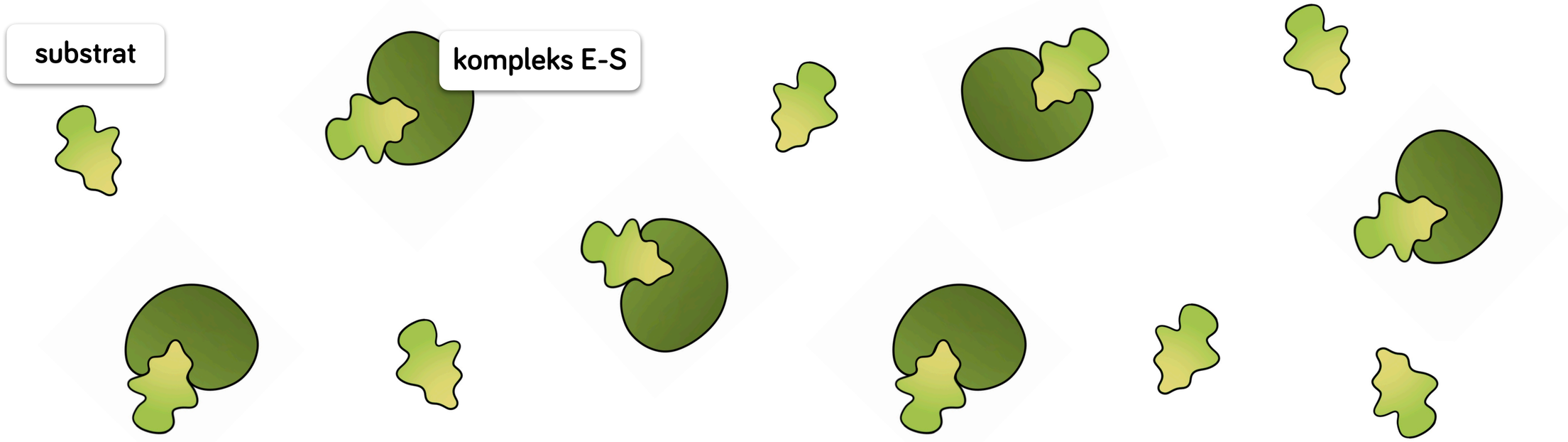
STĘŻENIE SUBSTRATU



Im **większe stężenie substratu**, tym szybkość reakcji katalizowanej przez dany enzym **wzrasta**, ale do pewnego momentu, którym jest osiągnięcie **szybkości maksymalnej** (V_{max}). Jest ona różna dla różnych enzymów.

STĘŻENIE SUBSTRATU

Po osiągnięciu V_{max}, **dalsze zwiększanie stężenia substratu nie powoduje wzrostu szybkości reakcji**, ponieważ wszystkie cząsteczki enzymów, które ją katalizują, są wysycone cząsteczkami substratów i pozostałe cząsteczki substratów nie mają gdzie się przyłączyć.



STAŁA MICHAELISA



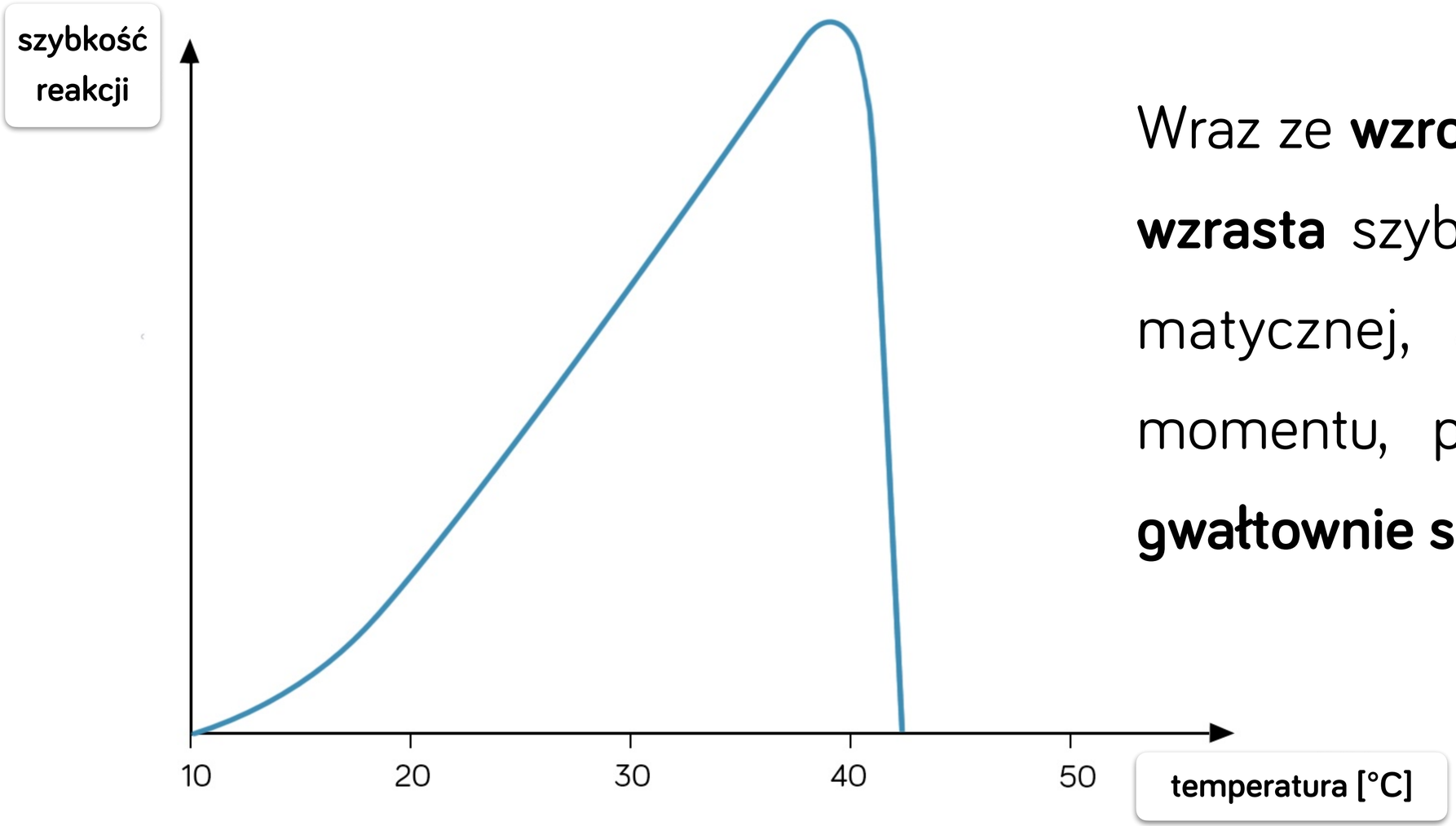
Takie **stężenie substratu**, przy którym szybkość reakcji enzymatycznej osiąga **połowę swojej szybkości maksymalnej**, określa się mianem **stałej Michaelisa** (K_M).

Stała ta jest charakterystyczna dla danego enzymu.

Opisuje ona **powinowactwo enzymu do substratu**, czyli łatwość powstawania kompleksu ES.

Im **mniejsza** wartość Km, tym **większe** jest powinowactwo enzymu do substratu, a w konsekwencji większa efektywność działania enzymu.

TEMPERATURA



Wraz ze **wzrostem temperatury** **wzrasta** szybkość reakcji enzymatycznej, ale do pewnego momentu, po czym zaczyna **gwałtownie spadać**.

TEMPERATURA



Przyczyną gwałtownego spadku szybkości reakcji enzymatycznej jest **denaturacja białek enzymatycznych**, prowadząca do zniszczenia struktury przestrzennej enzymu, przez co **traci on właściwości katalityczne.**

TEMPERATURA



W temperaturach do 40°C obowiązuje **reguła van't Hoffa**, która mówi że wraz ze wzrostem temperatury o 10°C szybkość reakcji wzrasta 2-4 – krotnie.

Bardzo efektywnie enzymy działają w fizjologicznej temperaturze ciała człowieka 36,6°C.

Niektóre enzymy na skutek przystosowań w budowie chemicznej **są zdolne do katalizy nawet w bardzo wysokich temperaturach** (np. enzymy bakterii termofilnych żyjących w gorących źródłach).

PH

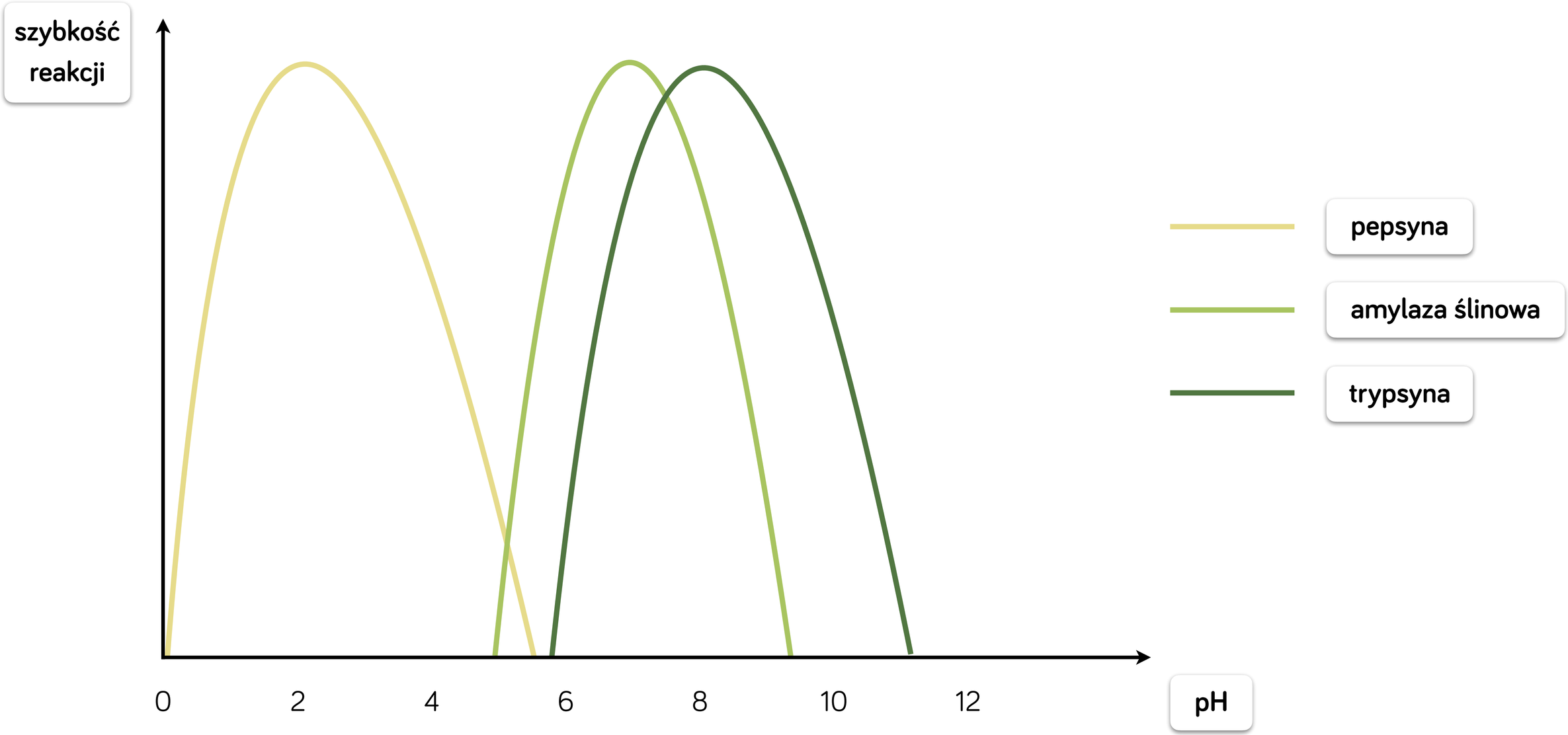


Większość enzymów wykazuje swoją maksymalną aktywność w **określonym przedziale pH**.

Bardzo niskie lub bardzo wysokie pH mogą prowadzić do **denaturacji** enzymu.

Większość enzymów komórkowych jest aktywnych w **pH około 7** (środowisko zbliżone do obojętnego), natomiast enzymy lizosomów są aktywne w środowisku lekko kwasowym o **pH około 5**. Enzymy trawienne działają zwykle w wąskim zakresie pH, poza którym znacznie obniża się ich aktywność.

PH


szybkość reakcji
pepsyna
amylaza ślinowa
trypsyna
0
2
4
6
8
10
12
pH

AKTYWATORY I INHIBITORY



Aktywatory enzymów są to związki (jony metali, inne enzymy), które umożliwiają zajście reakcji enzymatycznej lub zwiększają aktywność enzymatyczną.

Inhibitory enzymów to związki, które łącząc się z enzymami **hamują aktywność enzymów uniemożliwiając** zajście reakcji enzymatycznej.

INHIBICJA

I JEJ RODZAJE

CZYM JEST INHIBICJA?



Inhibicja jest to zjawisko **hamowania aktywności enzymów**. Substancje hamujące aktywność enzymu to **inhibitory**.

Każdą substancję, która zmniejsza szybkość reakcji katalizowanej przez enzym można uważać za inhibitor. W życiu codziennym inhibitory enzymów spotykamy w postaci leków, antybiotyków, środków konserwujących, toksyn i trucizn.

RODZAJE INHIBICJI

Wyróżnia się dwa rodzaje inhibicji: **nieodwracalną** i **odwracalną**. Inhibicja odwracalna dzieli się na **kompetycyjną** i **niekompetycyjną**.

W **inhibicji nieodwracalnej** inhibitor trwale przyłącza się do centrum aktywnego enzymu. Przykładem jest **penicylina**, wykorzystywana jako **antybiotyk** w leczeniu infekcji **bakteryjnych**. **Cząsteczki penicyliny nieodwracalnie blokują działanie enzymu - transpeptydazy**, która w komórkach bakteryjnych jest niezbędną podczas syntezy ich ścian komórkowych.



amoksycylina - pochodna penicyliny jest składnikiem antybiotyku Duomox

INHIBICJA KOMPETYCYJNA



Inhibitor kompetycyjny wykazuje podobieństwo strukturalne do substratu i konkuruje z nim (współzawodniczy) **o miejsce w centrum aktywnym enzymu.**

Przyłączenie do centrum aktywnego enzymu cząsteczki inhibitora uniemożliwia przyłączenie przez taki enzym cząsteczki substratu.

Inhibicję tę można znieść, zwiększając stężenie substratu.

INHIBICJA NIEKOMPETYCYJNA



Inhibitor niekompetycyjny nie jest podobny strukturalnie do substratu. Wiąże się z enzymem **w miejscu innym niż centrum aktywne**. To połączenie wywołuje zmianę kształtu centrum aktywnego enzymu i ogranicza możliwości przyłączenia się do niego substratu.

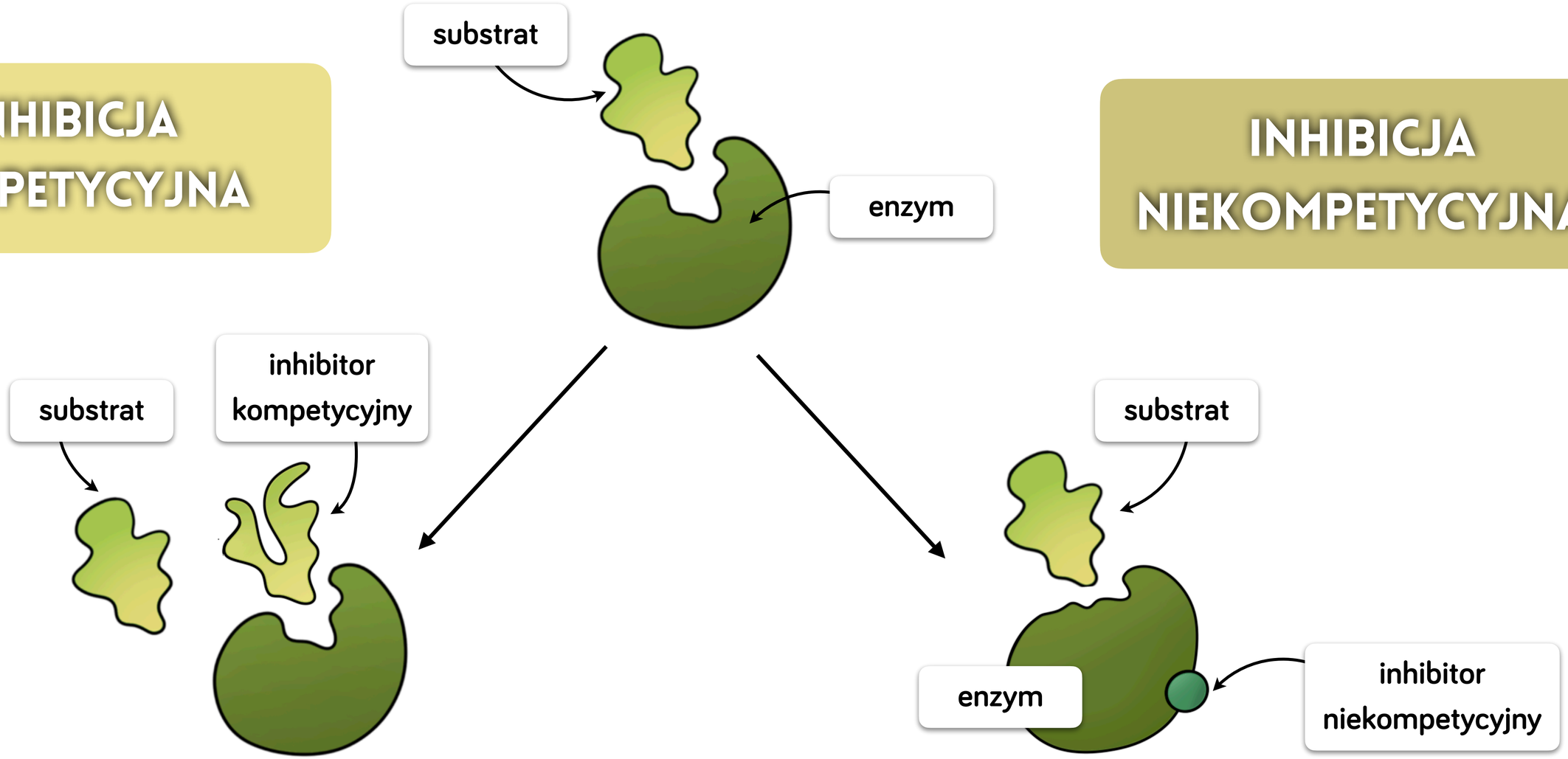
Inhibicję ogranicza usunięcie inhibitora ze środowiska; zwiększenie stężenia substratu nie znosi tego rodzaju inhibicji.

INHIBICJA KOMPETYCYJNA I NIEKOMPETYCYJNA



INHIBICJA KOMPETYCYJNA

INHIBICJA NIEKOMPETYCYJNA



DOŚWIADCZENIA Z UDZIAŁEM ENZYMÓW

WPŁYW TEMPERATURY



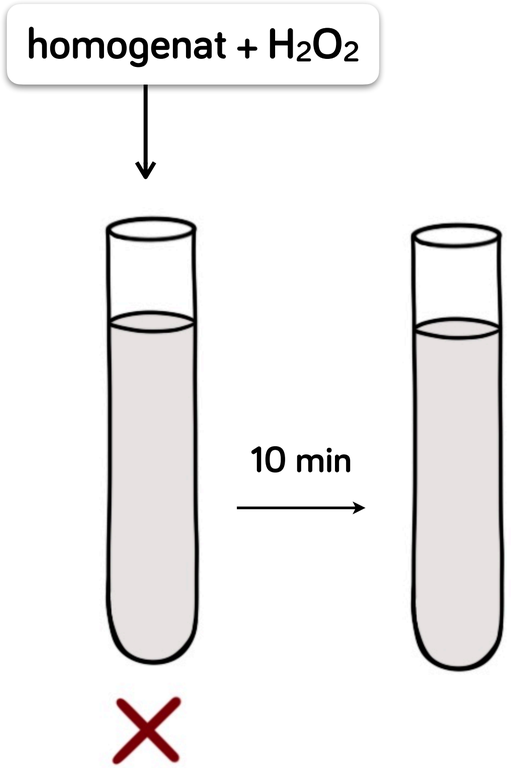
Problem badawczy: Jak wysoka i niska temperatura wpływają na aktywność enzymu katalazy?

Przebieg doświadczenia: W moździerzu roztarto 10 g surowej wątroby i dodano 100 ml wody destylowanej, otrzymując w ten sposób homogenat z wątroby. W trzech probówkach (A, B i C) umieszczono po 10 ml homogenatu:

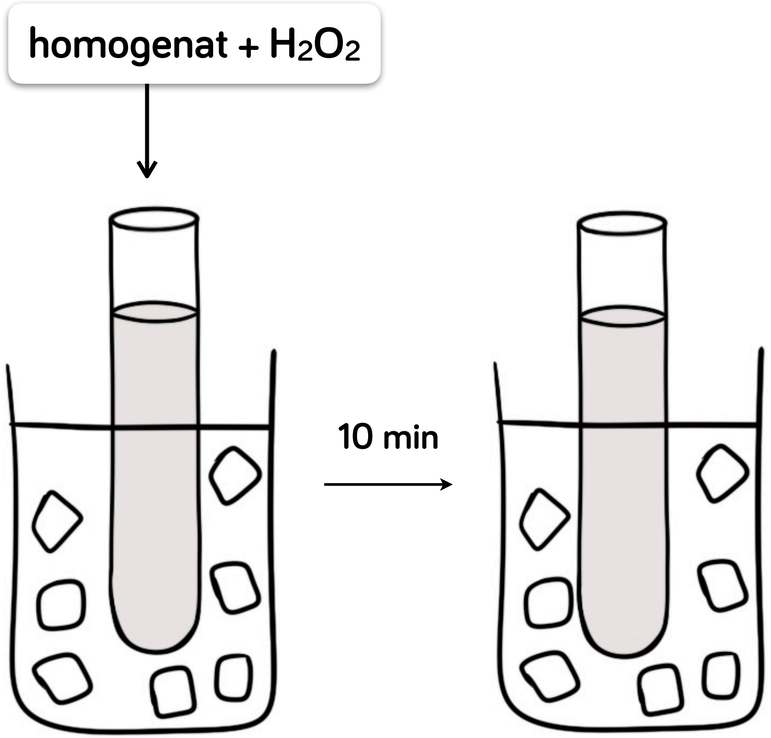
- probówkę A ogrzano aż do zagotowania zawartości, a następnie ostudzono,
- probówkę B umieszczono między kostkami lodu w zlewce,
- probówkę C pozostawiono w temperaturze pokojowej.

Następnie, do każdej z probówek dodano po 5 cm^3 wody utlenionej (3% roztwór H_2O_2). Po 10 minutach tylko w probówce C zaobserwowano wydzielanie się pęcherzyków gazu, w probówkach A oraz B pęcherzyki gazu nie powstały.

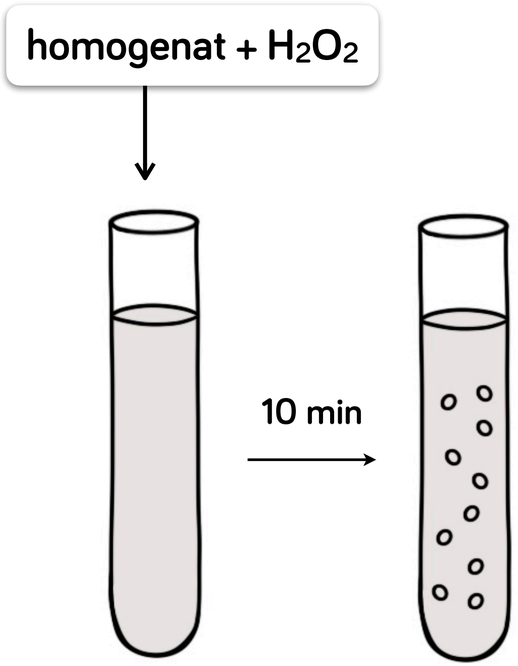
WPŁYW TEMPERATURY



A.



B.



C.

Wniosek: Wysoka, jak i niska temperatura obniżają aktywność enzymu - katalazy.

WPŁYW PH



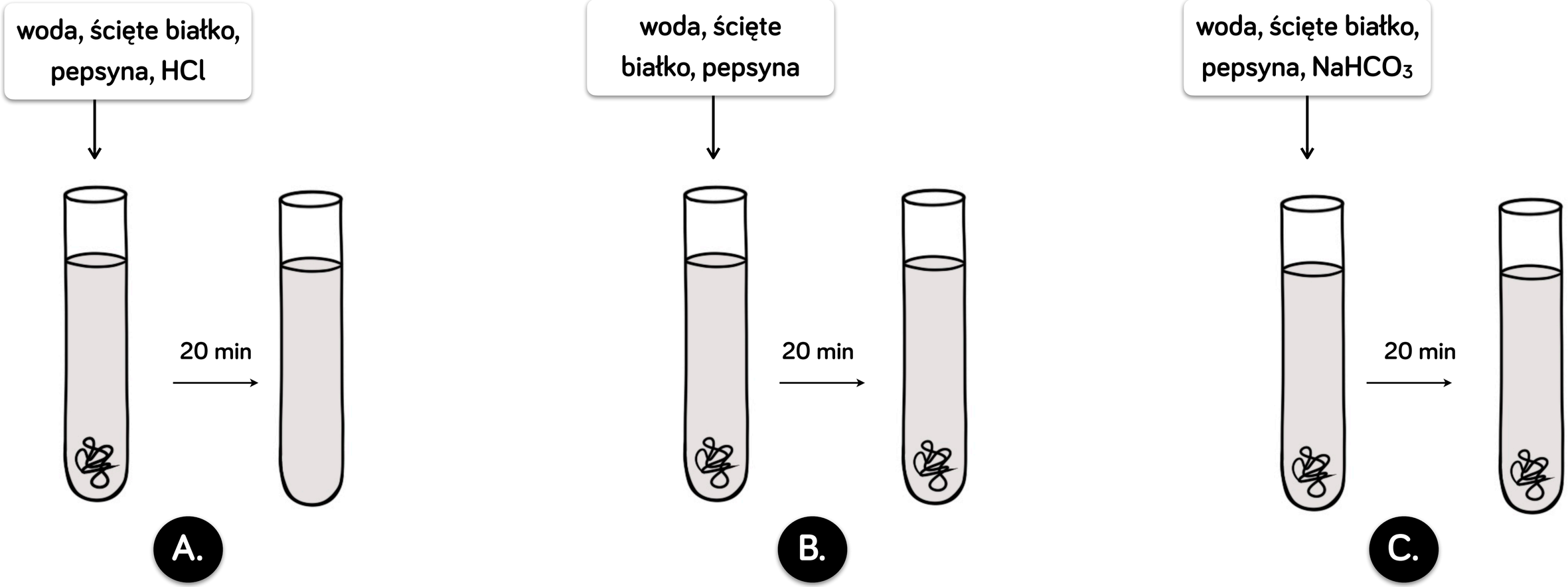
Problem badawczy: Jak pH środowiska wpływa na aktywność pepsyny?

Przebieg doświadczenia: Do trzech probówek (A, B, C) wlano taką samą objętość wodnego roztworu ludzkiej pepsyny o takim samym stężeniu oraz taką samą ilość ściętego (ugotowanego) białka jaja kurzego. Dodatkowo:

- do probówki A dodano 2 ml roztworu kwasu solnego,
- do probówki C dodano 2 ml roztworu wodorowęglanu sodu.

Po 20 minutach porównano zawartość probówek. Tylko w probówce A białka zostało rozłożone.

WPŁYW PH



Wniosek: Pepsyna jest aktywna wyłącznie w środowisku kwasowym / w środowisku o niskim pH.