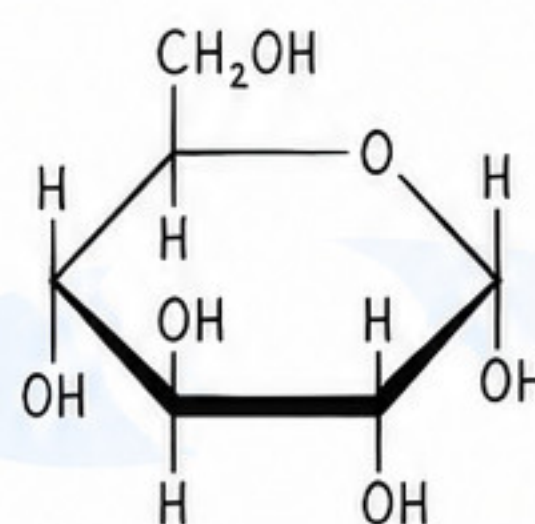


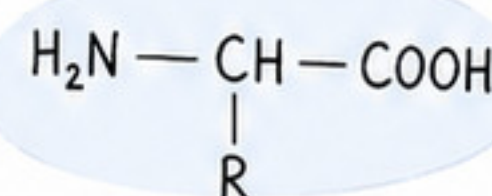
Biochemia Ilustrowana

Prosty, wizualny przewodnik
po podstawach biochemii i metabolizmu

Schematy, mapy myśli i najważniejsze
procesy w jednym miejscu



D-glukoza



aminokwas
(ogólny wzór)



DEFINICJA

Biochemia to nauka o związkach chemicznych obecnych w żywych organizmach oraz o reakcjach, które w nich zachodzą.



PROCES

Reakcje biochemiczne tworzą złożone szlaki metaboliczne, które umożliwiają przepływ materii i energii.



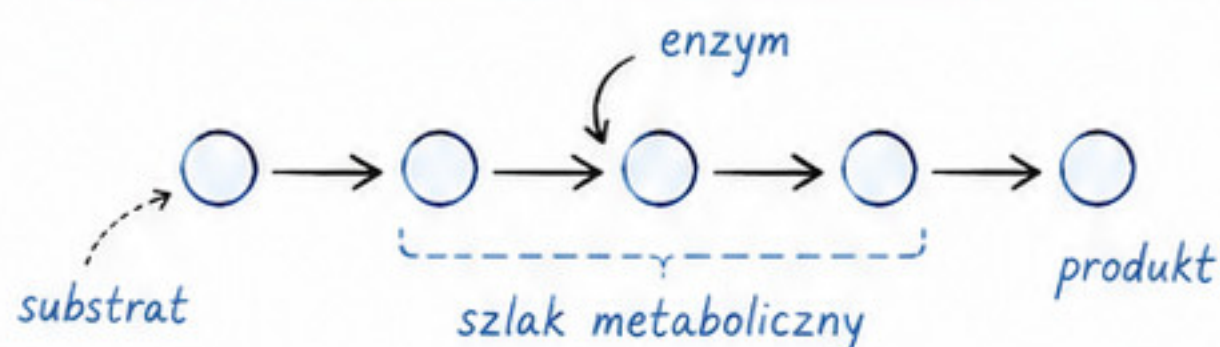
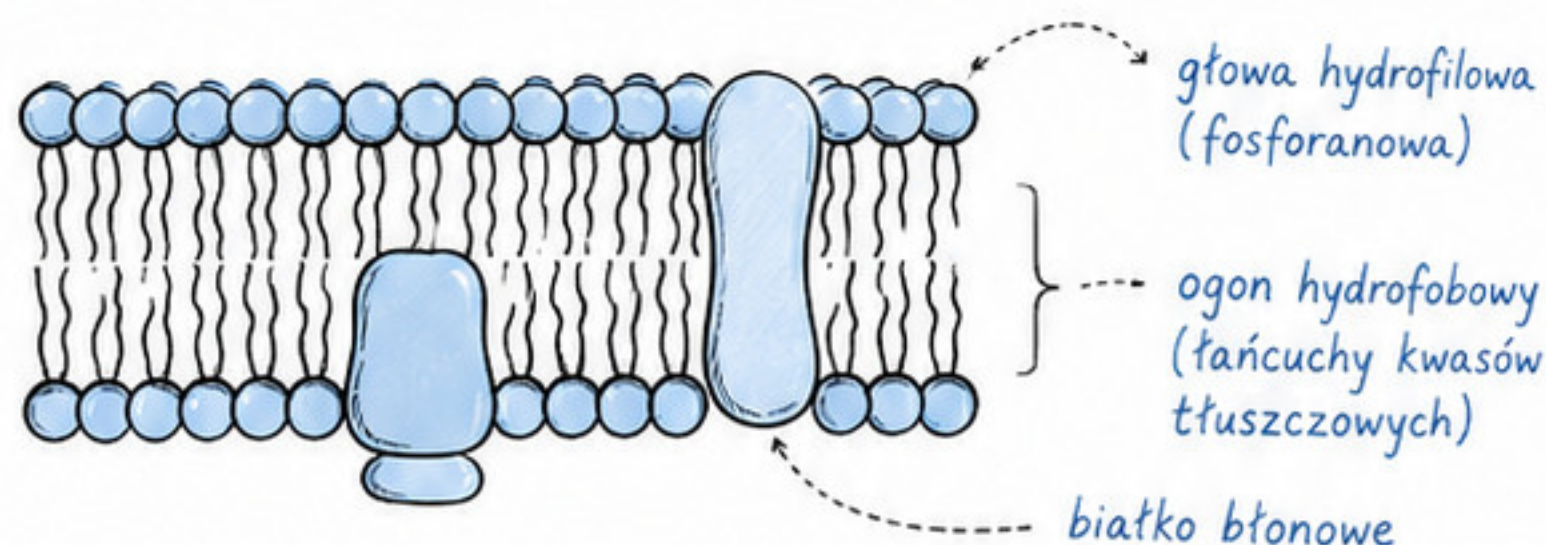
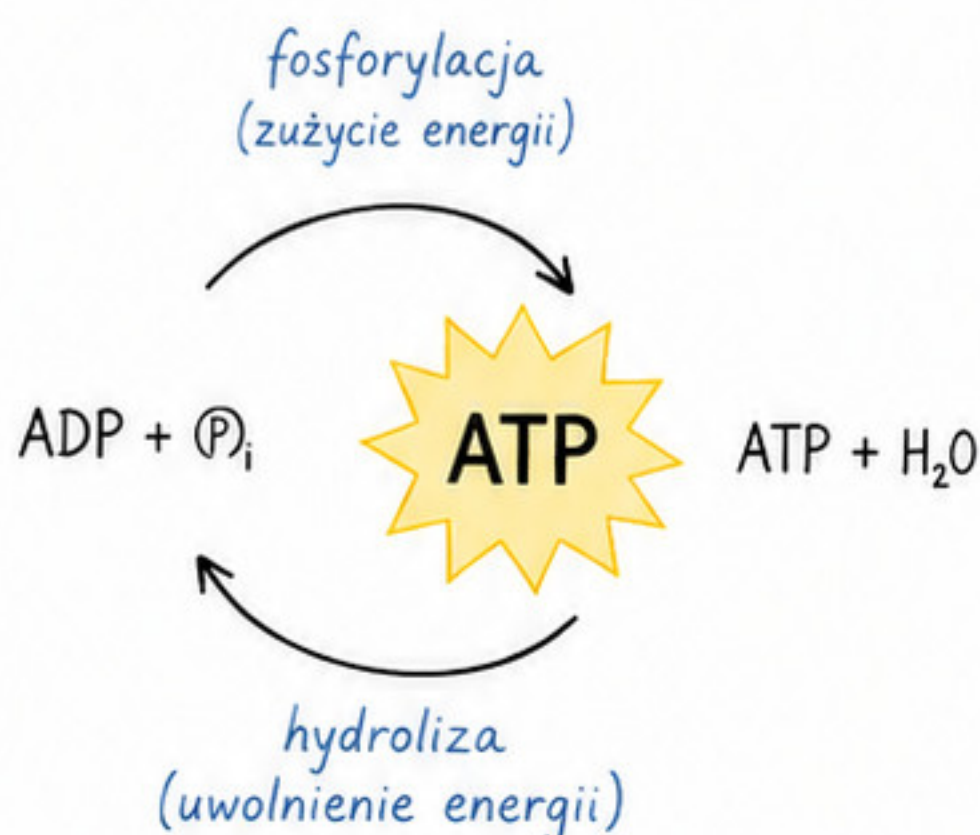
FUNKCJA / EFEKT

Utrzymanie życia, wzrost, naprawa, odporność oraz adaptacja do zmieniających się warunków.



WAŻNE WYJĄTKI

Biochemia rządzi się zasadami, ale zawsze istnieją wyjątki – warto je znać i rozumieć kontekst.





Prawa autorskie

© Biochemia Ilustrowana. Wszelkie prawa zastrzeżone.



Materiał ma charakter edukacyjny.

Zawarte treści mają na celu wspierać zrozumienie podstaw biochemii w przystępny sposób.



Dozwolony jest wyłącznie użytek własny nabywcy.

Materiały przeznaczone są do osobistej nauki i nie mogą być wykorzystywane komercyjnie.



Nie wolno kopiować, odsprzedawać, udostępniać ani rozpowszechniać całości lub fragmentów bez zgody autora lub wydawcy.

Dotyczy to zarówno formy elektronicznej, jak i drukowanej.



Materiał wspiera naukę i zrozumienie.

Nie zastępuje samodzielnej nauki, krytycznego myślenia ani konsultacji z wiarygodnymi źródłami.

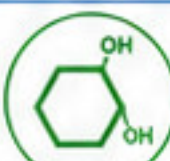
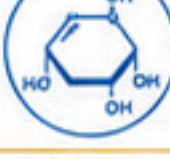
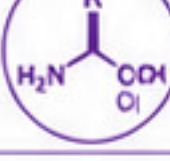


Szanuj pracę autora. Korzystaj odpowiedzialnie i wspieraj rozwój edukacyjnych materiałów dla społeczności uczących się.



Dziękujemy za zaufanie i życzymy owocnej nauki!

Spis treści

	00 Okładka	00
	01 Prawa autorskie	01
	02 Spis treści	02
	03 Wprowadzenie	03
	Moduł 01 — Fundamenty biochemii	04–10
	Moduł 02 — Węglowodany	11–15
	Moduł 03 — Lipidy	16–20
	Moduł 04 — Białka i aminokwasy	21–27
	Moduł 05 — Enzymy i witaminy	28–35
	Moduł 06 — Kwasy nukleinowe	36–41
	Moduł 07 — Oddychanie komórkowe i fermentacja	42–46
	Moduł 08 — Glikoliza	47–51
	Moduł 09 — Cykl Krebsa i łańcuch oddechowy	52–57
	Moduł 10 — Metabolizm glukozy	58–61
	Moduł 11 — Metabolizm lipidów	62–65
	Moduł 12 — Metabolizm aminokwasów i białek	66–69

Wprowadzenie

Biochemia Ilustrowana to zestaw przejrzystych, wizualnych notatek, które pomagają **zrozumieć** kluczowe procesy i mechanizmy biochemiczne.

Każda strona łączy schematy, kolory i krótkie opisy, aby **ułatwić naukę, zapamiętywanie i szybkie powtórki**.



Dla kogo jest ten materiał?

- dla studentów kierunków medycznych, biologicznych i pokrewnych
- dla osób przygotowujących się do egzaminów
- dla każdego, kto chce zrozumieć biochemię w sposób logiczny i uporządkowany



Jak z niego korzystać?

- używaj materiału do nauki na bieżąco lub do powtórek
- łącz z wykładami i podręcznikiem – tu znajdziesz **esencję!**
- wracaj do trudniejszych tematów z map podsumowujących
- ucz się aktywnie: notuj, rysuj, zadawaj pytania



Jak czytać strony?

- zacznij od krótkiego wprowadzenia (w górnej części strony)
- przeanalizuj schemat – zwróć uwagę na kolory i symbole
- przeczytaj opisy w kolorowych ramkach
- na końcu utrwal wiedzę dzięki mapie podsumowującej

System kolorów

Każdy kolor ma swoje znaczenie – dzięki temu szybko odnajdziesz kluczowe informacje.



ŻÓŁTY

= definicje



NIEBIESKI

= procesy i struktury



ZIELONY

= funkcje i efekty



RÓŻOWY/CZERWONY

= ważne wyjątki lub inhibitory

3 kroki skutecznej nauki



1 Przeczytaj stronę

Zrozum definicje i najważniejsze pojęcia.



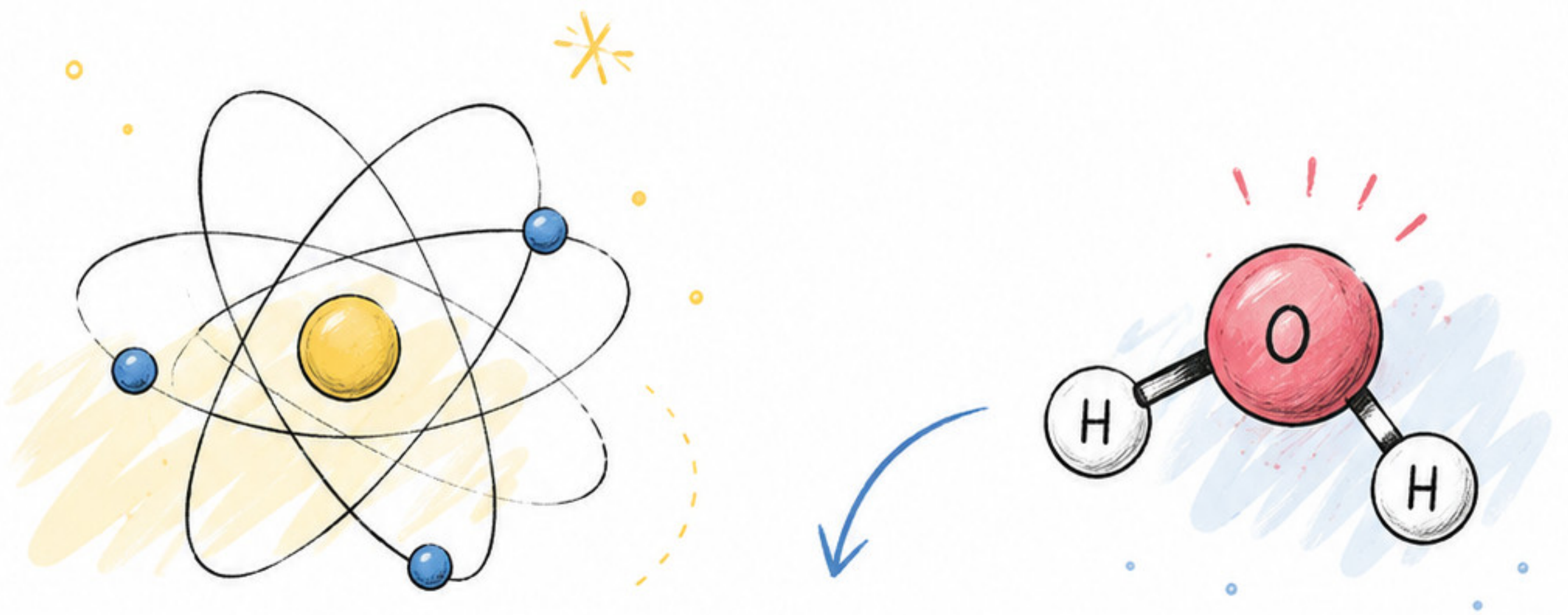
2 Przeanalizuj schemat

Zobacz powiązania między elementami.



3 Powtórz z mapy podsumowującej

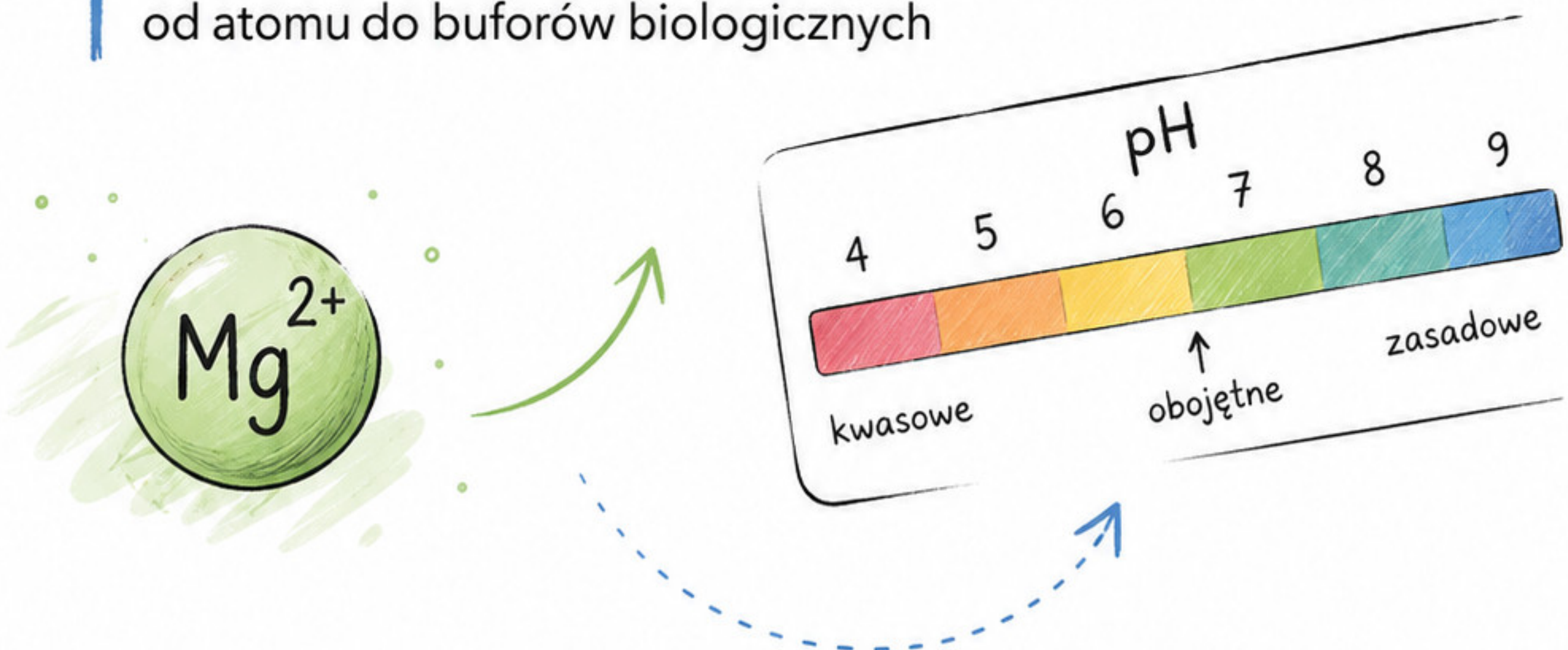
Utrwal kluczowe informacje całościowo.



MODUŁ 01

Fundamenty biochemii

Chemiczne podstawy życia —
od atomu do buforów biologicznych



Czym właściwie jest biochemia?



DEFINICJA

Biochemia to nauka, która bada **substancje chemiczne** oraz **reakcje chemiczne** zachodzące w organizmach żywych.



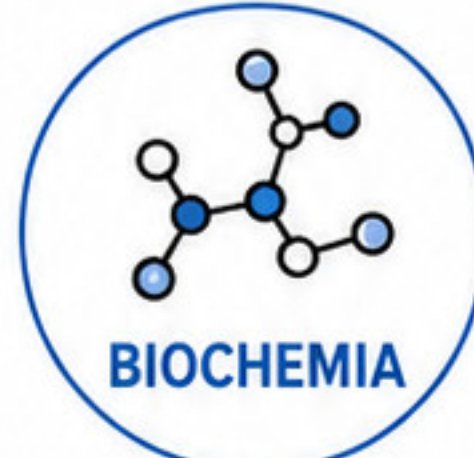
BIOLOGIA

+



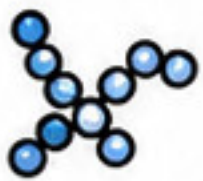
CHEMIA

=



BIOCHEMIA

CO BADA BIOCHEMIA?



- **BIOMOLEKUŁY** – budowa, właściwości i funkcje białek, węglowodanów, lipidów i kwasów nukleinowych.



- **ENZYMY** – biokatalizatory, które przyspieszają reakcje zachodzące w organizmach.



- **METABOLIZM** – całokształt reakcji chemicznych prowadzących do syntezy i rozkładu związków.



- **PRZEPŁYW INFORMACJI GENETYCZNEJ** – od DNA do RNA i białka; regulacja ekspresji genów.



- **PRZEMIANY ENERGII** – pozyskiwanie, magazynowanie i wykorzystywanie energii w komórce.



DLACZEGO TO WAŻNE?

Zrozumienie procesów biochemicznych pozwala lepiej dbać o zdrowie i rozwijać wiele dziedzin nauki i życia codziennego.



ZDROWIE – zrozumienie procesów życiowych pomaga w utrzymaniu dobrej kondycji i zapobieganiu chorobom.



ŻYWIENIE – wiedza o składnikach pokarmowych i ich przemianach w organizmie.



MEDYCYNĄ – podstawa działania leków, terapii i nowych metod leczenia.



DIAGNOSTYKA LABORATORYJNA – analiza związków biochemicznych w próbkach pomaga w stawianiu trafnych rozpoznań.

BIOCHEMIA W UJĘCIU CAŁOŚCIOWYM

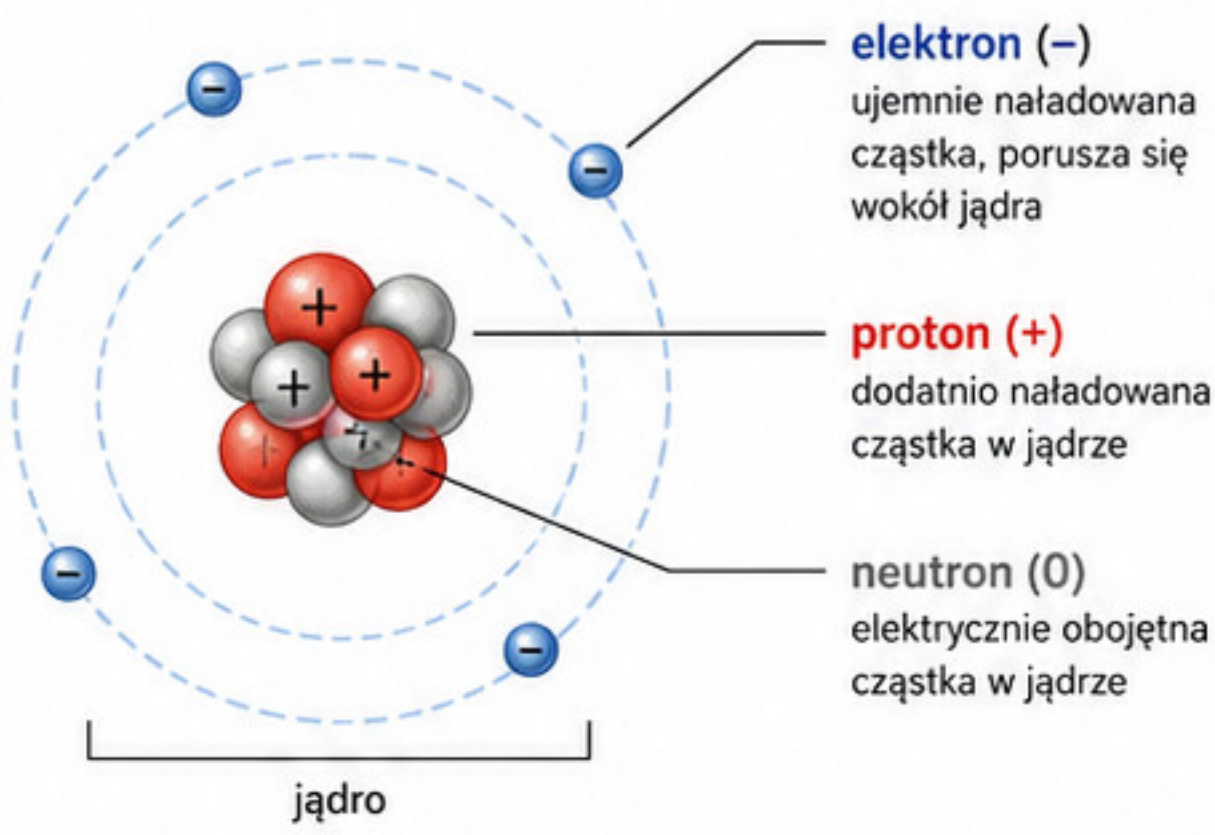


PAMIĘTAJ! Życie to chemia w działaniu. Biochemia pokazuje, jak delikatne cząsteczki tworzą złożone procesy podtrzymujące życie.

Atom, cząsteczka i wiązania chemiczne

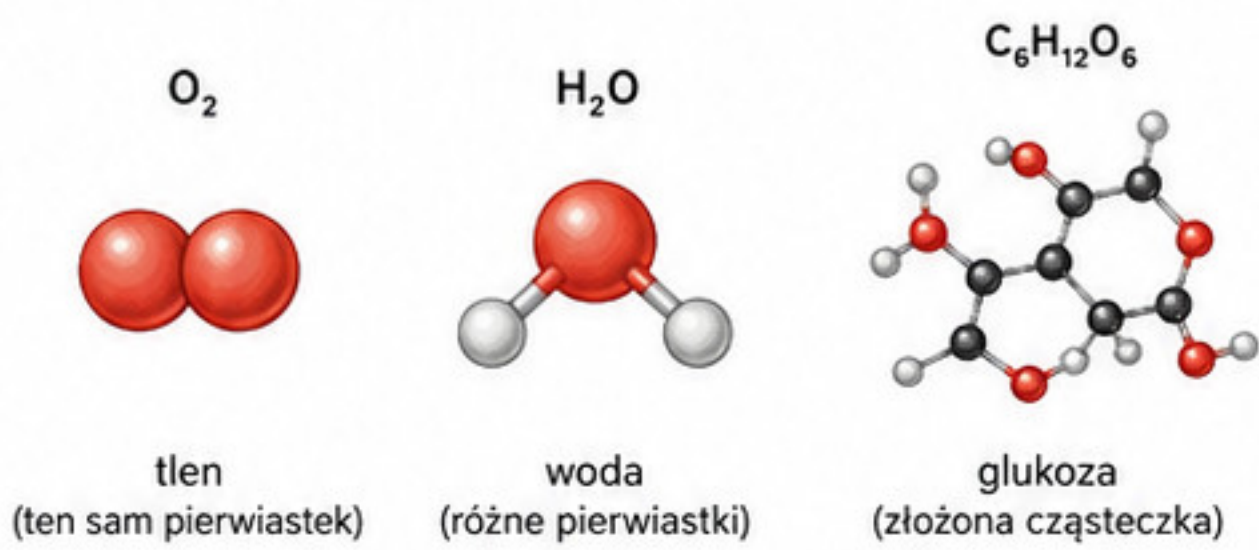
ATOM – podstawowy składnik materii

Atom składa się z małego, gęstego jądra i elektronów poruszających się wokół niego.



CZĄSTECZKA – połączenie atomów

Cząsteczka to grupa dwóch lub więcej atomów połączonych wiązaniami chemicznymi. Może składać się z takich samych lub różnych pierwiastków.



WIĄZANIA CHEMICZNE – co łączy atomy?

Wiązania chemiczne powstają, gdy atomy oddziałują ze sobą w celu osiągnięcia większej stabilności (np. zapełnienia powłok elektronowych). W biologii kluczowe są trzy typy wiązań.

RODZAJ WIĄZANIA	NA CZYM POLEGA?	PRZYKŁAD BIOLOGICZNY (I DLACZEGO TO WAŻNE)
WIĄZANIE KOWALENCYJNE 	Atomy (najczęściej niemetale) dzielą się parami elektronów walencyjnych. Powstaje silne, stabilne połączenie. └ dzielenie się elektronami	W cząsteczkach organicznych: np. węgiel w białkach, lipidach, cukrach. Zapewnia trwałą strukturę szkieletu biomolekuł.
WIĄZANIE JONOWE 	Elektron jest przenoszony z jednego atomu na drugi. Powstają jony o przeciwnych ładunkach, które przyciągają się. 	Sole mineralne i elektrolity, np. $NaCl$, K^+ , Ca^{2+} . Niezbędne do przewodnictwa nerwowego, skurczu mięśni, utrzymania równowagi osmotycznej i pH.
WIĄZANIE WODOROWE 	Przyciąganie między atomem wodoru (związanym kowalencyjnie z O, N lub F) a wolną parą elektronową na atomie elektroujemnym. To słabe, krótkotrwałe oddziaływanie. 	Struktura wody, helisy DNA, fałdowanie białek (np. w α-helisie i β-harmonijce). Decyduje o kształcie i funkcji wielu biomolekuł.

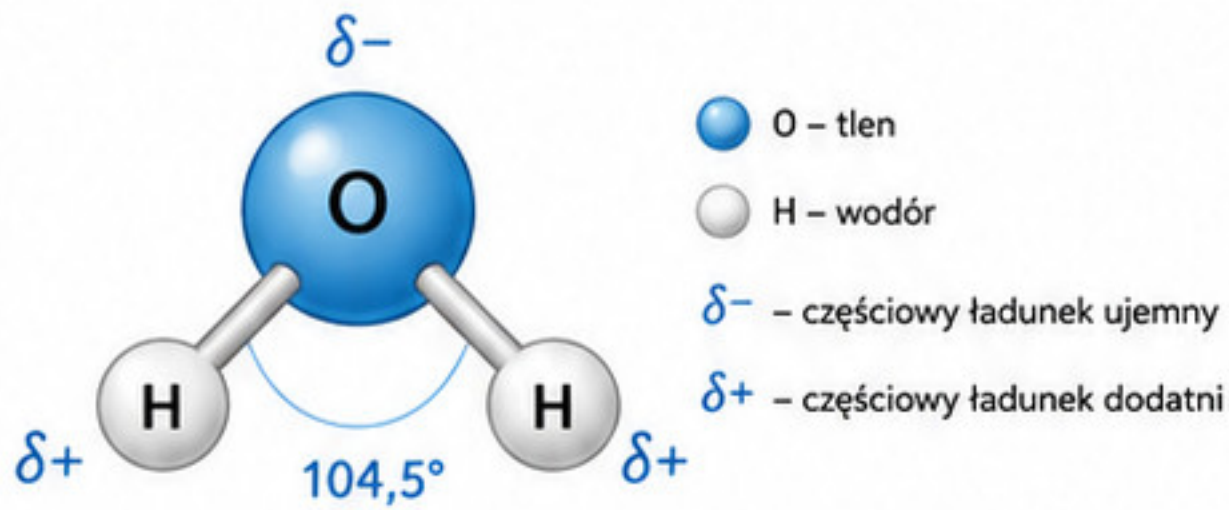


SŁABE ODDZIAŁYWANIA – MAŁA SIŁA, WIELKIE ZNACZENIE

Wiązania wodorowe oraz inne słabe oddziaływania (np. oddziaływania hydrofobowe, van der Waalsa) są znacznie słabsze od wiązań kowalencyjnych i jonowych, ale odgrywają kluczową rolę w biologii. Pozwalają biomolekułom przyjmować odpowiednie kształty, tymczasowo się łączyć i dynamicznie zmieniać, co jest niezbędne do życia.

Woda – niezwykła cząsteczka życia

CZĄSTECZKA WODY (H₂O)



WODA JEST POLARNA

Tlen jest bardziej elektroujemny niż wodór, dlatego przyciąga elektrony silniej. Powstają częściowe ładunki: tlen ma ładunek częściowo ujemny (δ⁻), a wodory – częściowo dodatni (δ⁺). Dzięki temu cząsteczki wody tworzą wiązania wodorowe i wykazują wyjątkowe właściwości.

NAJWAŻNIEJSZE WŁAŚCIWOŚCI WODY

- **1. DOBRY ROZPUSZCZALNIK**
Dzięki polarności woda rozpuszcza wiele substancji jonowych i polarnych, co pozwala na ich transport i udział w reakcjach.
- **2. WYSOKA POJEMNOŚĆ CIEPLNA**
Woda wolno się nagrzewa i wolno stygnie. Stabilizuje temperaturę organizmów i środowiska wodnego.
- **3. KOHEZJA I ADHEZJA**
Cząsteczki wody silnie przyciągają się nawzajem (kohezja) oraz do innych powierzchni (adhezja). Umożliwia to m.in. wznoszenie się wody w naczyniach roślinnych.
- **4. UDZIAŁ W REAKCJACH**
Woda jest substratem i produktem wielu reakcji biochemicznych, np. hydrolizy i kondensacji.
- **5. TRANSPORT SUBSTANCJI**
Woda stanowi środowisko transportu składników odżywczych, gazów, hormonów i produktów przemiany materii w organizmach.



ZAPAMIĘTAJ!

Nie wszystkie substancje dobrze rozpuszczają się w wodzie. Związki niepolarne (np. tłuszcze, oleje) są w wodzie praktycznie nierozpuszczalne.

MAPA WŁAŚCIWOŚCI I ZNACZENIA

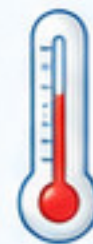
WŁAŚCIWOŚĆ

ZNACZENIE BIOLOGICZNE



Dobry rozpuszczalnik

Umożliwia rozpuszczanie soli, cukrów, aminokwasów i wielu innych związków; warunkuje transport i przebieg reakcji biochemicznych.



Wysoka pojemność cieplna

Utrzymuje stabilną temperaturę organizmów i środowiska; chroni przed nagłymi zmianami temperatury.



Kohezja i adhezja

Umożliwia wznoszenie się wody w roślinach; tworzy napięcie powierzchniowe, ważne dla drobnych organizmów wodnych.



Udział w reakcjach

Jest niezbędna w reakcjach hydrolizy, kondensacji oraz wielu procesach metabolicznych.



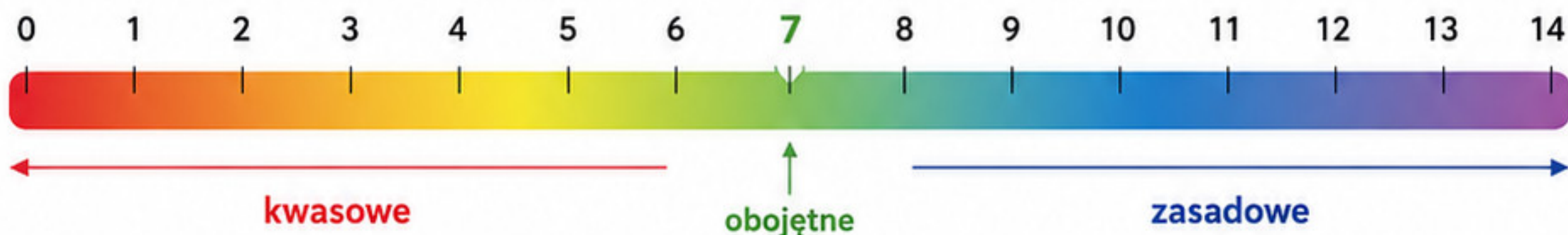
Transport substancji

Umożliwia przemieszczanie składników odżywczych, gazów, hormonów i produktów przemiany materii w organizmach.

pH i bufory biologiczne



SKALA pH



KWAS

Substancja, która w wodzie oddaje protony (H^+). Zwiększa stężenie H^+ , obniżając pH.



ZASADA

Substancja, która w wodzie wiąże protony (H^+) lub uwalnia jony OH^- . Zmniejsza stężenie H^+ , podwyższając pH.



pH

Miara kwasowości roztworu, określona jako ujemny logarytm ze stężenia jonów wodorowych:
 $pH = -\log_{10} [H^+]$

CO SIĘ DZIEJE, GDY pH SIĘ ZMIENIA?



enzym
(właściwe pH)



enzym
(niewłaściwe pH)

Zmiana pH może prowadzić do:

- zmiany kształtu enzymów (denaturacji),
- spadku lub utraty aktywności enzymów,
- zaburzeń procesów metabolicznych,
- zaburzeń funkcji komórek i narządów.



CO TO JEST BUFOR BIOLOGICZNY?

Bufor biologiczny to układ słaby kwas – jego sól (lub słaba zasada – jej sól), który **przeciwdziała zmianom pH**. Wiąże nadmiar H^+ lub uwalnia H^+ , utrzymując pH na prawie stałym poziomie.

PRZYJAZNY PRZYKŁAD: UKŁAD WODOROWĘGLANOWY (BUFOR BIKARBONATOWY)



kwas węglowy
(słaby kwas)

jon wodorowęglanowy
(jego sól)

Gdy pH spada (nadmiar H^+) →

HCO_3^- wiąże H^+ , tworząc H_2CO_3
→ pH rośnie do normy.

Gdy pH rośnie (niedobór H^+) →

H_2CO_3 oddaje H^+ , tworząc HCO_3^-
→ pH spada do normy.



Ten układ działa głównie w krwi i płynach ustrojowych. Współpracuje z układem oddechowym (usuwanie CO_2) i nerkami (regulacja HCO_3^-), aby utrzymać pH krwi na poziomie **7,35–7,45**.

DLACZEGO STABILNE pH JEST TAK WAŻNE?



Optymalne pH
→ prawidłowa
aktywność enzymów



Sprawny metabolizm
i produkcja energii



Prawidłowe funkcje
komórek i tkanek



Utrzymanie
homeostazy
i zdrowia organizmu



Ochrona przed
zaburzeniami
i chorobami

Sole mineralne



Definicja: Sole mineralne to związki nieorganiczne obecne w organizmie człowieka w postaci jonów (kationów i anionów). Są niezbędne do prawidłowego funkcjonowania komórek, tkanek i narządów.

Makroelementy a mikroelementy



MAKROELEMENTY

Występują w organizmie w większych ilościach (głównie > 0,01% masy ciała). Są potrzebne do podstawowych procesów życiowych i budowy tkanek.

Przykłady: Na, K, Ca, Mg, Cl



MIKROELEMENTY

Występują w organizmie w bardzo małych ilościach (< 0,01% masy ciała), ale są równie niezbędne. Biorą udział głównie w reakcjach enzymatycznych i procesach regulacyjnych.

Przykłady: Fe, I, Zn (i inne)

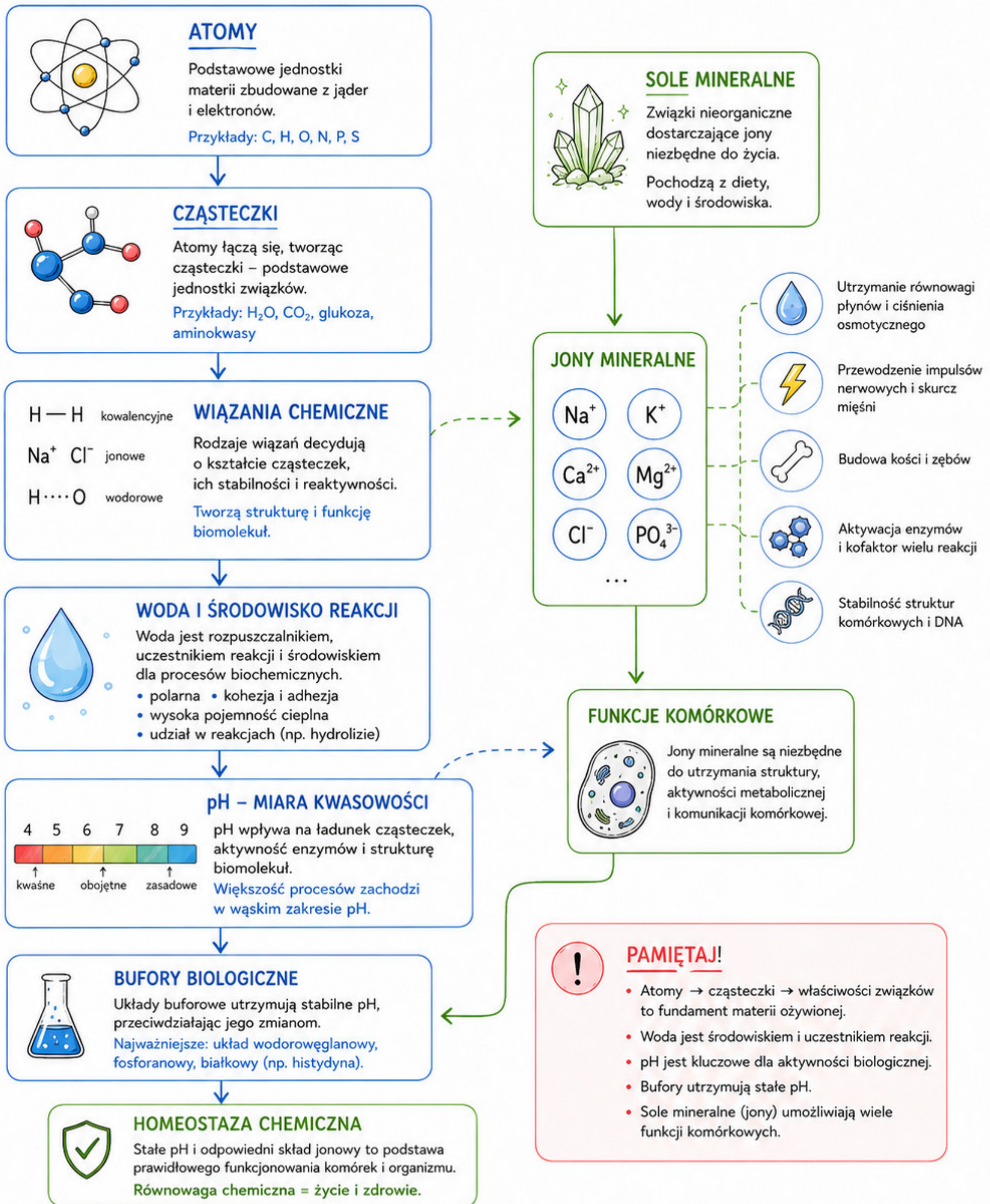
Najważniejsze sole mineralne i ich funkcje

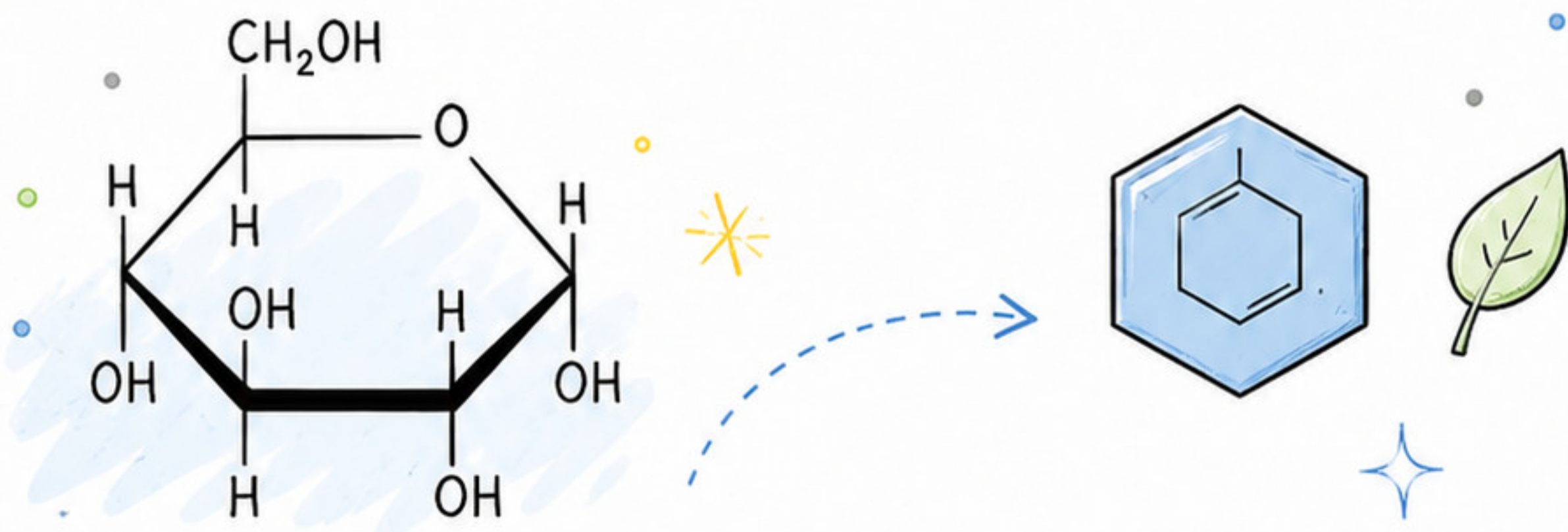
Pierwiastek (jon)	Typ	Główne funkcje w organizmie	Źródła w diecie
 Na⁺ (sód)	Makro- element	- Utrzymanie równowagi płynów i ciśnienia osmotycznego - Przewodzenie impulsów nerwowych - Udział w transporcie składników odżywczych	 Sól kuchenna, pieczywo, sery, wędliny, produkty przetworzone
 K⁺ (potas)	Makro- element	- Utrzymanie równowagi płynów wewnątrz komórek - Przewodzenie impulsów nerwowych - Skurcz mięśni, w tym mięśnia sercowego	 Owoce (banany, morele), warzywa (ziemniaki, pomidory), rośliny strączkowe
 Ca²⁺ (wapń)	Makro- element	- Budowa kości i zębów (w postaci hydroksyapatytu) - Skurcz mięśni - Krzepnięcie krwi - Przekazywanie nerwowe	 Mleko i produkty mleczne, zielone warzywa liściaste, ryby (z ością), sezam
 Mg²⁺ (magnez)	Makro- element	- Aktywator wielu enzymów (udział w > 300 reakcjach) - Skurcz mięśni i przewodzenie nerwowe - Utrzymanie zdrowych kości i zębów	 Orzechy, nasiona, kasze, pełnoziarniste produkty zbożowe, kakao
 Cl⁻ (chlorek)	Makro- element	- Utrzymanie równowagi kwasowo-zasadowej - Składnik kwasu solnego w żołądku (HCl) - Utrzymanie równowagi płynów	 Sól kuchenna, oliwki, sery, pomidory, seler
 Fe²⁺/Fe³⁺ (żelazo)	Mikro- element	- Składnik hemoglobiny – transport tlenu we krwi - Składnik mioglobiny – magazynowanie tlenu w mięśniach - Udział w reakcjach enzymatycznych	 Mięso czerwone, podroby, rośliny strączkowe, szpinak, pełnoziarniste produkty
 I⁻ (jod)	Mikro- element	- Składnik hormonów tarczycy (T₃ i T₄) - Reguluje metabolizm, wzrost i rozwój - Wpływa na pracę układu nerwowego	 Ryby morskie, owoce morza, kabaczek morski, sól jodowana
 Zn²⁺ (cynk)	Mikro- element	- Aktywator wielu enzymów (np. dehydrogenaz) - Wspomaga odporność i gojenie ran - Udział w syntezie białek i DNA	 Mięso, nasiona dyni, orzechy, produkty pełnoziarniste, nabiał



Ważne! Zarówno niedobór, jak i nadmiar soli mineralnych może być szkodliwy dla zdrowia. Kluczem jest zachowanie równowagi i odpowiednia podaż dostosowana do potrzeb organizmu.

Mapa podsumowująca: chemiczne podstawy życia ✨

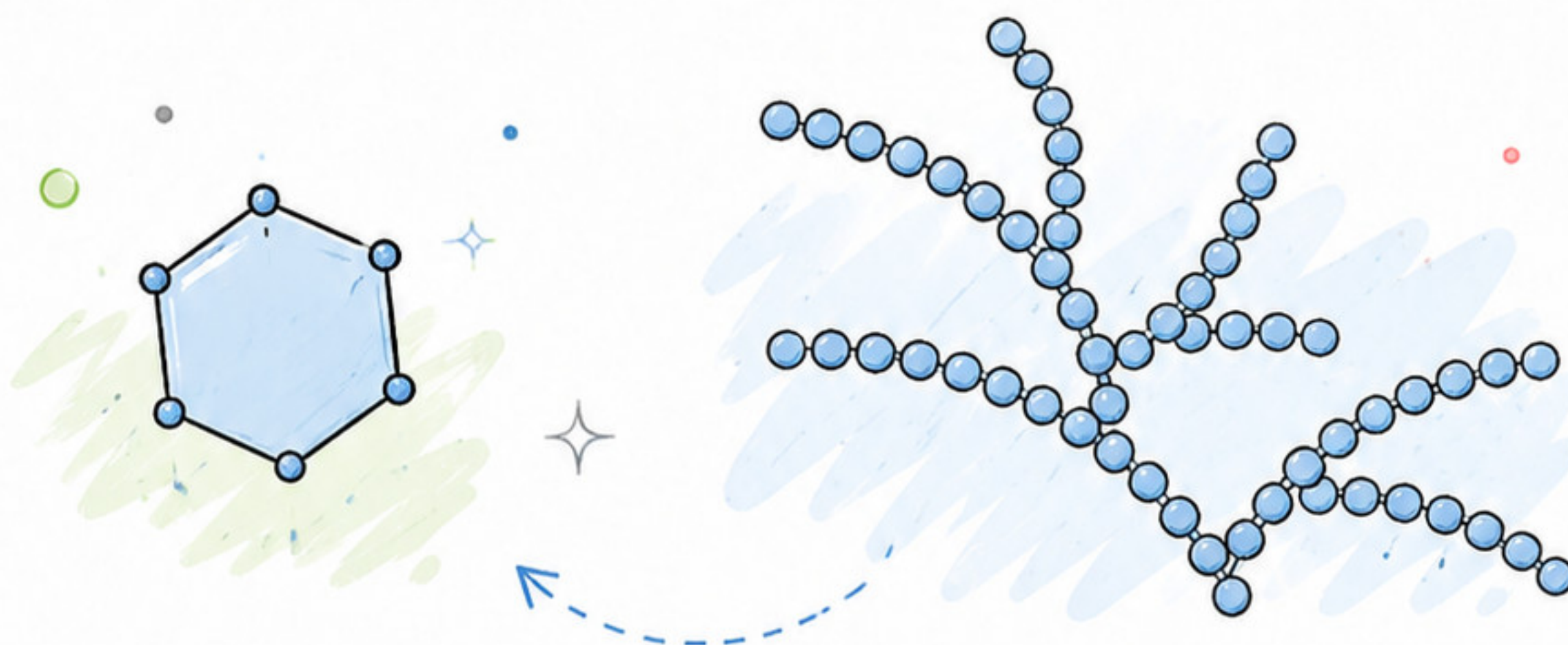
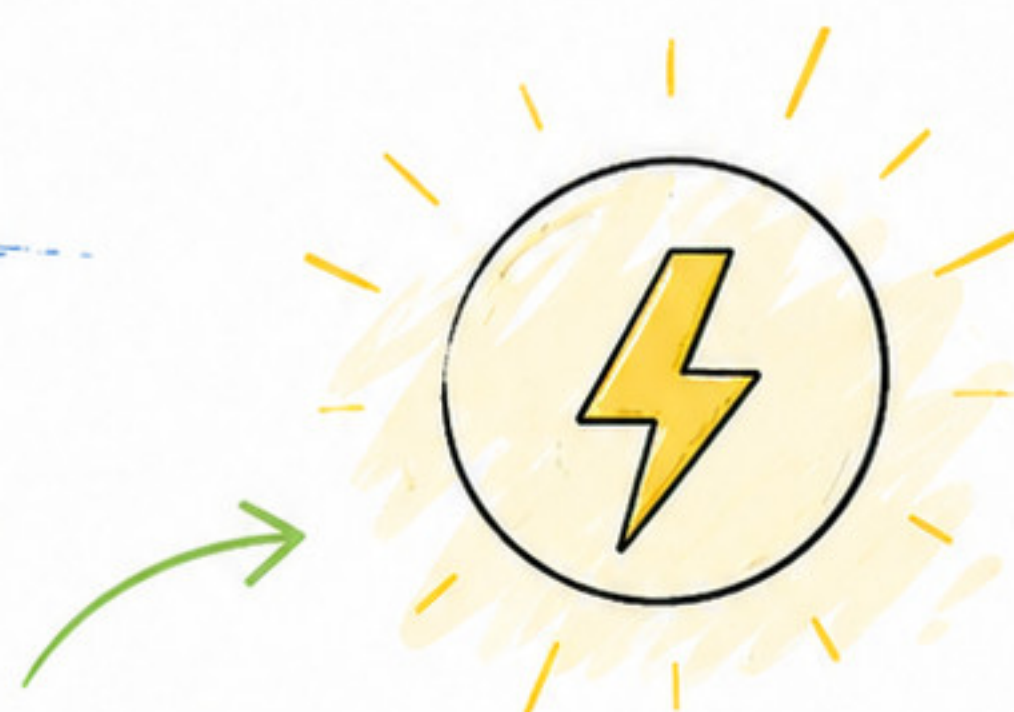




MODUŁ 02

Węglowodany

Od cukrów prostych
do magazynowania energii





Czym są węglowodany?



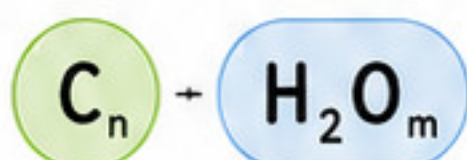
DEFINICJA

Węglowodany to związki organiczne zbudowane głównie z węgla (C), wodoru (H) i tlenu (O), często pełniące funkcje **energetyczne** i **strukturalne** w organizmach żywych.

BUDOWA

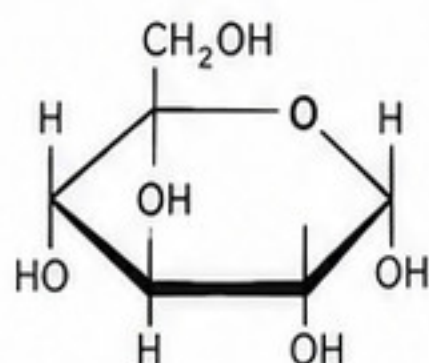
Węglowodany są zbudowane z jednostek cukrowych, głównie monosacharydów.

OGÓLNY POMYSŁ NA BUDOWĘ

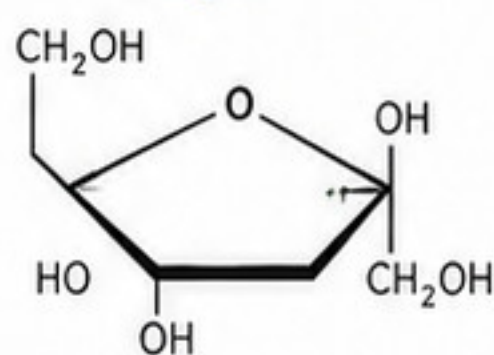


PRZYKŁADY MONOSACHARYDÓW

Glukoza



Fruktoza



Monosacharydy mogą łączyć się w łańcuchy krótkie (disacharydy – np. sacharoza) lub długie (polisacharydy – np. skrobia, celuloza).

GŁÓWNE FUNKCJE



ŹRÓDŁO ENERGII

Są podstawowym paliwem dla komórek. Glukoza jest głównym źródłem energii.



MAGAZYN ENERGII

Rośliny magazynują energię w skrobi, zwierzęta – w glikogenie.



FUNKCJE STRUKTURALNE

Celuloza wzmacnia ściany komórkowe roślin, chityna buduje pancerze stawonogów i ściany komórkowe grzybów.



UDZIAŁ W PROCESACH BIOLOGICZNYCH

Biorą udział w rozpoznawaniu komórek, komunikacji, tworzeniu glikoprotein i glikolipidów.

GDZIE WYSTĘPUJĄ?



ROŚLINY

Skrobia (ziarna, bulwy), celuloza (ściany komórkowe), cukry proste (w soku roślinnym, owocach).



ZWIERZĘTA I LUDZIE

Glukoza krąży we krwi, glikogen magazynowany jest w wątrobie i mięśniach, cukry występują w produktach spożywczych.

DLACZEGO SĄ WAŻNE?



Zapewniają szybkie dostarczenie energii dla mózgu i mięśni.



Składniki błon komórkowych i śluzu chronią komórki i tkanki.

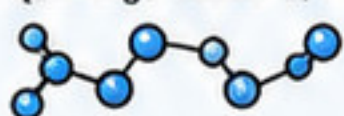


Błonnik (rodzaj węglowodanów) wspiera pracę jelit i zdrowie układu pokarmowego.

WĘGLOWODANY W SKRÓCIE

WĘGLOWODANY

związki organiczne C, H, O



ENERGIA

Szybkie źródło energii dla komórek.



ZAPAS

Magazyn energii w formie skrobi i glikogenu.



STRUKTURA

Budują i wzmacniają struktury (np. ściany komórkowe).



PAMIĘTAJ!

Nie wszystkie węglowodany są takie same – cukry proste dają szybką energię, a złożone polisacharydy działają dłużej i wspierają zdrowie.



Monosacharydy i disacharydy



DEFINICJA

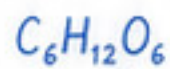
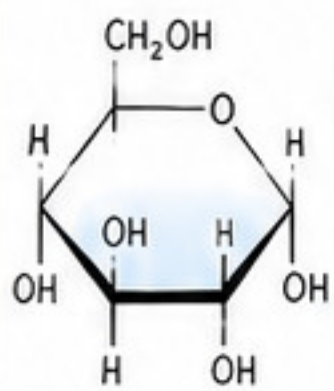
Monosacharydy to najprostsze cukry – zbudowane z jednej jednostki.
Disacharydy powstają, gdy dwie jednostki monosacharydów łączą się wiązaniem glikozydowym.



MONOSACHARYDY

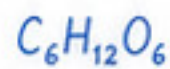
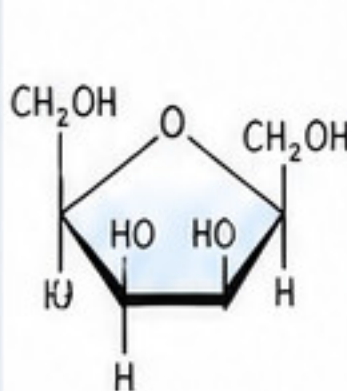
Pojedyncze cząsteczki cukrów.
 Nie ulegają dalszej hydrolizie.

GLUKOZA



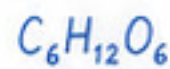
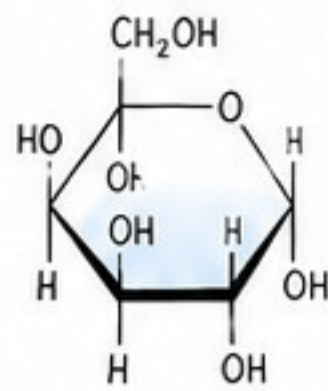
główny cukier
w organizmach

FRUKTOZA



cukier owocowy,
bardzo słodki

GALAKTOZA



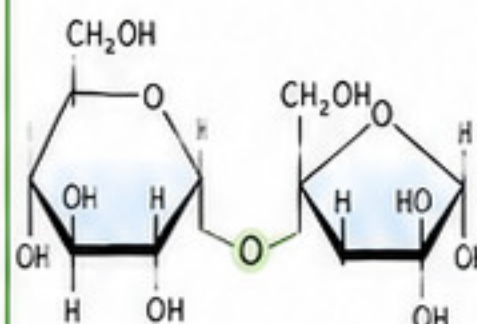
składnik laktozy,
występuje w mleku

DISACHARYDY

Zbudowane z dwóch jednostek monosacharydów
połączonych wiązaniem glikozydowym.

SACHAROZA

glukoza + fruktoza

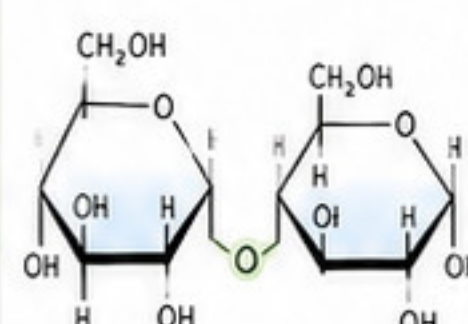


wiązanie $\alpha(1 \rightarrow 2)$

cukier stołowy,
występuje w trzciny
cukrowej i burakach

LAKTOZA

galaktoza + glukoza

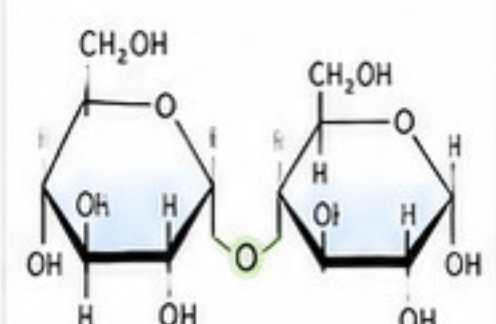


wiązanie $\beta(1 \rightarrow 4)$

cukier mleczny,
obecna w mleku
ssaków

MALTOZA

glukoza + glukoza

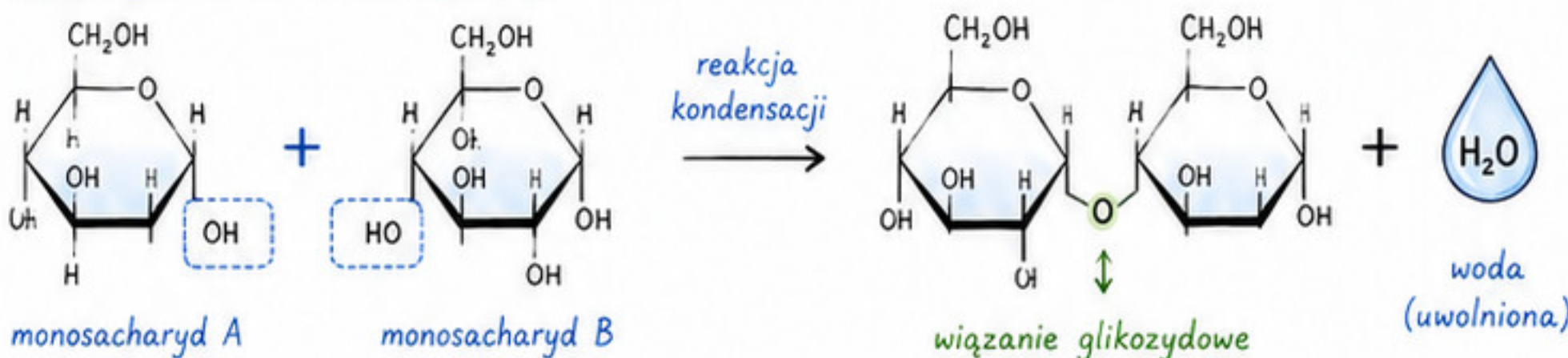


wiązanie $\alpha(1 \rightarrow 4)$

produkt rozkładu
skrobi,
występuje w ziarnach

Cecha porównawcza	MONOSACHARYDY	DISACHARYDY
Liczba jednostek	1 jednostka cukrowa	2 jednostki cukrowe
Przykłady	glukoza, fruktoza, galaktoza	sacharoza, laktoza, maltoza
Rola	szybkie źródło energii, budulec większych cząsteczek	magazyn i transport energii, łatwo przyswajalne źródło energii
Gdzie występują?	owoce (fruktoza), miód, krew (glukoza), mleko (galaktoza)	rośliny (sacharoza, maltoza), mleko (laktoza)

JAK POWSTAJE DISACHARYD?



Wiązanie glikozydowe

Powstaje między węglem anomerycznym (C1) jednej cząsteczki a grupą -OH drugiej cząsteczki.
 Określają je: typ (α lub β) i pozycje atomów węgla (np. $1 \rightarrow 4$, $1 \rightarrow 2$).



ZAPAMIĘTAJ!

Monosacharydy to podstawowe cegiełki cukrów, a disacharydy to pary tych cegiełek połączone wiązaniem glikozydowym. Obie grupy są kluczowe dla dostarczania energii i budowy związków biologicznych.

Polisacharydy

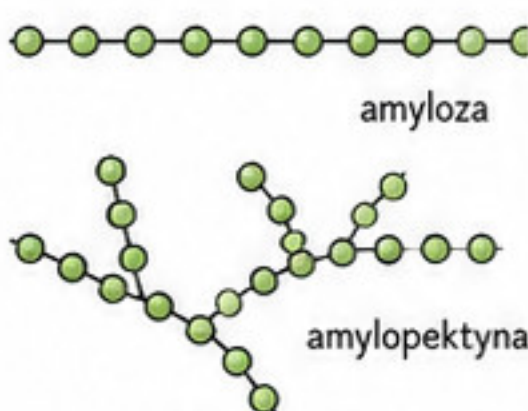


Definicja: Polisacharydy to długie łańcuchy cukrów prostych (głównie glukozy) połączonych wiązaniami glikozydowymi.

SKROBIA

Z czego zbudowana?

- Z α -D-glukozy.
- Dwa składniki:
amyloza (łańcuchy proste)
i amylopektyna (łańcuchy rozgałęzione).



Główna funkcja

Magazynowanie energii u roślin.

Gdzie występuje?

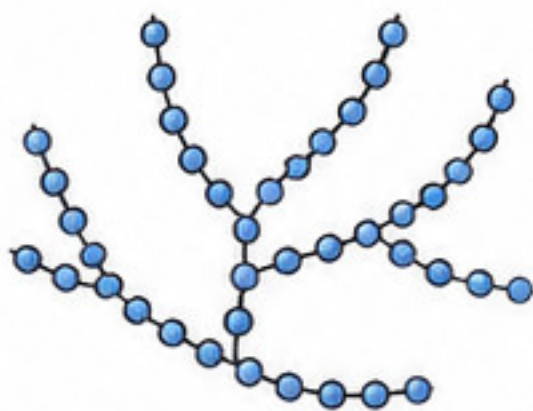
Nasiona, bulwy, ziarna zbóż, korzenie roślin.



GLIKOGEN

Z czego zbudowany?

- Z α -D-glukozy.
- Bardzo rozgałęziony (polimeryzacja podobna do amylopektyny, ale częściej rozgałęziona).

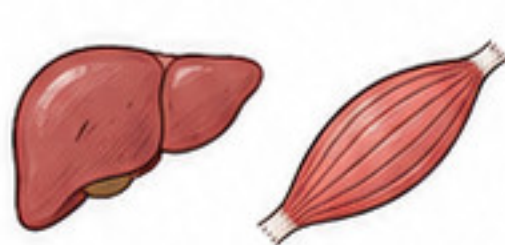


Główna funkcja

Magazynowanie energii u zwierząt.

Gdzie występuje?

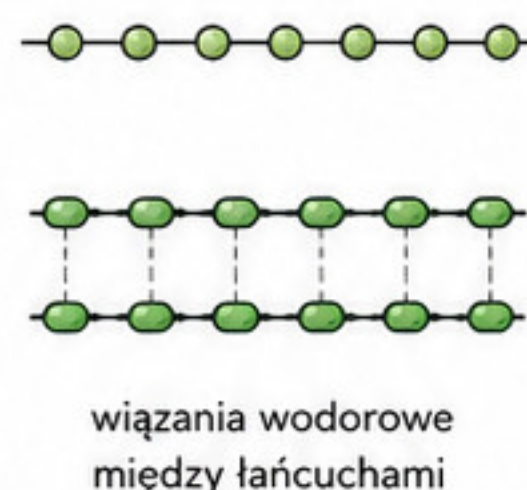
Wątroba i mięśnie u zwierząt.



CELULOZA

Z czego zbudowana?

- Z β -D-glukozy.
- Łańcuchy proste, połączone wiązaniami $\beta(1 \rightarrow 4)$.



Główna funkcja

Budowa i usztywnienie ściany komórkowej roślin.

Gdzie występuje?

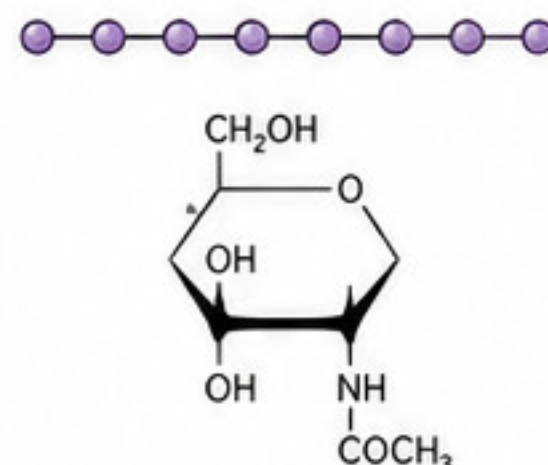
Ściany komórkowe roślin (lądowych).



CHITYNA

Z czego zbudowana?

- Z N-acetylo-D-glukozaminy (GlcNAc).
- Łańcuchy proste, połączone wiązaniami $\beta(1 \rightarrow 4)$.



Główna funkcja

Budowa i ochrona ścian komórkowych grzybów oraz oskórka stawonogów.

Gdzie występuje?

Ściany komórkowe grzybów, oskórek owadów, pancerze skorupiaków.



Porównanie polisacharydów

Cecha	Skrobia	Glikogen	Celuloza	Chityna
Monomer	α -D-glukoza	α -D-glukoza	β -D-glukoza	N-acetylo-D-glukozamina (GlcNAc)
Rodzaj łańcucha	proste + rozgałęzione	bardzo rozgałęzione	proste	proste
Rodzaj wiązania	$\alpha(1 \rightarrow 4)$, $\alpha(1 \rightarrow 6)$	$\alpha(1 \rightarrow 4)$, $\alpha(1 \rightarrow 6)$	$\beta(1 \rightarrow 4)$	$\beta(1 \rightarrow 4)$
Funkcja	zapas energii (u roślin)	zapas energii (u zwierząt)	funkcja strukturalna (ściana roślin)	funkcja strukturalna (ściany grzybów, oskórek stawonogów)
Występowanie	rośliny	zwierzęta	rośliny (lądowe)	grzyby, stawonogi

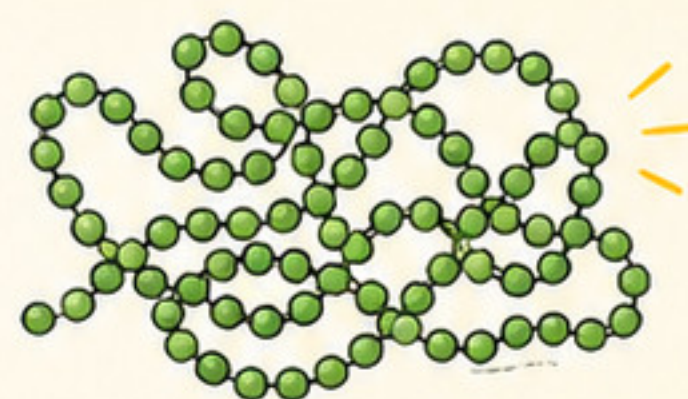


ZAPAMIĘTAJ!

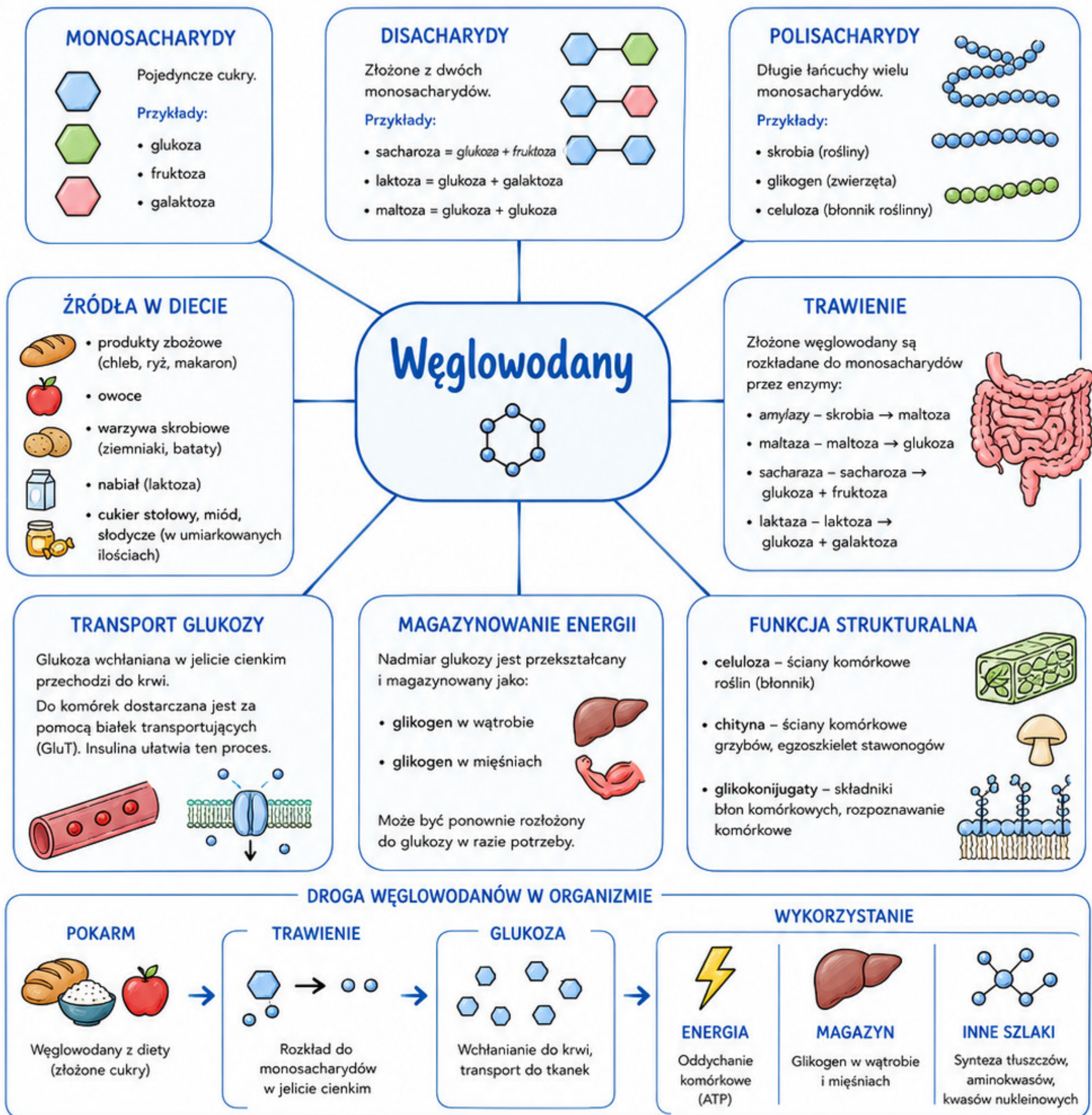
Polisacharydy składają się z bardzo wielu jednostek cukrowych.

— Oligosacharyd: 2–10 jednostek cukrowych

— Polisacharyd: setki do tysięcy jednostek cukrowych (nawet >10 000)



Węglowodany w organizmie – mapa podsumowująca



DEFINICJA W SKRÓCIE

Węglowodany to związki organiczne zbudowane z atomów węgla, wodoru i tlenu.

Stanowią podstawowe źródło energii, pełnią funkcje zapasowe i strukturalne oraz uczestniczą w wielu procesach biologicznych.

NAJWAŻNIEJSZE FUNKCJE



ENERGETYCZNA – główne paliwo dla komórek (glukoza → ATP).



ZAPASOWA – magazynowanie energii w postaci glikogenu.



STRUKTURALNA – budowa ścian komórkowych, egzoszkieletów, błon komórkowych.



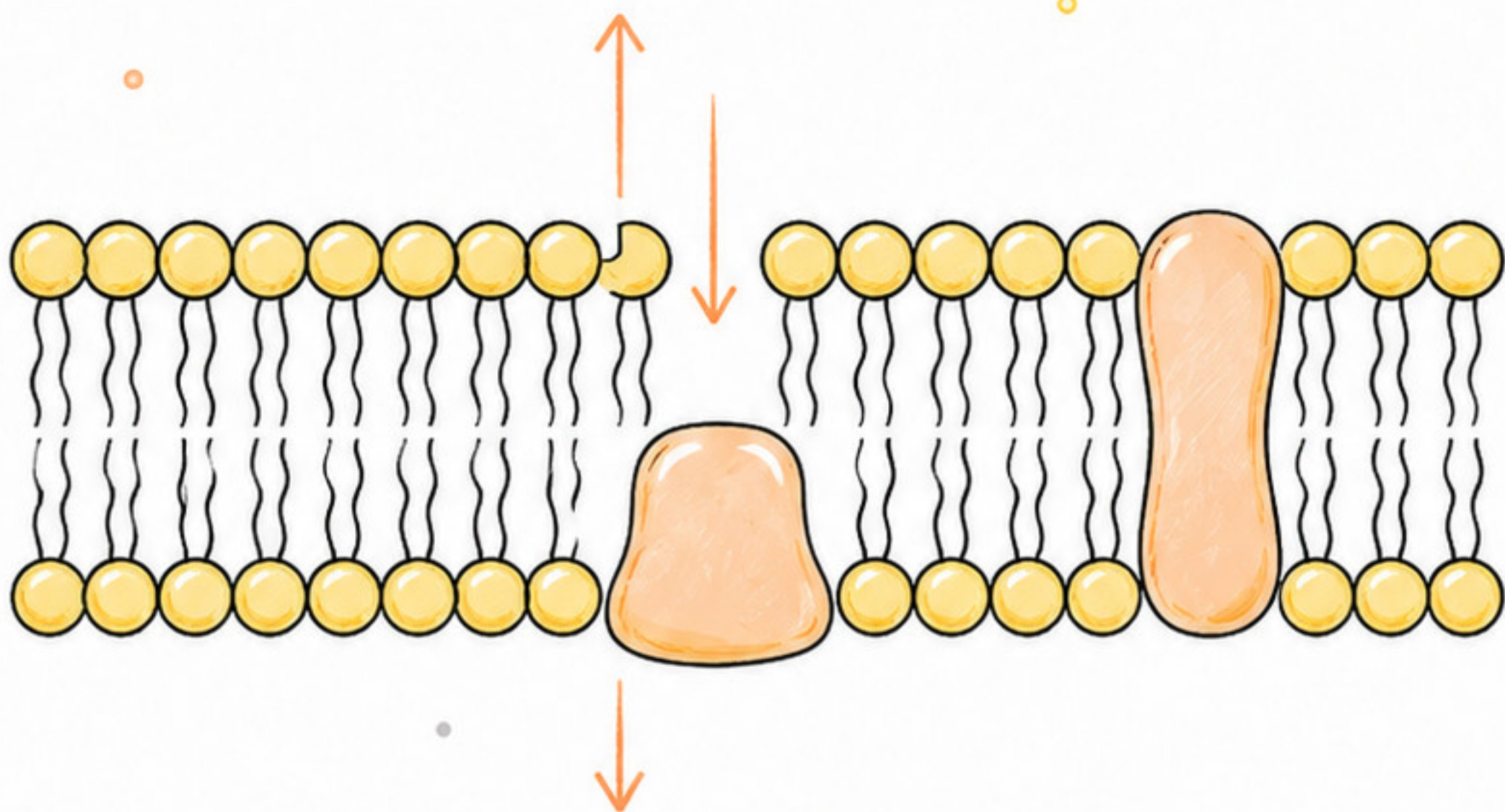
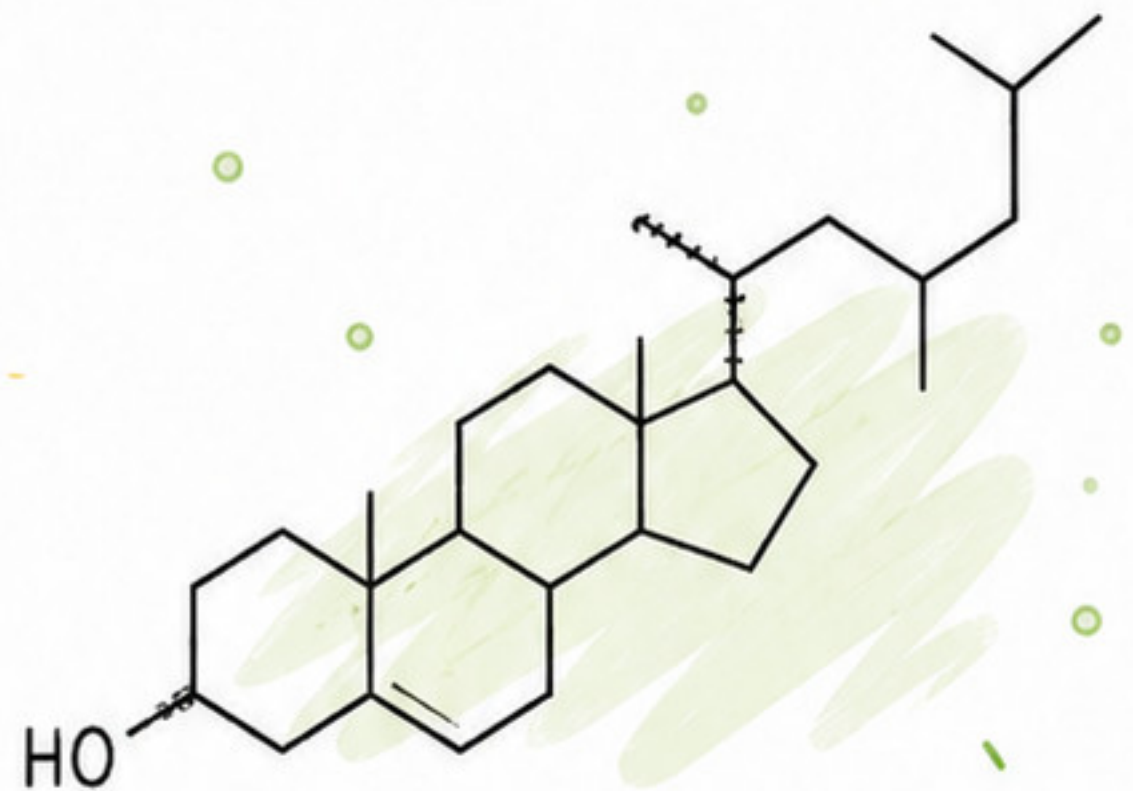
ROZPOZNAWCZA I REGULACYJNA – udział w komunikacji komórkowej i reakcjach biologicznych.



MODUŁ 03

Lipidy

Tłuszcze, błony komórkowe
i magazyn energii

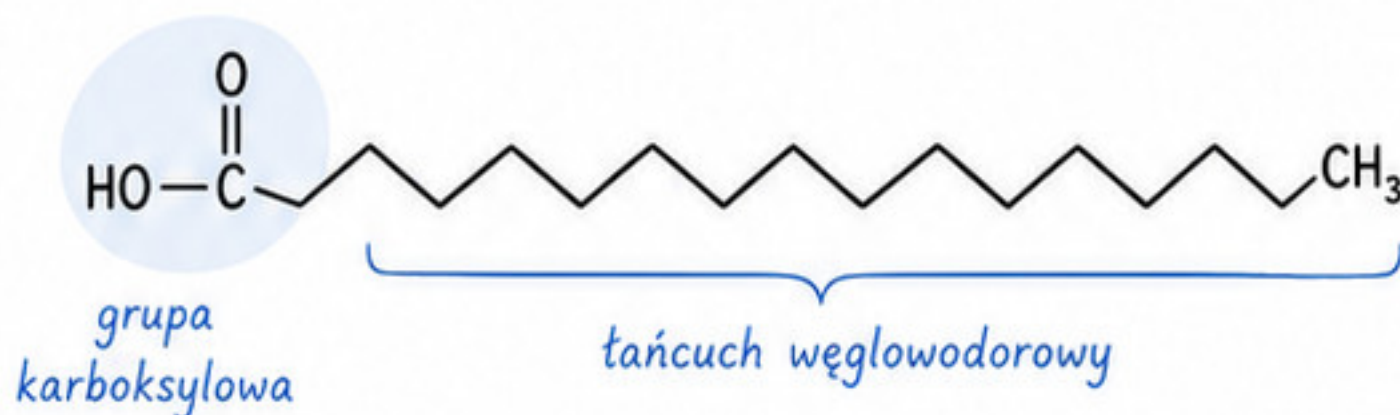


Kwasy tłuszczowe i triacyloglicerole



DEFINICJA

Kwasy tłuszczowe to długie łańcuchy węglowodorowe zakończone grupą karboksylową ($-\text{COOH}$).

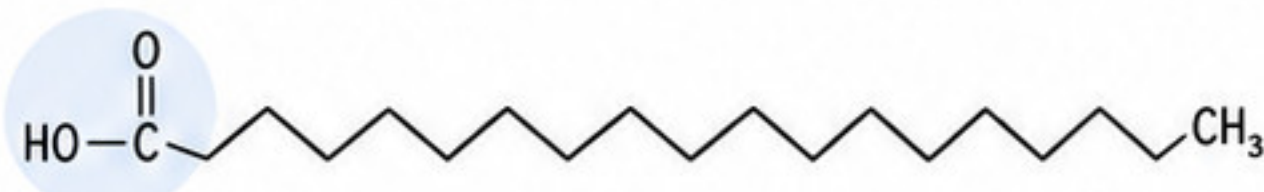


1. KWASY TŁUSZCZOWE

Wyróżniamy dwa główne typy kwasów tłuszczowych:

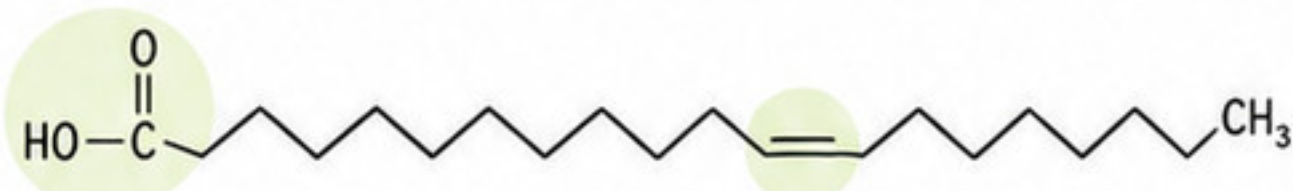
- **NASYCONE** – nie zawierają wiązań podwójnych między atomami węgla.

Przykład: kwas stearynowy (18:0)



- **NIENASYCONE** – zawierają jedno lub więcej wiązań podwójnych $\text{C}=\text{C}$.

Przykład: kwas oleinowy (18:1 Δ^9)



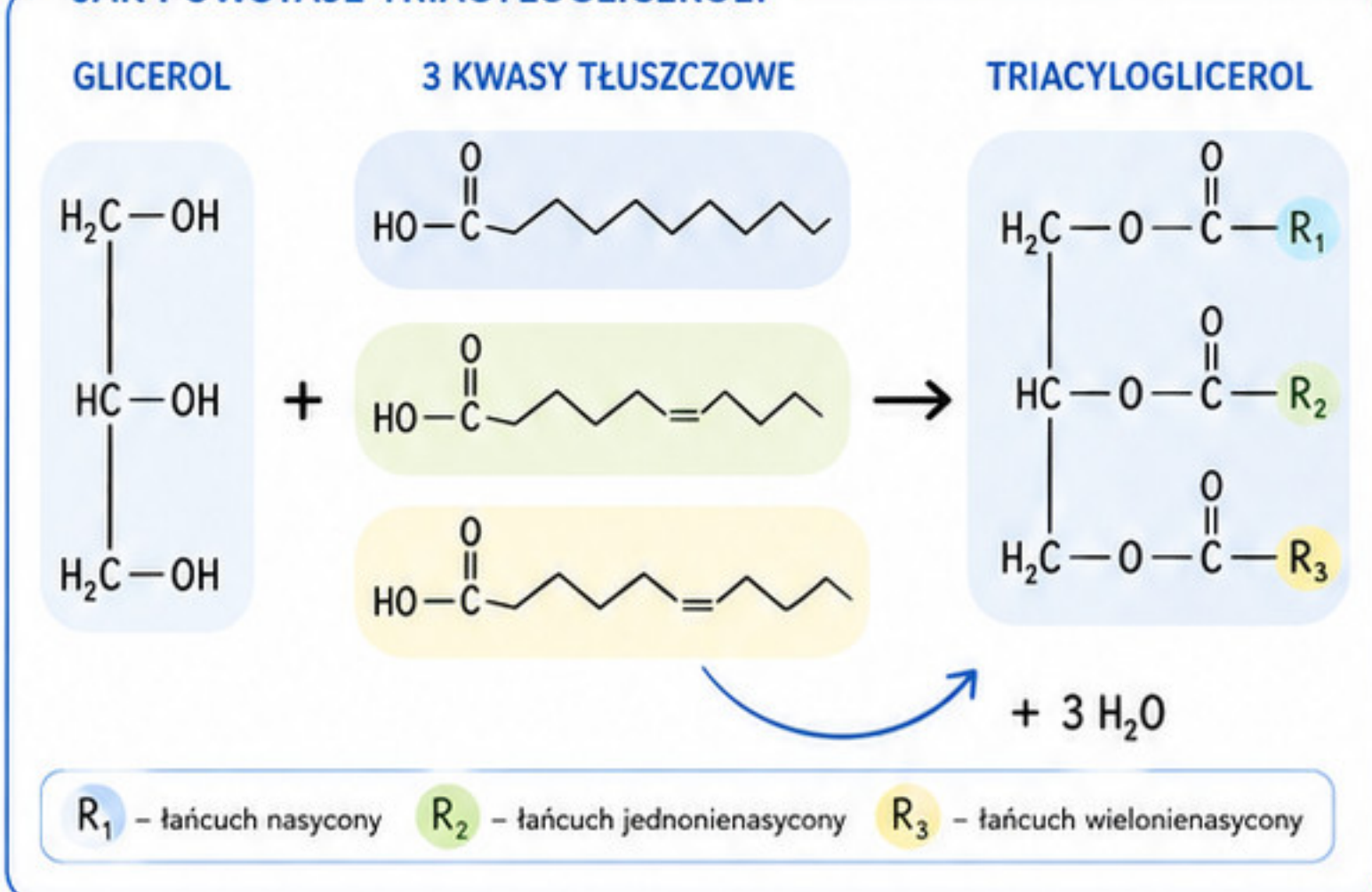
PORÓWNANIE

KWASY TŁUSZCZOWE	NASYCONE	NIENASYCONE
Wiązania w łańcuchu	 tylko pojedyncze	 co najmniej jedno podwójne
Budowa łańcucha	 prosty	 zagięty
Stan skupienia (20°C)	zwykle stałe	zwykle ciekłe
Źródła	tłuszcze zwierzęce, olej kokosowy, masło, smalec	oleje roślinne (np. oliwa z oliwek, olej rzepakowy), orzechy, awokado, ryby

2. TRIACYLOGLICEROLE (TRÓJGLICERYDY)

Triacyloglicerol to ester zbudowany z jednej cząsteczki glicerolu i trzech kwasów tłuszczowych. To najważniejsza forma magazynowania tłuszczów w organizmie.

JAK POWSTAJE TRIACYLOGLICEROL?



3. FUNKCJE TRIACYLOGLICEROLI



MAGAZYNOWANIE ENERGII

Najbardziej skoncentrowane źródło energii w organizmie (9 kcal/g).



TERMOIZOLACJA

Podskórna tkanka tłuszczowa chroni przed utratą ciepła.



OCHRONA MECHANICZNA

Otłuszczają i amortyzują narządy wewnętrzne (np. nerki, serce).



WCHŁANIANIE WITAMIN

Ułatwiają wchłanianie witamin rozpuszczalnych w tłuszczach (A, D, E, K).



PAMIĘTAJ! Zarówno niedobór, jak i nadmiar tłuszczów może być szkodliwy. Kluczem jest zrównoważona dieta i odpowiednia jakość tłuszczów.



Fosfolipidy i cholesterol

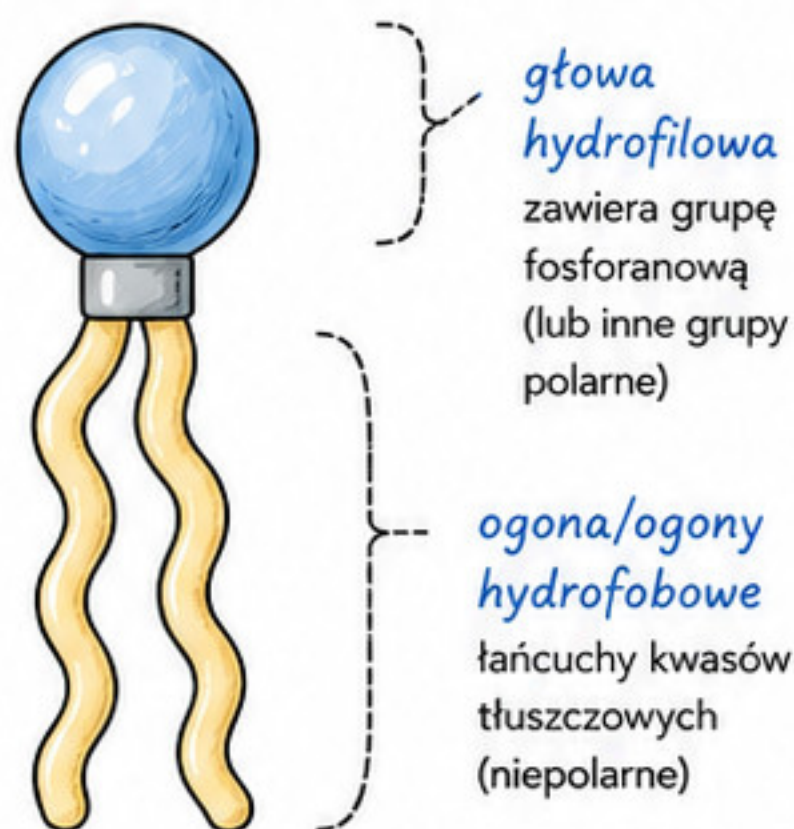


DEFINICJA

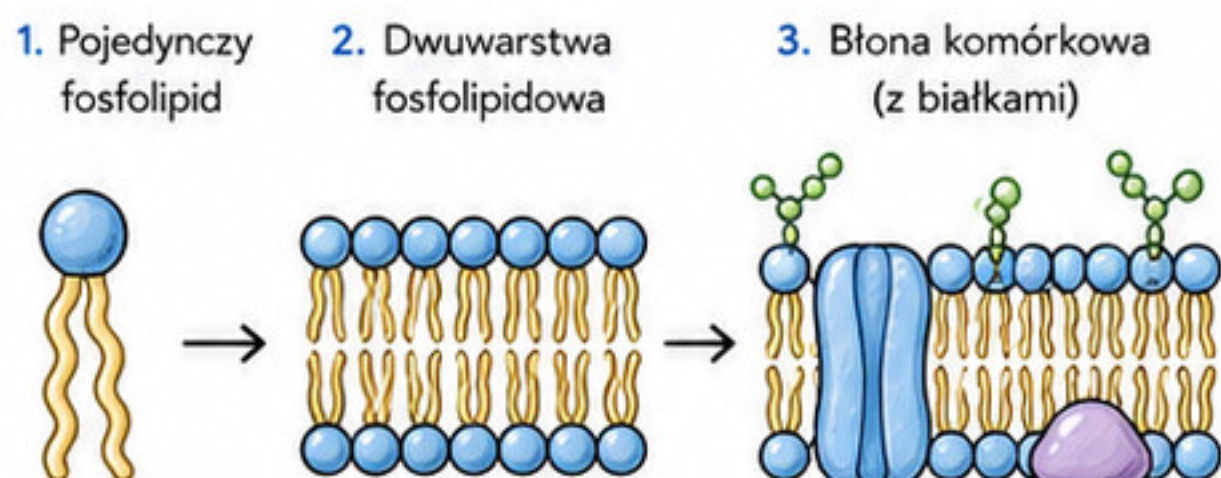
Fosfolipidy i cholesterol to kluczowe składniki błon biologicznych, które zapewniają ich strukturę, elastyczność i selektywną przepuszczalność.

FOSFOLIPIDY – podstawowe składniki błon

Fosfolipidy są **amfipatyczne** – mają część hydrofilową (lubiącą wodę) i hydrofobową (nie lubiącą wody).



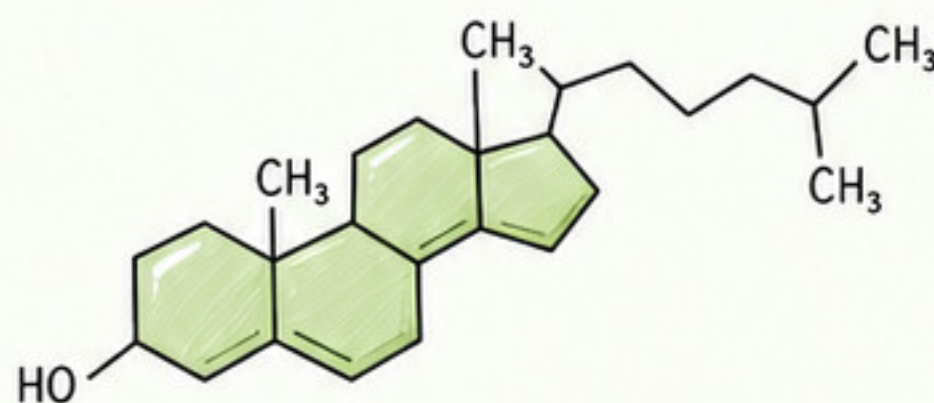
JAK FOSFOLIPIDY TWORZĄ BŁONĘ KOMÓRKOWĄ?



Głowy hydrofilowe skierowane są na zewnątrz i do wnętrza komórki, a ogony hydrofobowe ukryte w środku, z dala od wody.

CHOLESTEROL – regulator błony i prekursor cząsteczek

Cholesterol to cząsteczka steroidowa obecna w błonach komórkowych zwierząt.



szkielet steroidowy cholesterolu

ROLA CHOLESTEROLU W BŁONACH



Reguluje płynność błony

Zapobiega nadmiernemu upłynnieniu w wysokiej temperaturze oraz zbytniemu usztywnieniu w niskiej temperaturze.



Zwiększa stabilność i odporność błony

Zmniejsza przepuszczalność dla drobnocząsteczkowych substancji polarnych.



Usprawnia działanie białek błonowych

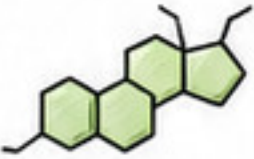
Utrzymuje odpowiednie środowisko dla receptorów, transporterów i enzymów.

PREKURSOR WAŻNYCH CZĄSTECZEK



Cholesterol jest prekursorem:

- hormonów steroidowych (np. kortyzol, estrogeny, testosteron)
- kwasów żółciowych (udział w trawieniu tłuszczów)
- witaminy D₃ (synteza pod wpływem światła słonecznego)

Cecha	FOSFOLIPIDY	CHOLESTEROL
Budowa	 Głowa hydrofilowa (fosforanowa) + dwa ogony hydrofobowe (łańcuchy kwasów tłuszczowych).	 Cztery połączone pierścienie steroidowe i krótki łańcuch boczny, grupa -OH.
Gdzie występują	 Błony komórkowe wszystkich organizmów, błony organelli komórkowych, lipidy surowicy krwi.	 Błony komórkowe zwierząt, zwłaszcza w błonach plazmatycznych i osłonkach mielinowych.
Funkcja	• Tworzą dwuwarstwę błonową. • Nadają błonie strukturę i barierę selektywną. • Umożliwiają umieszczenie i działanie białek błonowych.	• Reguluje płynność i stabilność błony. • Zmniejsza przepuszczalność błony. • Prekursor hormonów steroidowych, kwasów żółciowych i witaminy D₃.
Właściwości kluczowe	 Amfipatyczność (hydrofilowo-hydrofobowa) pozwala na samorodne tworzenie błon w środowisku wodnym.	 Mały rozmiar i sztywna struktura pozwalają na wbudowanie między ogony fosfolipidów.

Najważniejsze funkcje lipidów



Definicja: Lipidy to związki organiczne nierozpuszczalne w wodzie, a rozpuszczalne w rozpuszczalnikach organicznych. Pełnią w organizmie wiele kluczowych funkcji.

1 MAGAZYNOWANIE ENERGII

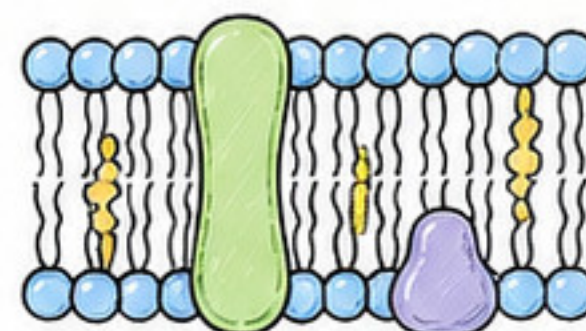
Triglicerydy gromadzą dużą ilość energii w małej objętości. Są przechowywane w tkance tłuszczowej i stanowią główne źródło energii podczas wysiłku i głodzenia.



*1 g tłuszczu =
około 9 kcal*

2 BUDOWA BŁON KOMÓRKOWYCH

Fosfolipidy i cholesterol tworzą błony komórkowe, które oddzielają komórkę od otoczenia i kontrolują transport substancji do wnętrza oraz na zewnątrz.



*błona – elastyczna
i selektywna*

3 IZOLACJA TERMICZNA

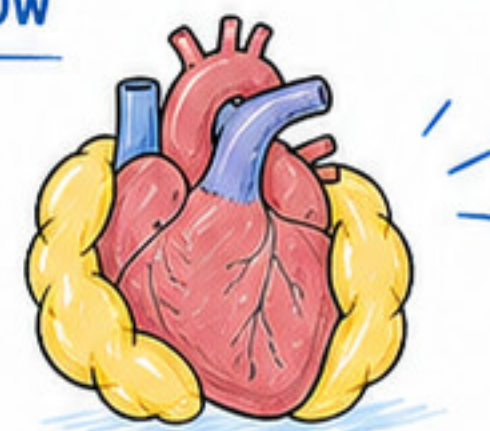
Tkanka tłuszczowa pod skórą zmniejsza utratę ciepła, pomagając utrzymać stałą temperaturę ciała, szczególnie w chłodnym środowisku.



*warstwa tłuszczu =
naturalna izolacja*

4 OCHRONA NARZĄDÓW

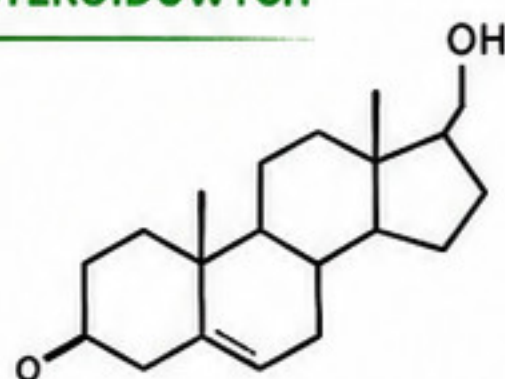
Tkanka tłuszczowa otacza i amortyzuje narządy wewnętrzne (np. nerki, serce), chroniąc je przed urazami mechanicznymi.



*tłuszcz = poduszka
ochronna*

5 ROLA HORMONÓW STEROIDOWYCH

Cholesterol jest prekursorem hormonów steroidowych, takich jak kortyzol, aldosteron, estrogeny, progesteron i testosteron, które regulują wiele procesów w organizmie.



*cholesterol → hormony
steroidowe*

6 TRANSPORT WITAMIN A, D, E, K

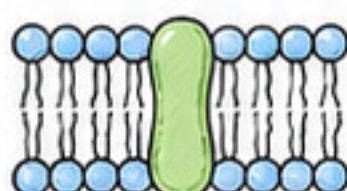
Witaminy A, D, E i K są rozpuszczalne w tłuszczach. Lipidy ułatwiają ich wchłanianie w jelitach, transport we krwi oraz magazynowanie w organizmie.



LIPIDY



ENERGIA



STRUKTURA



REGULACJA

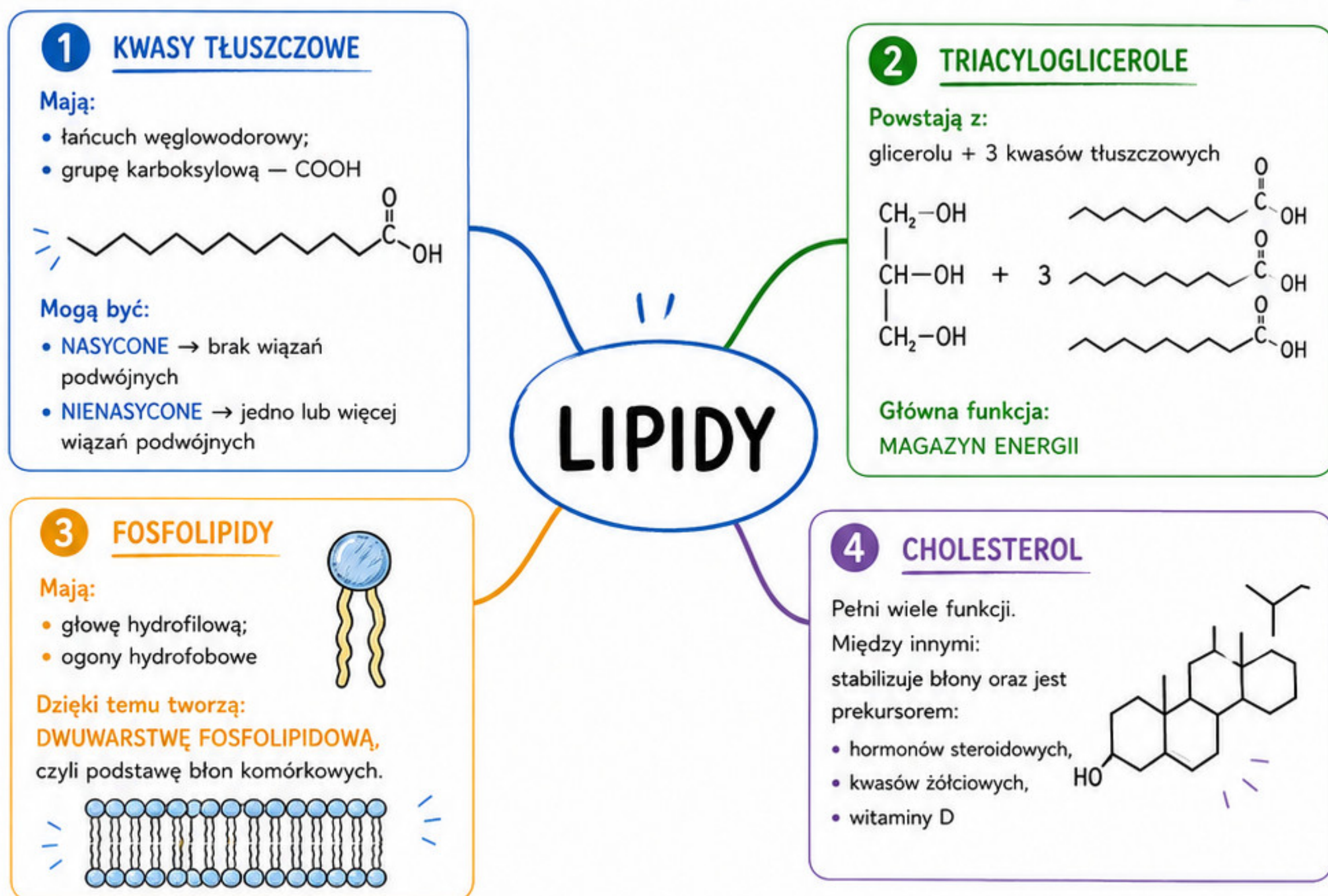


OCHRONA

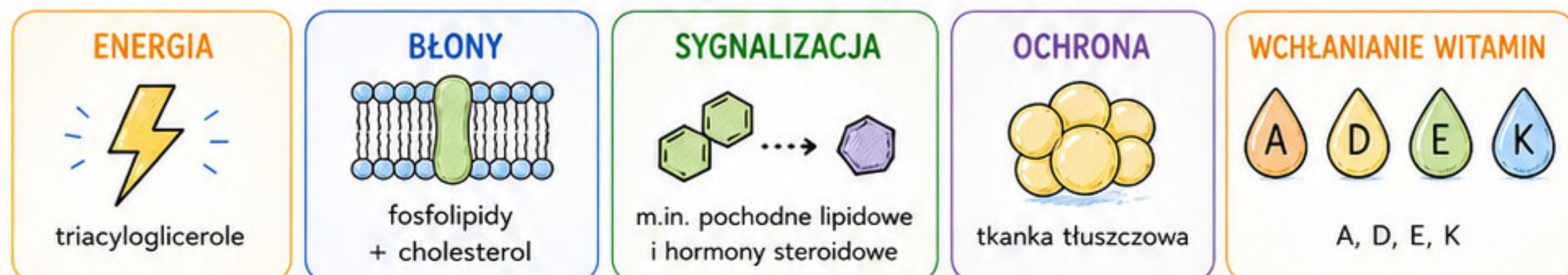


PAMIĘTAJ! Nadmiar lub niedobór lipidów w diecie może zaburzać zdrowie: prowadzić do otyłości, miażdżycy, zaburzeń hormonalnych oraz niedoborów witamin.

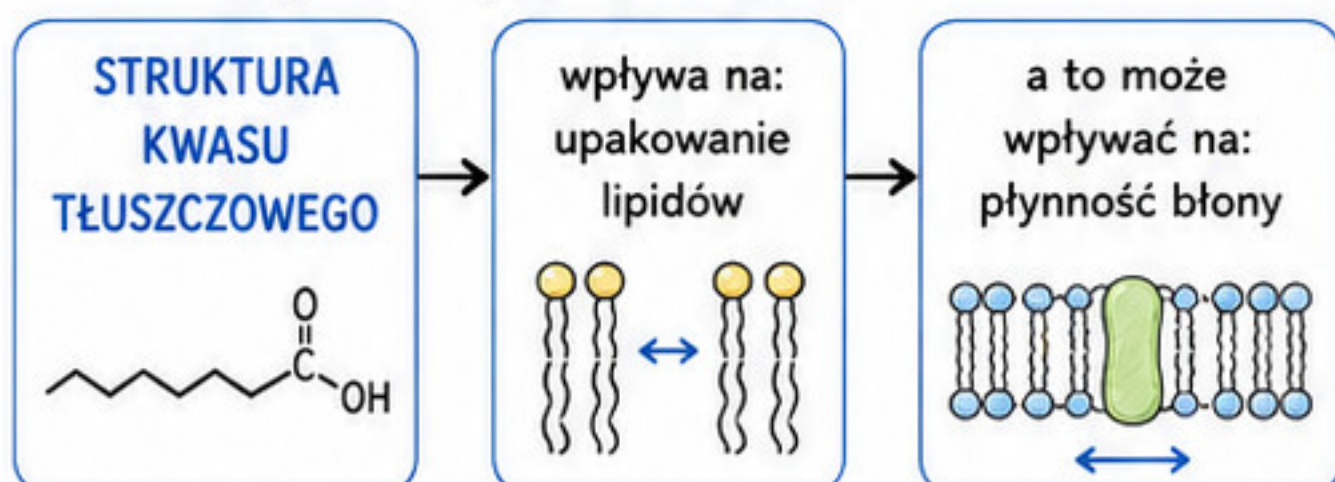
Lipidy – mapa podsumowująca



Najważniejsze funkcje lipidów



Najważniejsze zależności



Kluczowa myśl

Nie wszystkie lipidy pełnią tę samą funkcję.
Triacyloglicerol jest przede wszystkim magazynem energii.
Fosfolipid jest przede wszystkim elementem błony.
Cholesterol pełni funkcję strukturalną i jest prekursorem wielu związków.



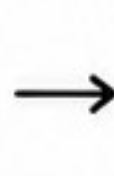
Pytanie kontrolne

Dlaczego fosfolipid może tworzyć błonę komórkową?

Odpowiedź:

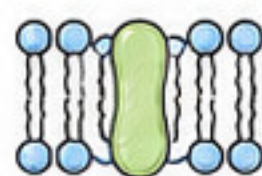
Ponieważ jest cząsteczką amfipatyczną — posiada część hydrofilową i hydrofobową, dlatego w wodzie spontanicznie organizuje się w dwuwarstwę.

LIPIDY



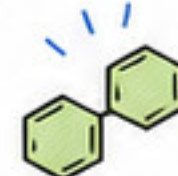
ENERGIA

+



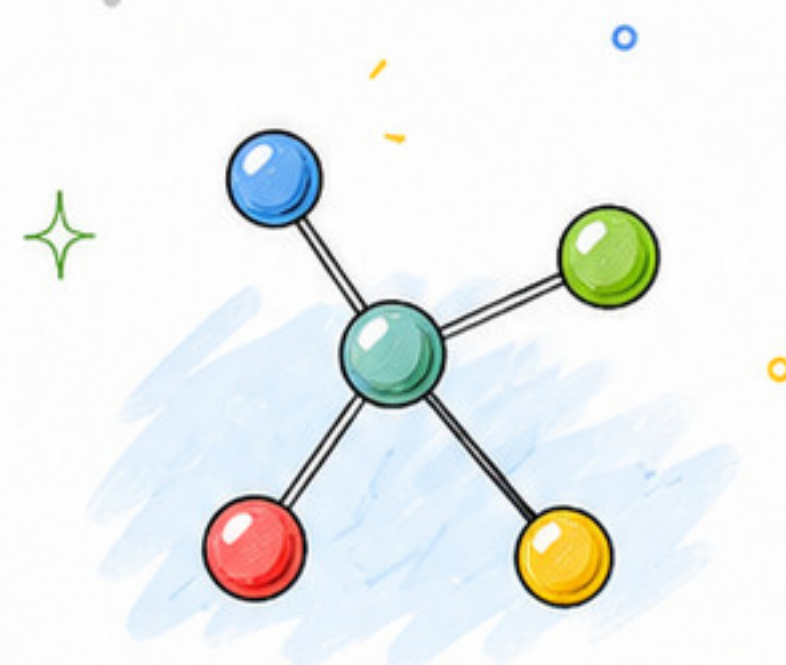
STRUKTURA

+



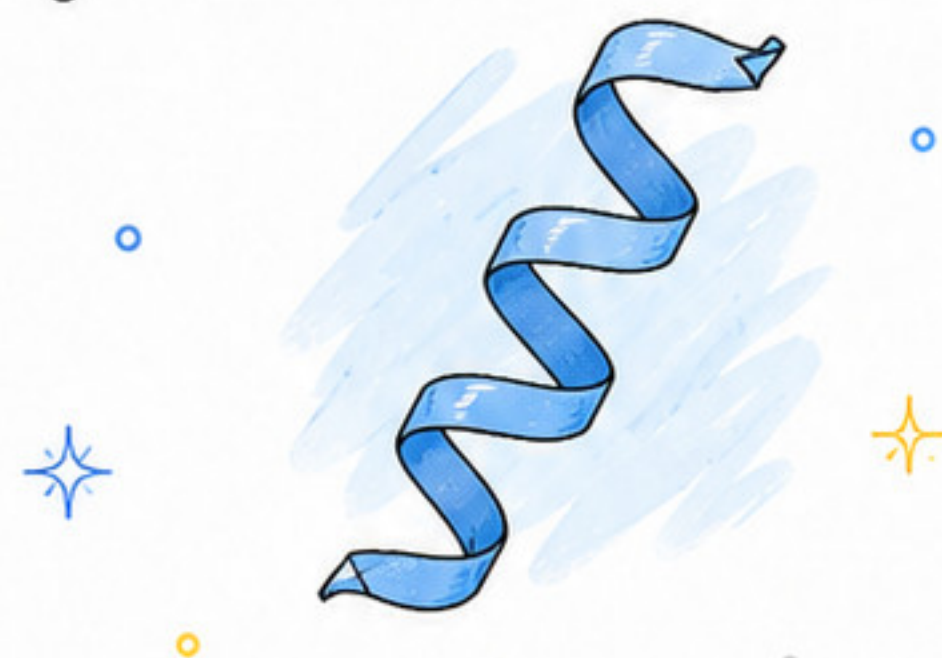
SYGNALIZACJA

MODUŁ 04

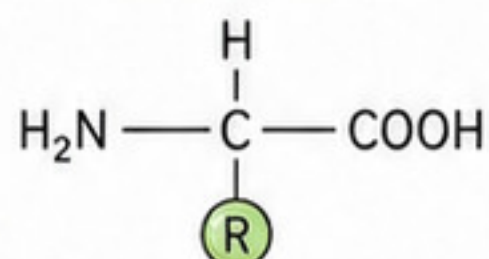


Białka i aminokwasy

Od małego aminokwasu do enzymów, receptorów, mięśni i tysięcy funkcji komórkowych



AMINOKWAS



ŁAŃCUCH POLIPEPTYDOWY



ZWINIĘTE BIAŁKO



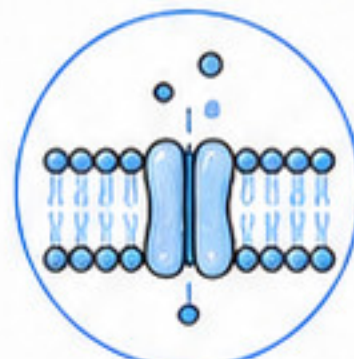
ENZYM



RECEPTOR



MIĘŚIEŃ



TRANSPORT

W tym module poznasz:

- budowę aminokwasu;
- klasyfikację aminokwasów;
- wiązania peptydowe;
- peptydy i białka;
- cztery poziomy struktury białka;
- zależność między strukturą a funkcją;
- denaturację.

Aminokwas – podstawowa jednostka białka



Czym jest aminokwas?

Aminokwasy są podstawowymi jednostkami, z których organizm buduje białka. Można więc myśleć o nich jako o: „cegiełkach białek”.

R

= TO, CO
ODRÓŻNIA
AMINOKWASY

Ogólna budowa aminokwasu

Typowy α -aminokwas posiada centralny atom węgla: C_{α} . Do niego przyłączone są cztery grupy...

ATOM WODORU
—H

H

GRUPA KARBOKSYLOWA
—COOH

COOH

GRUPA AMINOWA
—NH₂

NH₂

C_{α}

R

ŁAŃCUCH BOCZNY
—R

Co jest najważniejsze?

W większości aminokwasów wspólna część struktury jest podobna. To właśnie:

GRUPA R

decyduje o wielu właściwościach aminokwasu.

- ładunek
- polarność
- rozpuszczalność
- wielkość
- sposób oddziaływania z innymi grupami

Dlaczego grupa R jest tak ważna?

różne aminokwasy w łańcuchu białka oddziałują ze sobą w różny sposób



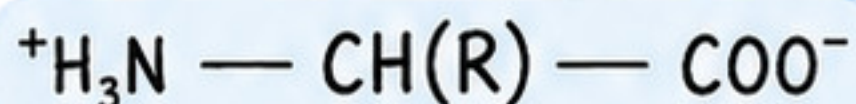
ZWIJANIE BIAŁKA



JEGO FUNKCJA

Stan aminokwasu zależy od pH

W warunkach fizjologicznych aminokwasy najczęściej występują w formie jonu obojnego (zwitterionu):

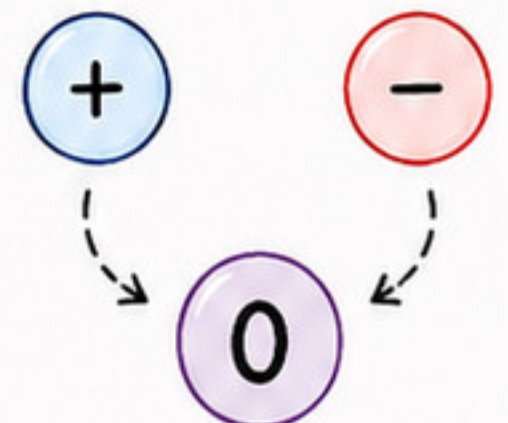


Grupa aminowa jest często protonowana (ładunek +), a grupa karboksylowa zdeprotonowana (ładunek -).



Jon obojny —

cząsteczka posiadająca jednocześnie ładunek dodatni i ujemny, ale której całkowity ładunek może wynosić zero.



AMINOKWAS = WSPÓLNY SZKIELET + UNIKALNA GRUPA R

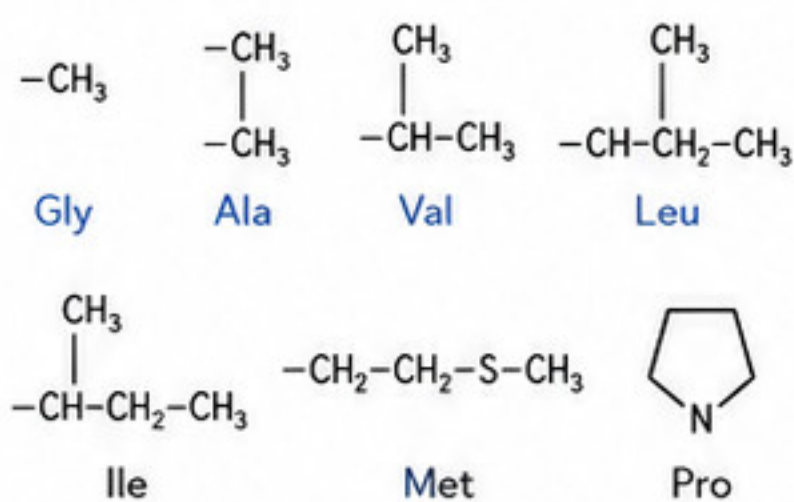
Aminokwasy – jak je uporządkować?



W białkach człowieka występuje 20 podstawowych aminokwasów kodowanych genetycznie. Nie trzeba traktować ich jako 20 przypadkowych cząsteczek. Najłatwiej uporządkować je według właściwości grupy **R**.

1 NIEPOLARNE

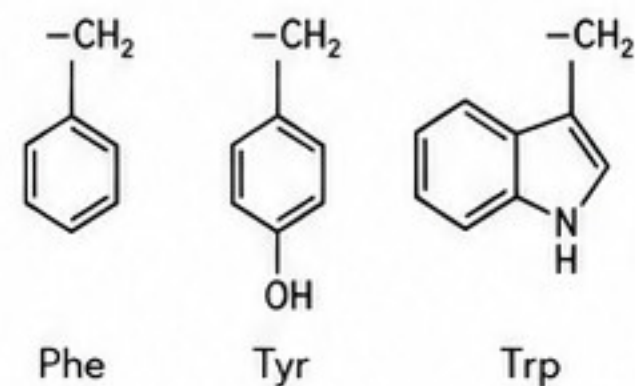
Ich łańcuchy boczne są w dużej mierze hydrofobowe.



glicyna, alanina, walina, leucyna, izoleucyna, metionina, prolina

2 AROMATYCZNE

Posiadają pierścień aromatyczny.



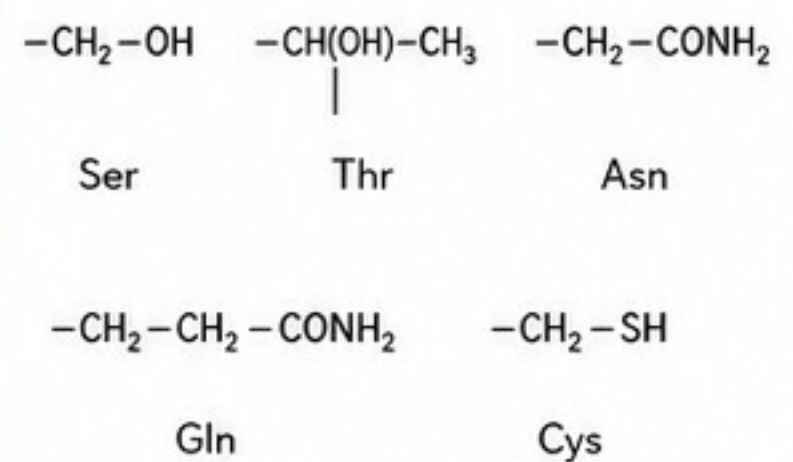
fenylalanina, tyrozyna, tryptofan



Tyrozyna posiada również polarną grupę hydroksylową.

3 POLARNE, BEZ ŁADUNKU

Mogą tworzyć korzystne oddziaływania z wodą.



seryna, treonina, asparagina, glutamina, cysteina

4 KWAŚNE (–)

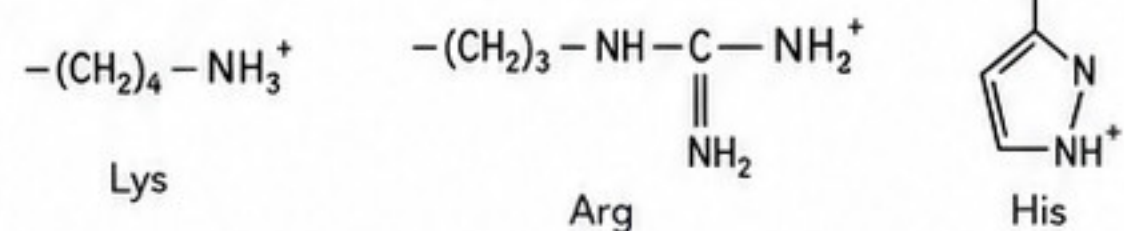
Ich łańcuchy boczne mogą posiadać ujemny ładunek przy fizjologicznym pH.



kwasek asparaginowy, kwas glutaminowy

5 ZASADOWE (+)

Ich łańcuchy boczne mogą posiadać dodatni ładunek.



lizyna, arginina, histydyna



Dlaczego klasyfikacja ma znaczenie?

- Hydrofobowe aminokwasy często preferują kontakt ze sobą zamiast z wodą.
- Grupy o przeciwnych ładunkach mogą tworzyć oddziaływania elektrostatyczne.

WŁAŚCIWOŚCI GRUP R

wpływają na: **ZWIJANIE BIAŁKA**

co wpływa na: **FUNKCJĘ BIAŁKA**



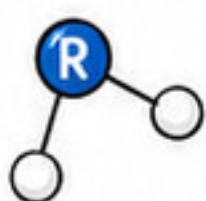
Aminokwasy egzogenne

Organizm człowieka nie potrafi ich samodzielnie syntetyzować w wystarczającej ilości. Muszą być dostarczone z dietą.

histydyna; izoleucyna; leucyna; lizyna; metionina; fenyloalanina; treonina; tryptofan; walina.



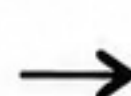
Egzogenne — taki, który musi być dostarczony z zewnątrz, np. wraz z pożywieniem.



GRUPA R



WŁAŚCIWOŚĆ



STRUKTURA BIAŁKA



Jak aminokwasy łączą się w białko?

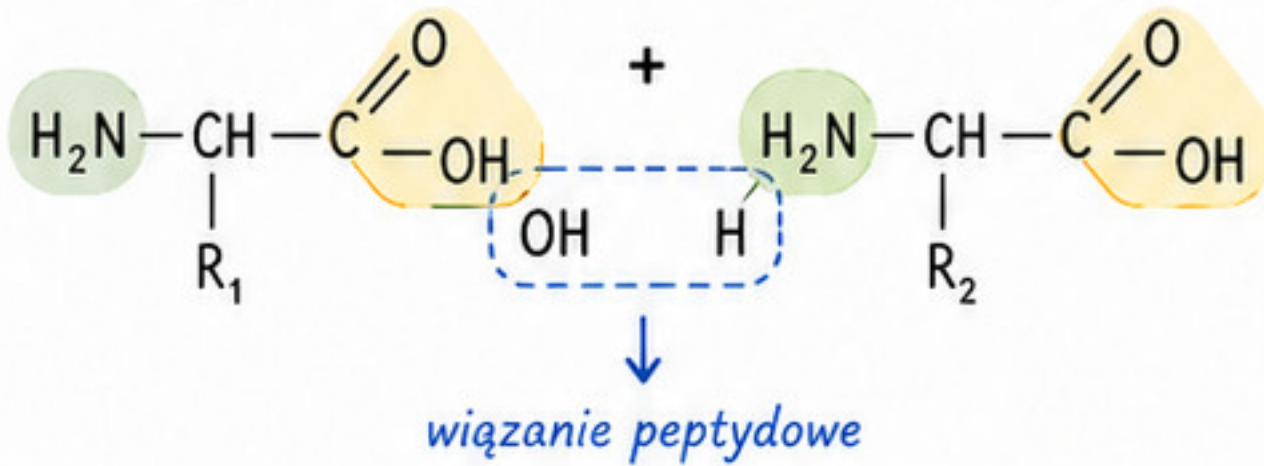


Pojedynczy aminokwas nie tworzy jeszcze białka.
Aminokwasy muszą zostać połączone w: **ŁAŃCUCH**.

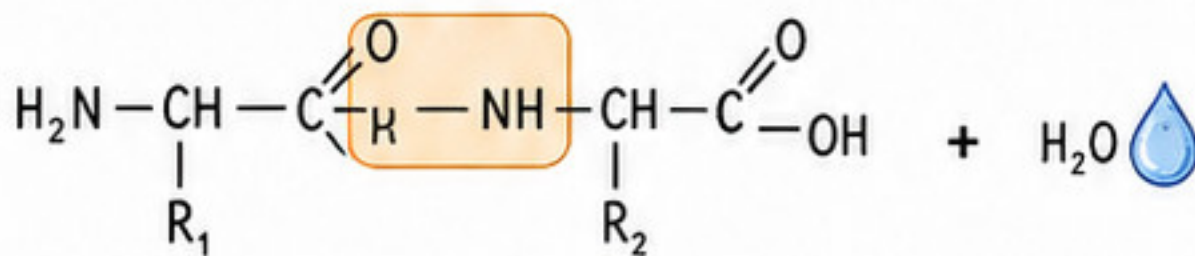
JAK POWSTAJE WIĄZANIE PEPTYDOWE?

AMINOKWAS 1

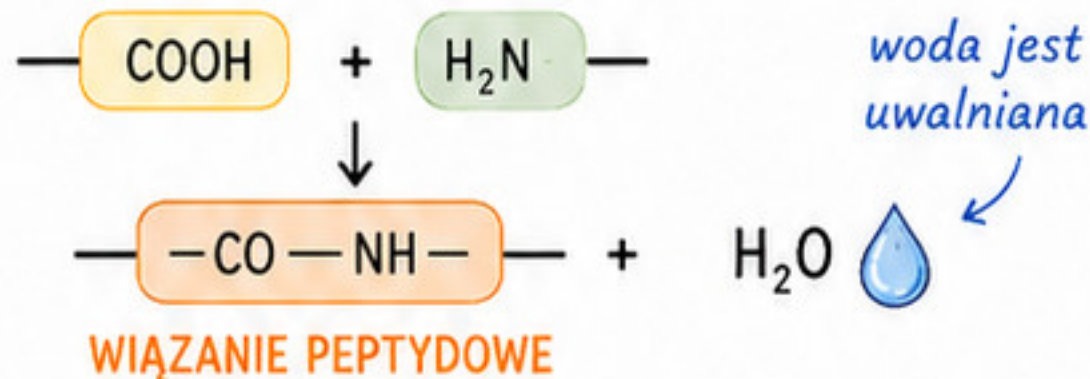
AMINOKWAS 2



DIPEPTYD



UPROSZCZONE UJĘCIE REAKCJI



OD DWÓCH AMINOKWASÓW DO BIAŁKA

2

2 aminokwasy $\rightarrow$ dipeptyd

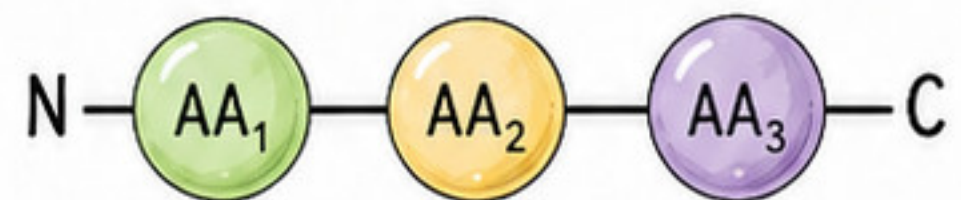
kilka

kilka aminokwasów $\rightarrow$ oligopeptyd / peptyd

wiele

wiele aminokwasów $\rightarrow$ polipeptyd

Polipeptyd może następnie zwinąć się w funkcjonalne białko.



N $\rightarrow$ SEKWENCJA $\rightarrow$ C

ŁAŃCUCH MA KIERUNEK

Każdy polipeptyd posiada:

- KONIEC N** związany z wolną grupą aminową
- KONIEC C** związany z wolną grupą karboksylową

Sekwencję białka zapisujemy zwykle:
od końca **N** $\rightarrow$ do końca **C**.

KONIEC N
wolna grupa
aminowa



KONIEC C
wolna grupa
karboksylowa

CO JEST WAŻNE?



SEKWENCJA =
kolejność aminokwasów



STRUKTURA PRZESTRZENNA =
sposób, w jaki cały łańcuch
układa się w przestrzeni



Sekwencja wpływa na strukturę.

OD SEKWENCJI DO FUNKCJI

SEKWENCJA AMINOKWASÓW



ODDZIAŁYWANIA GRUP R



ZWIJANIE



STRUKTURA BIAŁKA



FUNKCJA

✓ np. enzymatyczna,
transportowa, sygnałowa

Cztery poziomy struktury białka

1. STRUKTURA PIERWSZORZĘDOWA

To: kolejność aminokwasów, czyli sekwencja.

Przykład: Ala — Gly — Ser — Val — Lys — ...



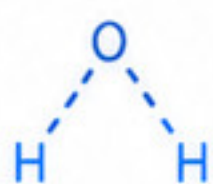
Nawet zmiana jednego aminokwasu może w niektórych przypadkach zmienić właściwości białka.



2. STRUKTURA DRUGORZĘDOWA

To lokalne uporządkowanie fragmentów łańcucha.

Przykłady:

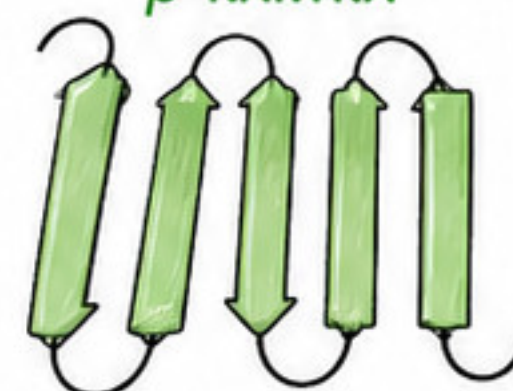


Dużą rolę w ich stabilizacji odgrywają wiązania wodorowe między grupami szkieletu peptydowego.

α -HELISA



β -KARTKA

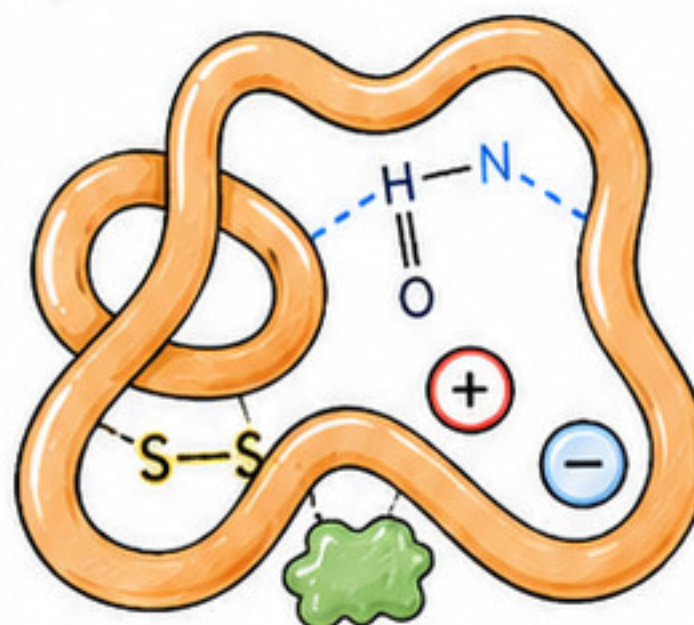


3. STRUKTURA TRZECIORZĘDOWA

To pełny trójwymiarowy kształt pojedynczego łańcucha polipeptydowego.

Siły stabilizujące strukturę trzeciorzędową:

- oddziaływania hydrofobowe;
- wiązania wodorowe;
- oddziaływania jonowe;
- siły van der Waalsą;
- mostki disiarczkowe.



Mostek disiarczkowy może powstać pomiędzy dwiema resztami cysteiny i tworzyć wiązanie:



4. STRUKTURA CZWARTORZĘDOWA

Występuje wtedy, gdy funkcjonalne białko składa się z więcej niż jednego łańcucha polipeptydowego. Każdy łańcuch może być nazywany: podjednostką.

Przykład: Hemoglobina jest zbudowana z czterech podjednostek.



- podjednostka α
- podjednostka β
- podjednostka α
- podjednostka β

ANALOGIA:



pierwszorzędowa	=	litery w zdaniu
drugorzędowa	=	małe lokalne wzory
trzeciorzędowa	=	pełny kształt jednej części
czwartorzędowa	=	kilka części połączonych w jeden działający kompleks

SEKWENCJA



STRUKTURA

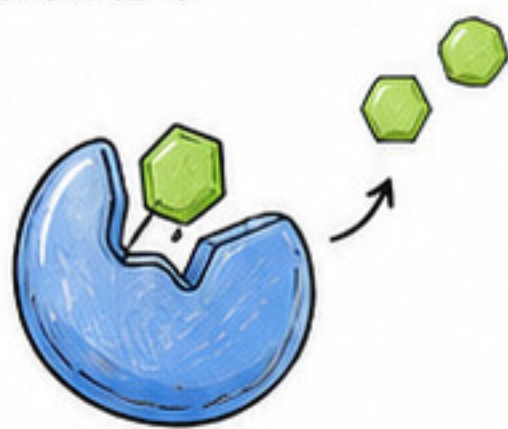


FUNKCJA

Białka – struktura decyduje o funkcji

1 ENZYMY

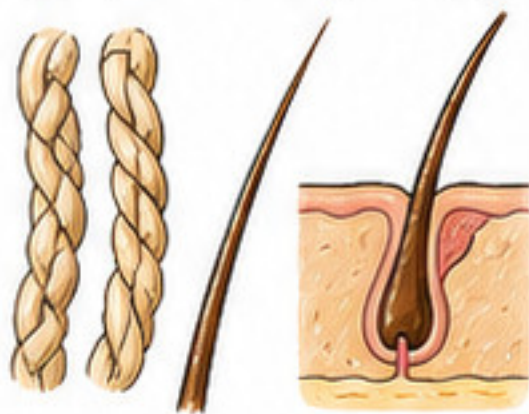
Przyspieszają reakcje chemiczne.



Przykład: amylaza

2 BIAŁKA STRUKTURALNE

Nadają tkankom wytrzymałość i organizację.



Przykłady: kolagen, keratyna

3 BIAŁKA TRANSPORTOWE

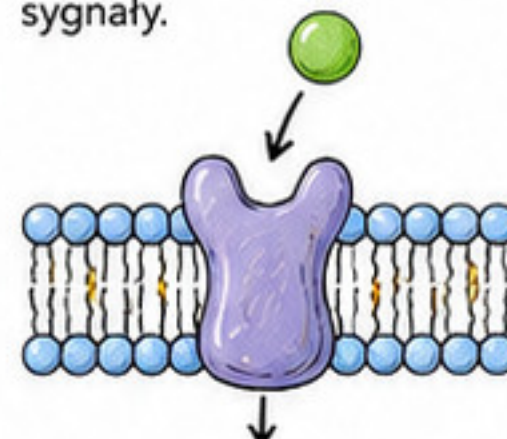
Przenoszą cząsteczki lub jony.



Przykład: hemoglobina
→ transport O_2

4 RECEPTORY

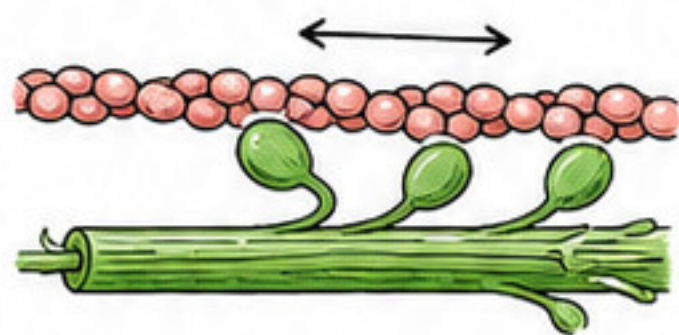
Rozpoznają określone sygnały.



Przykład: receptor wiążący hormon i uruchamiający odpowiedź komórki.

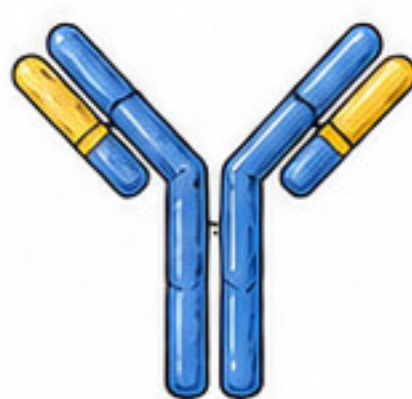
5 BIAŁKA RUCHOWE

Umożliwiają ruch.



Przykłady: aktyna, miozyna

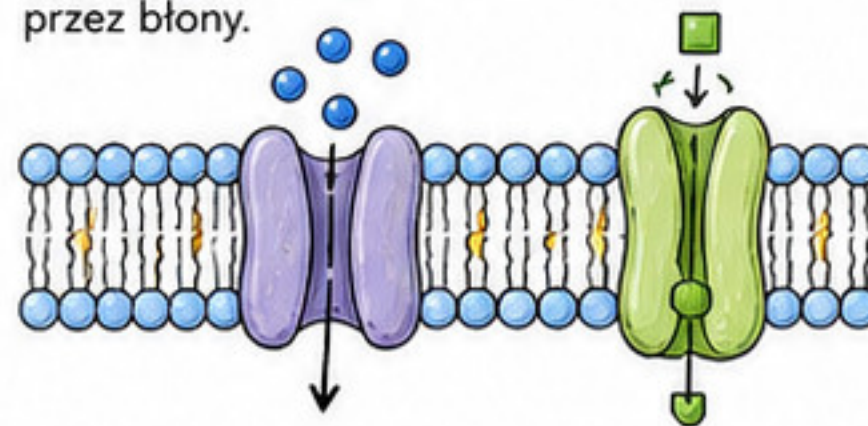
6 BIAŁKA OBRONNE



Przykład: przeciwciała

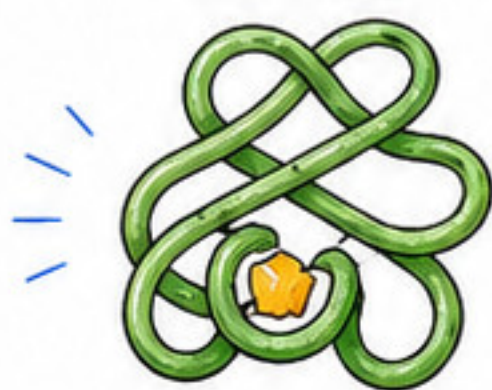
7 KANAŁY I TRANSPORTERY

Kontrolują przepływ substancji przez błony.



DENATURACJA – KIEDY STRUKTURA PRZESTAJE DZIAŁAĆ

AKTYWNE



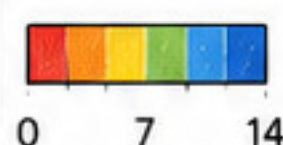
Białko prawidłowo sfałdowane.

CZYNNIKI DENATURUJĄCE

wysoka temperatura



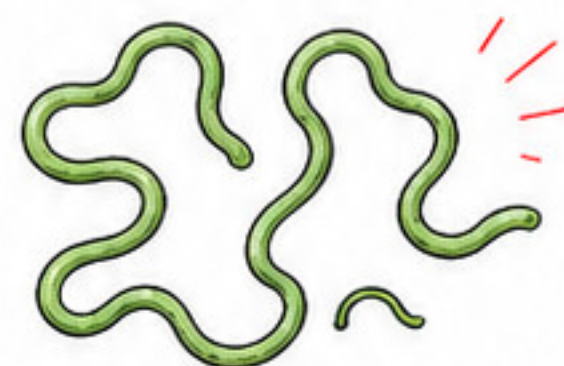
skrajne pH



niektóre substancje chemiczne



DENATUROWANE



Białko rozwinęte lub nieprawidłowo sfałdowane.



Dlaczego kształt jest tak ważny?

Białko działa dzięki swojej określonej strukturze przestrzennej. Enzym musi posiadać właściwy kształt miejsca aktywnego. Jeśli struktura się zmieni, substrat może przestać pasować, a aktywność może spaść.



DENATURACJA

To zaburzenie naturalnej struktury przestrzennej białka. Może być wywołana m.in. przez:

- wysoką temperaturę
- skrajne pH
- niektóre substancje chemiczne.



Denaturacja zwykle nie oznacza rozerwania wszystkich wiązań peptydowych. Najczęściej struktura pierwszorzędowa pozostaje zachowana, ale wyższe poziomy struktury zostają zaburzone.



Podczas smażenia jajka przezroczyste białko jaja staje się białe i stałe. Wysoka temperatura zmienia strukturę zawartych w nim białek. To widoczny przykład: **DENATURACJI**.



PRAWIDŁOWA STRUKTURA

PRAWIDŁOWA FUNKCJA

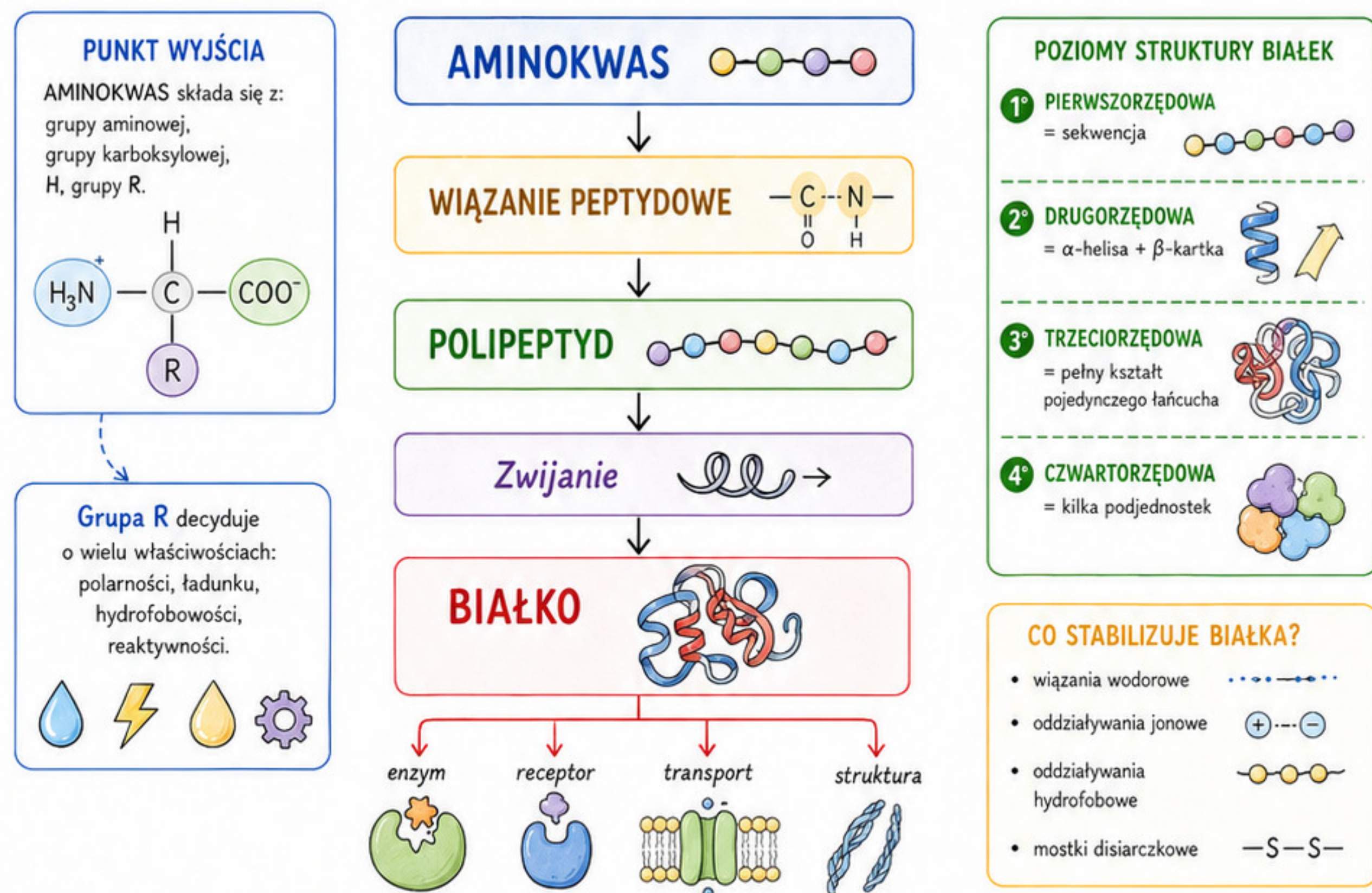
Zmiana struktury

możliwa zmiana lub utrata funkcji.

STRUKTURA

FUNKCJA

Białka i aminokwasy – mapa podsumowująca



SEKWENCJA ↓ STRUKTURA ↓ FUNKCJA

Jeżeli struktura zostanie poważnie zaburzona:

DENATURACJA



może nastąpić:

UTRATA FUNKCJI

SPRAWDŹ SIĘ!

- | | |
|--|---|
| 1 Co bezpośrednio różni dwa aminokwasy o podobnym szkieletcie? | → grupa R |
| 2 Co łączy dwa aminokwasy w łańcuchu? | → wiązanie peptydowe |
| 3 Dlaczego znajomość struktury białka jest ważna? | → Ponieważ sposób zwinięcia białka wpływa na jego zdolność do wykonywania konkretnej funkcji. |

STRUKTURA = FUNKCJA



Niektóre białka potrafią przyspieszać reakcje – to **enzymy**.

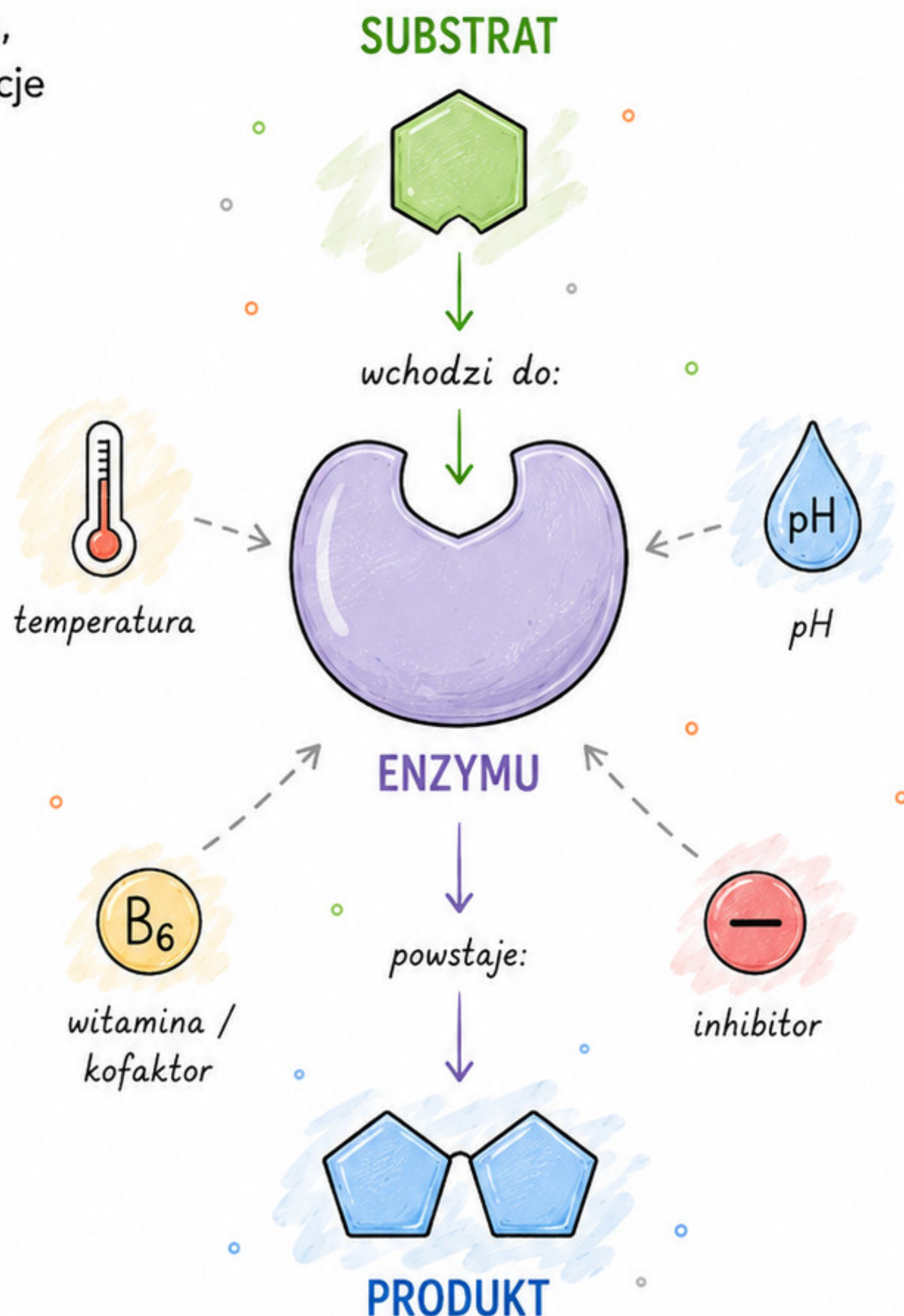
MODUŁ 05

Enzymy i witaminy

Jak komórka przyspiesza, kontroluje i wspiera reakcje biochemiczne

W tym module poznasz:

- czym są enzymy;
- jak działa miejsce aktywne;
- czym są substrat i produkt;
- energię aktywacji;
- czynniki wpływające na aktywność enzymatyczną;
- inhibitory;
- regulację enzymów;
- rolę witamin;
- witaminy rozpuszczalne w wodzie i w tłuszczach.



Enzymy – katalizatory życia

1 CZYM JEST ENZYM?

Enzym to biologiczny katalizator. Oznacza to, że: **przyspiesza reakcję chemiczną** bez trwałego zużycia się w tej reakcji.



Większość enzymów jest: **BIAŁKAMI**, ale istnieją także katalityczne cząsteczki RNA nazywane: **rybozymami**.

2 DLACZEGO ENZYMY SĄ POTRZEBNE?

Wiele reakcji chemicznych jest możliwych termodynamicznie, ale bez pomocy zachodziłyby zbyt wolno. Komórka potrzebuje sposobu na ich przyspieszenie.

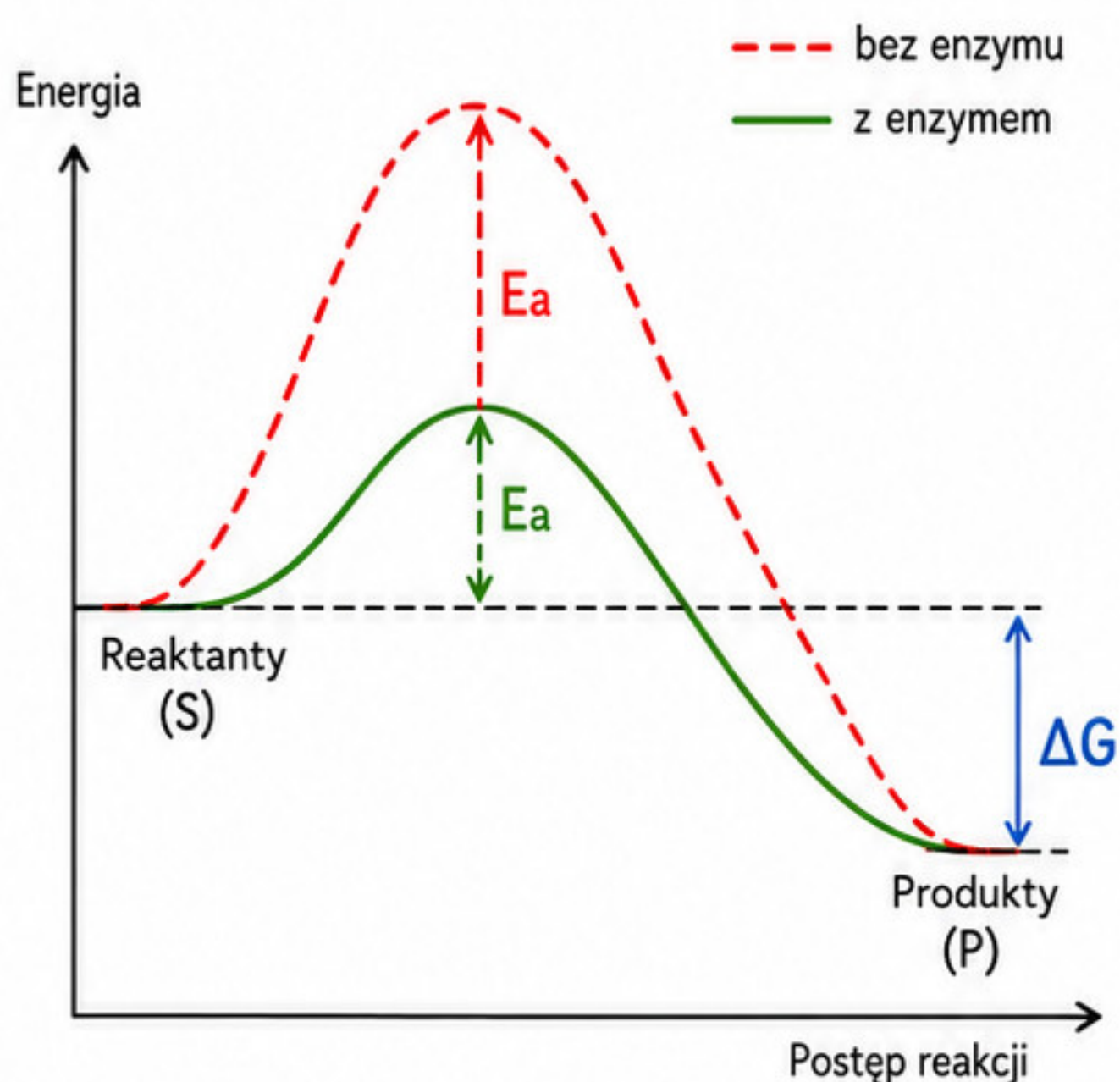


3 ENERGIA AKTYWACJI

Żeby reakcja mogła rozpocząć się, reagujące cząsteczki muszą pokonać pewną barierę energetyczną. Nazywamy ją: **ENERGIĄ AKTYWACJI**. Symbol: E_a .



PROFIL ENERGETYCZNY REAKCJI



ENZYM OBNIŻA E_a , ALE NIE ZMIENIA ΔG REAKCJI



Enzym nie zmienia:

- całkowitej zmiany energii swobodnej reakcji;
- położenia równowagi chemicznej.

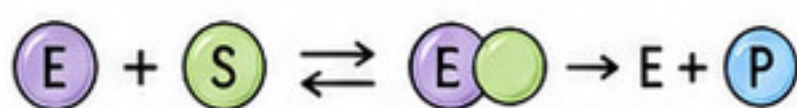
Zmienia przede wszystkim:

- **SZYBKOŚĆ** osiągnięcia równowagi.



Enzym: **OBNIŻA ENERGIĘ AKTYWACJI** ↓
dlatego: **REAKCJA ZACHODZI SZYBCIEJ**

MECHANIZM DZIAŁANIA ENZYMU



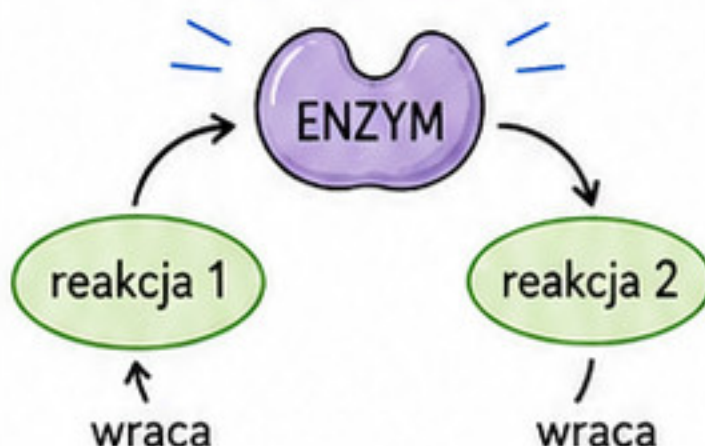
E = enzym

S = substrat

ES = kompleks enzym-substrat

P = produkt

ENZYM NIE JEST ZUŻYWANY

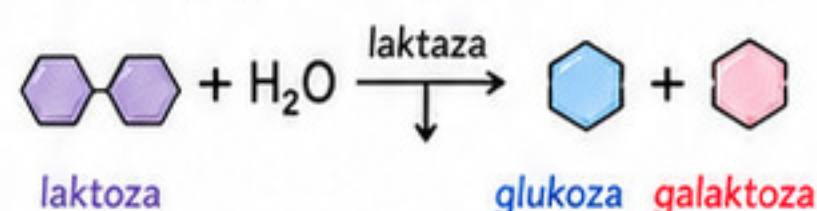


PRZYKŁAD PRAKTYCZNY

Enzym: laktaza

Substrat: laktoza

Produkty: glukoza + galaktoza



ENZYM $\neq$ ENERGIA

Enzym nie „daje energii” reakcji. On: **ułatwia drogę** do jej zajścia poprzez obniżenie bariery energetycznej.



Jak działa enzym?

1 MIEJSCE AKTYWNE

Enzym posiada określony obszar, w którym wiąże się substrat.

Nazywamy go:

MIEJSCEM AKTYWNYM.

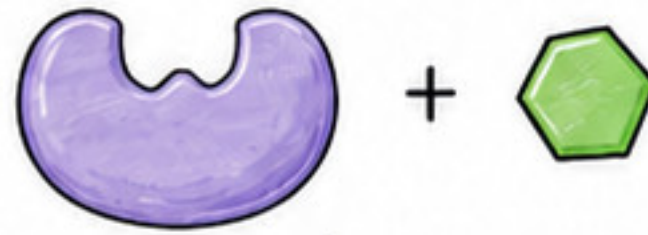
To właśnie tam zachodzi najważniejsza część reakcji.



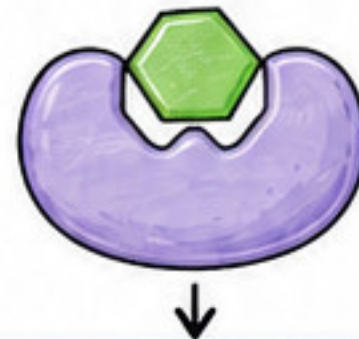
KLUCZOWA IDEA

Enzym nie zużywa się w reakcji — działa jako katalizator i może być użyty wielokrotnie.

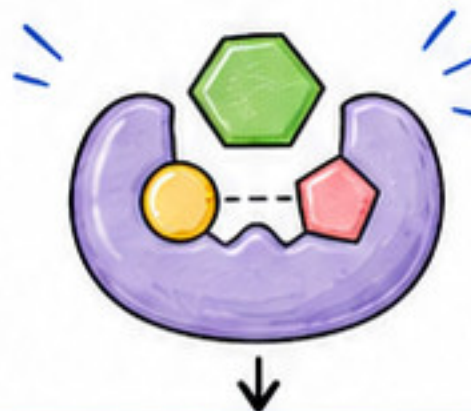
1 ENZYM + SUBSTRAT



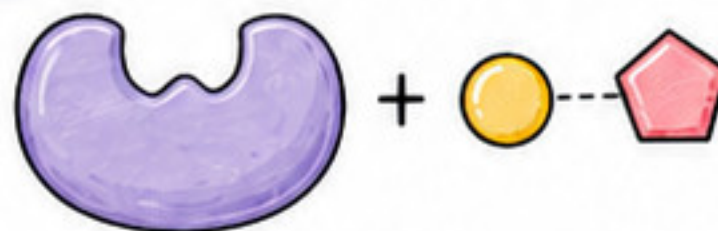
2 KOMPLEKS ENZYM-SUBSTRAT



3 REAKCJA



4 ENZYM + PRODUKT



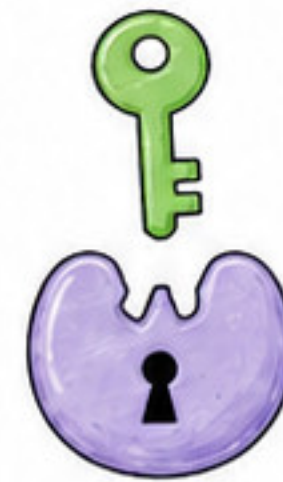
Enzym po reakcji może zostać użyty ponownie.

3 DLACZEGO SUBSTRAT PASUJE DO ENZYMU?

- kształt
- ładunek
- polarność
- możliwość tworzenia wiązań
- oddziaływania hydrofobowe

MODEL KLUCZ-ZAMEK

substrat = klucz,
enzym = zamek



pomaga zrozumieć swoistość, ale jest uproszczeniem.

MODEL INDUKOWANEGO DOPASOWANIA

bardziej realistyczny model

SUBSTRAT ZBLIŻA SIĘ



ENZYM ZMIENIA KONFORMACJĘ



LEPSZE DOPASOWANIE



REAKCJA



Konformacja — przestrzenny kształt cząsteczki, który może zmieniać się bez zrywania głównego szkieletu wiązań kowalencyjnych.



Stan przejściowy — bardzo krótkotrwały, wysokoenergetyczny etap pomiędzy substratem a produktem. Enzym pomaga go stabilizować.

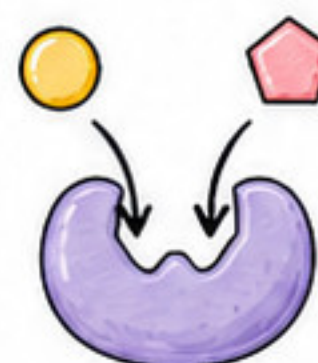
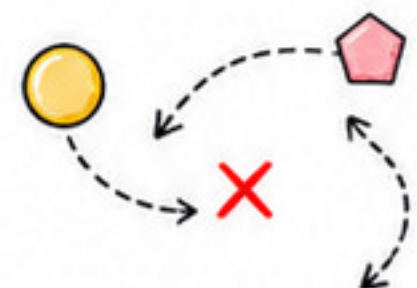


ENZYM NIE TYLKO „TRZYMA” SUBSTRAT.

Tworzy środowisko, które ułatwia jego przemianę w produkt.

PRZYKŁAD PRAKTYCZNY

Wyobraź sobie dwa substraty, które muszą zderzyć się pod odpowiednim kątem. W roztworze może zdarzać się to rzadko.



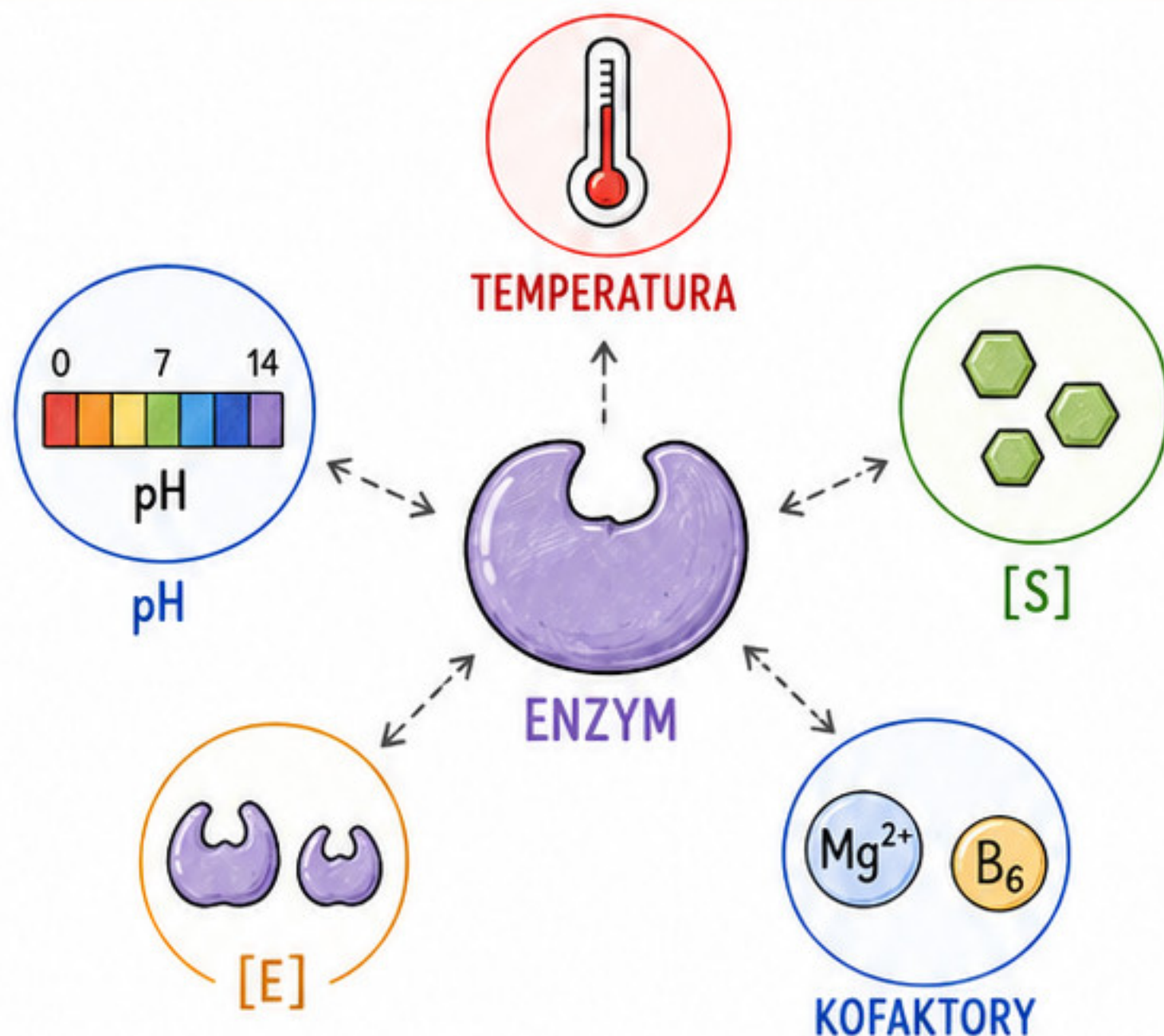
Enzym:

- ✓ wiąże oba substraty
- ✓ ustawia je blisko siebie
- ✓ orientuje prawidłowo
- ✓ zwiększa prawdopodobieństwo reakcji

Co wpływa na szybkość działania enzymu?



Aktywność enzymów nie jest stała – zależy od warunków i dostępności enzymu oraz substratu.



1 TEMPERATURA

Wzrost temperatury może przyspieszać reakcje do pewnego momentu, ale zbyt wysoka temperatura może zaburzyć strukturę białka.

zaburzenie struktury

↓
DENATURACJA

↓
niższa aktywność

★ **temperatura optymalna**
= najlepsza szybkość reakcji

2 pH

Zmiany pH mogą wpływać na:

- ładunek grup funkcyjnych,
- strukturę miejsca aktywnego,
- wiązanie substratu,
- strukturę całego enzymu.

Przykłady praktyczne:



pepsyna –
kwaśne środowisko
żołądka



trypsyna –
bardziej zasadowe
środowisko jelita cienkiego

3 STĘŻENIE SUBSTRATU

więcej substratu

↓
częstsze wiązanie enzymu

↓
większa szybkość reakcji

Przy dużym stężeniu substratu enzym ulega nasyceniu – wszystkie miejsca aktywne są zajęte.

MAKSYMALNA SZYBKOŚĆ = V_{max}

Dalszy wzrost stężenia substratu nie zwiększa już istotnie szybkości reakcji.

4 STĘŻENIE ENZYMU

więcej enzymu

↓
więcej miejsc aktywnych

↓
potencjalnie: szybsza reakcja

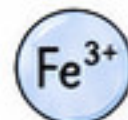
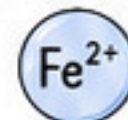
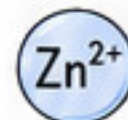
Przy stałym stężeniu substratu szybkość reakcji jest wprost proporcjonalna do ilości enzymu (dopóki substrat nie staje się ograniczający).

5 KOFAKTORY I KOENZYMY

Niektóre enzymy wymagają dodatkowych składników do działania.

KOFAKTOR

może być jonem metalu, np.:



KOENZYM

to organiczna cząsteczka pomocnicza.

★ Wiele koenzymów pochodzi z witamin.
(np. NAD^+ – z witaminy B_3)

ZRÓŻNOC STĘŻENIA SUBSTRATU A SZYBKOŚĆ REAKCJI



PODSUMOWANIE

AKTYWNOŚĆ ENZYMU

zależy od:

- ✓ temperatury,
- ✓ pH,
- ✓ [substratu],
- ✓ [enzymu],
- ✓ kofaktorów.



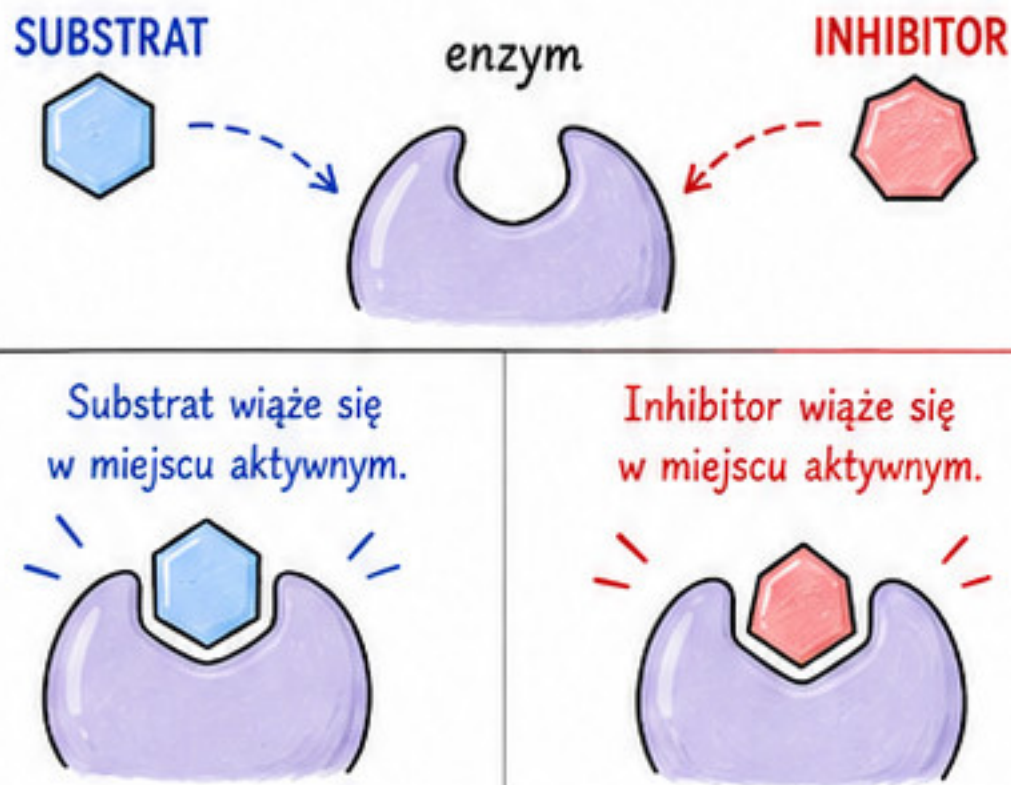
Jak można zahamować lub regulować enzym?



Organizm nie potrzebuje, aby wszystkie enzymy działały cały czas z maksymalną szybkością. Dlatego aktywność enzymów jest **REGULOWANA**. Jednym ze sposobów regulacji jest **INHIBICJA**, czyli zmniejszenie aktywności enzymu.

1 INHIBICJA KOMPETYCYJNA

Inhibitor i substrat konkurują o **MIEJSCE AKTYWNE**.



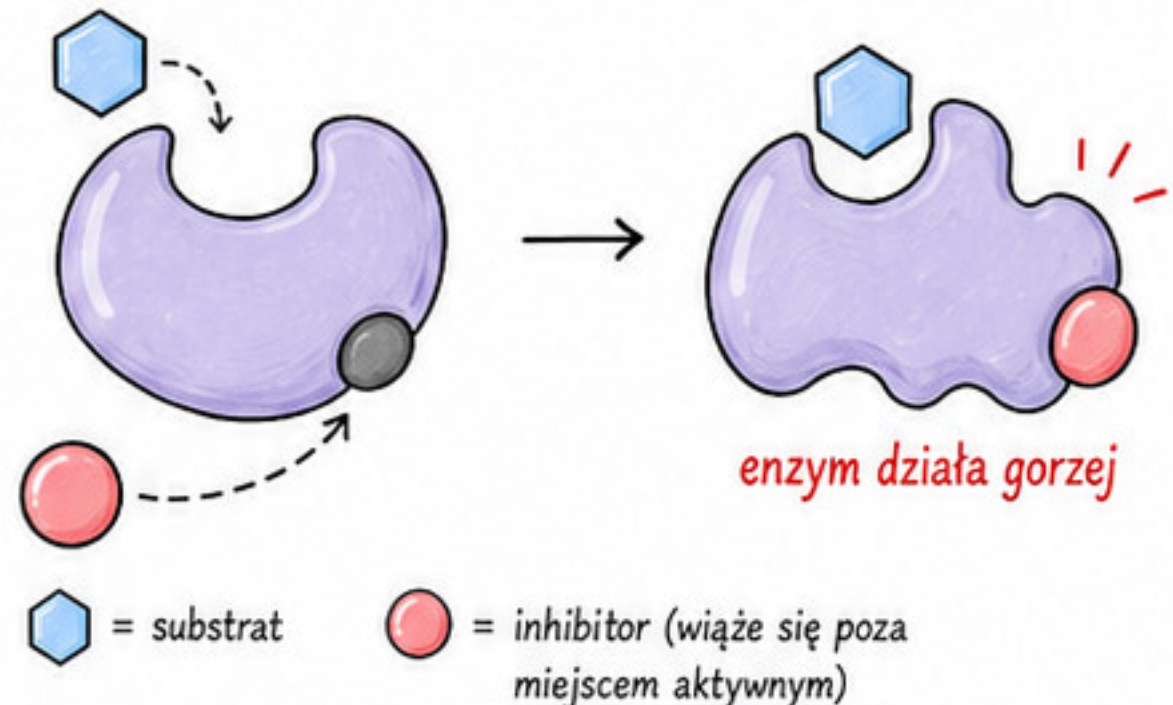
- Jeżeli inhibitor zajmie miejsce aktywne, substrat nie może się związać.
- Zwiększenie stężenia substratu może zwiększyć prawdopodobieństwo, że to właśnie substrat zwiąże enzym.



ZAPAMIĘTAJ:
KOMPETYCYJNY = WALCZY O TO SAMO MIEJSCE

2 INHIBICJA NIEKOMPETYCYJNA — UPROSZCZENIE

Inhibitor wiąże się poza miejscem aktywnym i zmienia aktywność enzymu. Nie musi blokować bezpośrednio miejsca wiązania substratu. W efekcie enzym działa gorzej, nawet jeśli substrat nadal może się związać.



ZAPAMIĘTAJ:

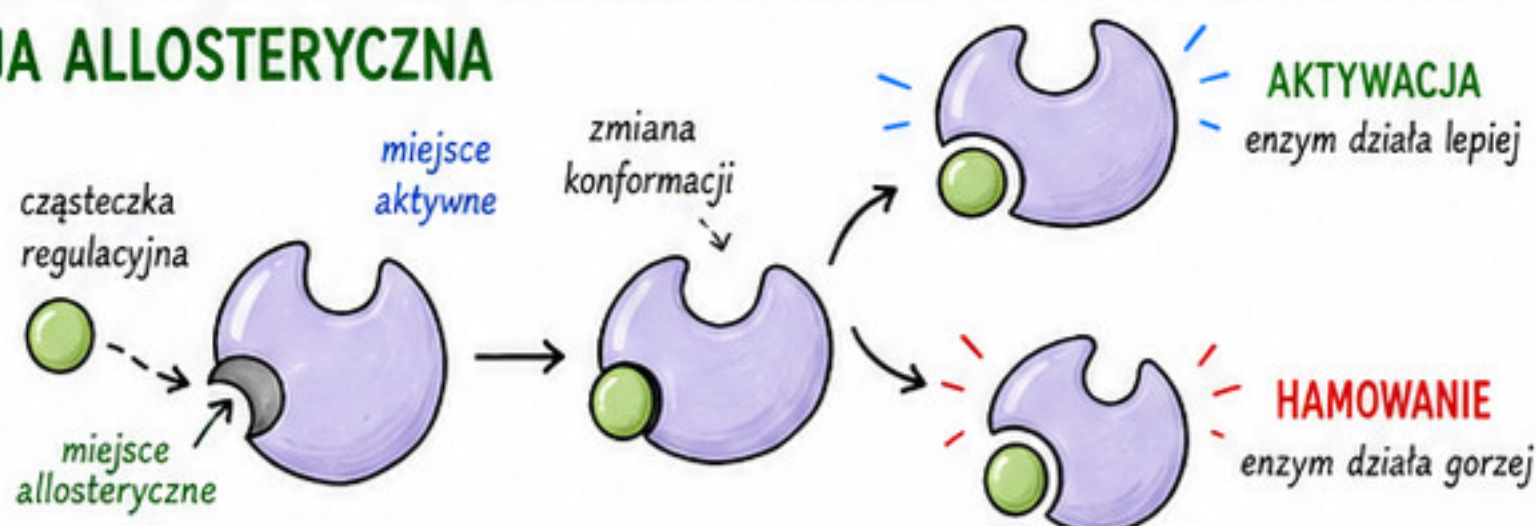
NIEKOMPETYCYJNY = ZMIENIA DZIAŁANIE ENZYMU Z INNEGO MIEJSCA



UWAGA TECHNICZNA: Klasyczna inhibicja niekompetycyjna jest szczególnym przypadkiem inhibicji mieszanej. Na tym etapie najważniejsze jest zrozumienie różnicy funkcjonalnej między blokowaniem miejsca aktywnego a regulacją przez inne miejsce białka.

3 REGULACJA ALLOSTERYCZNA

Enzym ma **MIEJSCE ALLOSTERYCZNE** (inne niż miejsce aktywne).



Cząsteczka regulacyjna wiąże się w miejscu allosterycznym i wywołuje zmianę kształtu białka.

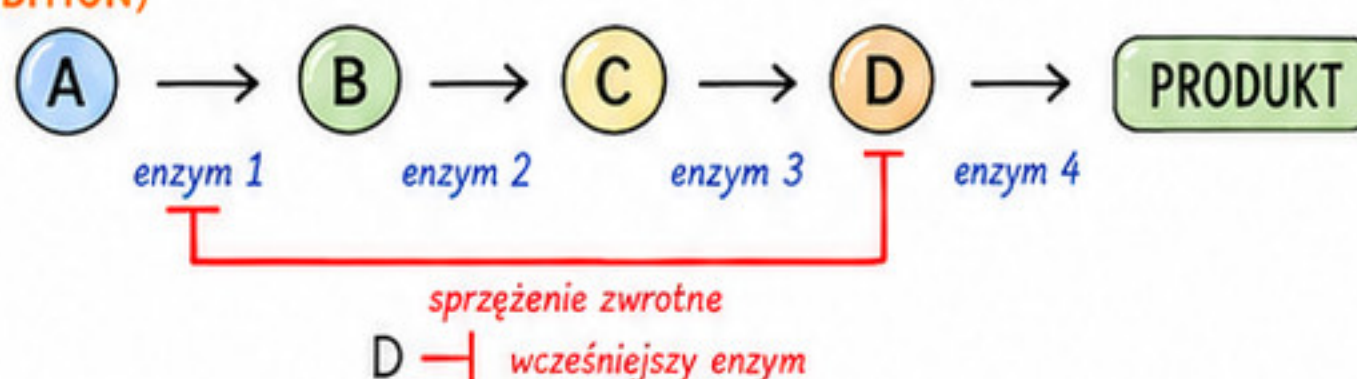
To może:

- **AKTYWOWAĆ** (zwiększyć aktywność) albo
- **HAMOWAĆ** (zmniejszyć aktywność) enzym.

Allosteryczny oznacza działający poprzez związanie w miejscu innym niż miejsce aktywne.

4 INHIBICJA SPRZĘŻENIEM ZWROTNYM (FEEDBACK INHIBITION)

Jeżeli w komórce jest dużo końcowego produktu szlaku, hamuje on wcześniejszy enzym i spowalnia produkcję.



DLACZEGO TO WAŻNE?

- Zapobiega nadprodukcji zbędnego produktu.
- Oszczędza energię i surowce.
- Utrzymuje równowagę i homeostazę.



ZASADA KLUCZOWA:

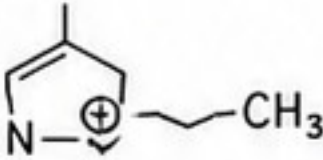
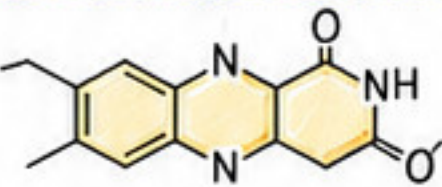
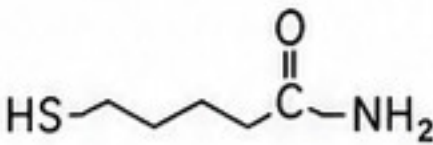
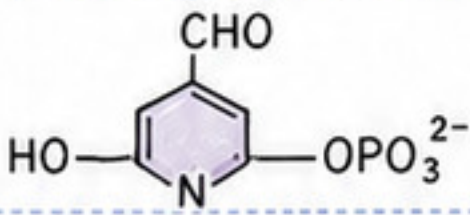
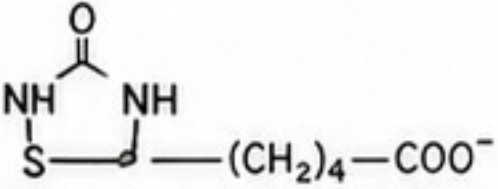
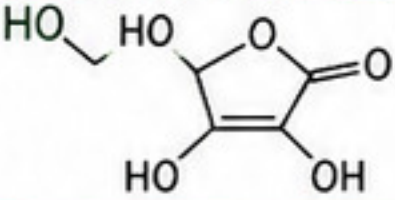
REGULACJA ENZYMU = REGULACJA PRZEPŁYWU PRZEZ SZLAK METABOLICZNY

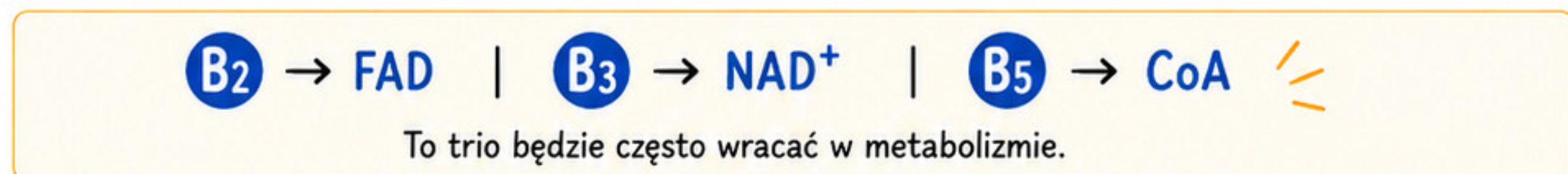
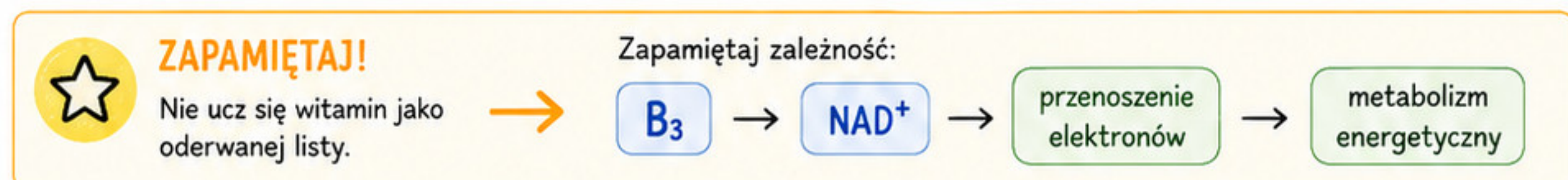
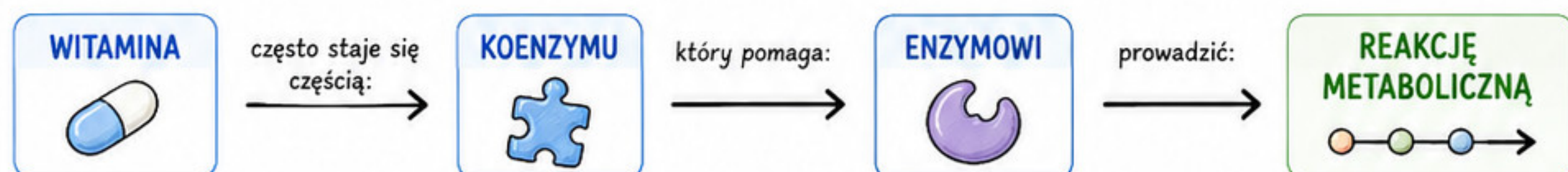
Witaminy rozpuszczalne w wodzie



Witaminy to związki organiczne potrzebne w małych ilościach do prawidłowego funkcjonowania organizmu. Nie są głównym źródłem energii. Często umożliwiają jednak prawidłowe działanie reakcji metabolicznych.

WITAMINY ROZPUSZCZALNE W WODZIE: witaminy z grupy B oraz witamina C

WITAMINA	NAJWAŻNIEJSZE SKOJARZENIE	GŁÓWNA ROLA
B1 TIAMINA	TPP 	● uczestniczy w metabolizmie węglowodanów; ważna dla dehydrogenazy pirogronianowej i cyklu Krebsa .
B2 RYBOFLAWINA	FAD / FMN 	● reakcje redoks (utleniania-redukcji).
B3 NIACYNA	NAD ⁺ / NADP ⁺	● nośnik elektronów w glikolizie , cyklu Krebsa , β-oksydacji .
B5 KWAS PANTOTENOWY	CoA 	● transportuje grupy acylowe; ważna cząsteczka: acetylo-CoA .
B6 PIRYDOKSYNA	PLP 	● aktywna forma (fosforan pirydoksalu) bierze udział, zwłaszcza w metabolizmie aminokwasów .
B7 BIOTYNA	BIOTYNA 	● przenoszenie CO₂ , reakcje karboksylacji .
B9 FOLIANY	THF (tetrahydrofolian)	● przenoszenie jednostek jednowęglowych ; niezbędne do syntezy nukleotydów .
B12 KOBALAMINA	B ₁₂ 	● ważna dla metabolizmu niektórych kwasów tłuszczowych i aminokwasów, syntezy DNA , prawidłowego funkcjonowania układu nerwowego .
C WITAMINA C kwas askorbinowy	kwas askorbinowy 	● antyoksydant, kofaktor enzymatyczny, ważna w syntezie kolagenu .



Witaminy rozpuszczalne w tłuszczach – A, D, E, K



Do witamin rozpuszczalnych w tłuszczach należą: A — D — E — K.
Do ich prawidłowego wchłaniania potrzebne są m.in. lipidy pokarmowe oraz prawidłowe procesy trawienia i wchłaniania tłuszczów.



A WITAMINA A



Ważna dla:

- WZROKU
- RÓŻNICOWANIA KOMÓREK
- NABŁONKÓW



Jedna z pochodnych bierze udział w widzeniu.

D WITAMINA D



Działa podobnie do hormonu.
Ważna dla Ca^{2+} i fosforanów.

WITAMINA D



gospodarka wapniowo-fosforanowa



kości



Wspiera mineralizację kości.

E WITAMINA E



Ważna jako:

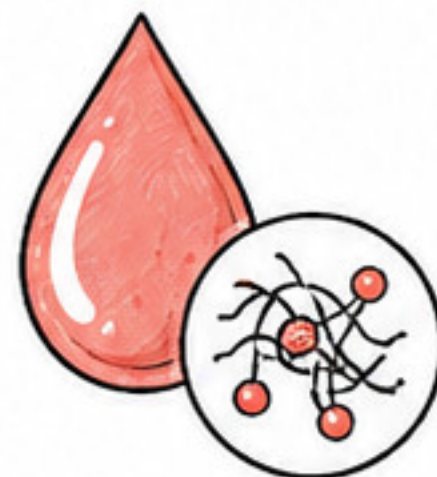
- **ANTYOKSYDANT**

Chroni lipidy błonowe przed uszkodzeniami oksydacyjnymi.



Antyoksydant = substancja pomagająca ograniczać reakcje utleniania prowadzące do uszkodzeń biologicznych.

K WITAMINA K



Niezbędna do prawidłowego funkcjonowania białek uczestniczących w **KRZEPNIĘCIU KRWI**.

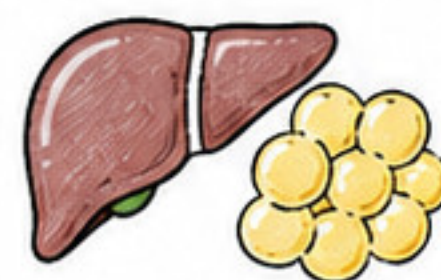


wchłanianie
razem z lipidami



Dlaczego ADEK różnią się od witamin rozpuszczalnych w wodzie?

Witaminy A, D, E i K mogą być w większym stopniu magazynowane w tkankach organizmu (głównie w wątrobie i tkance tłuszczowej). Dlatego ich nadmierne spożycie może łatwiej prowadzić do **KUMULACJI**.



ZAPAMIĘTAJ:

A — wzrok

D — wapń i kości

E — antyoksydant

K — krzepnięcie



**ROZPUSZCZALNOŚĆ
W TŁUSZCZACH**



WCHŁANIANIE



TRANSPORT



MAGAZYNOWANIE



Enzymy i witaminy – mapa podsumowująca

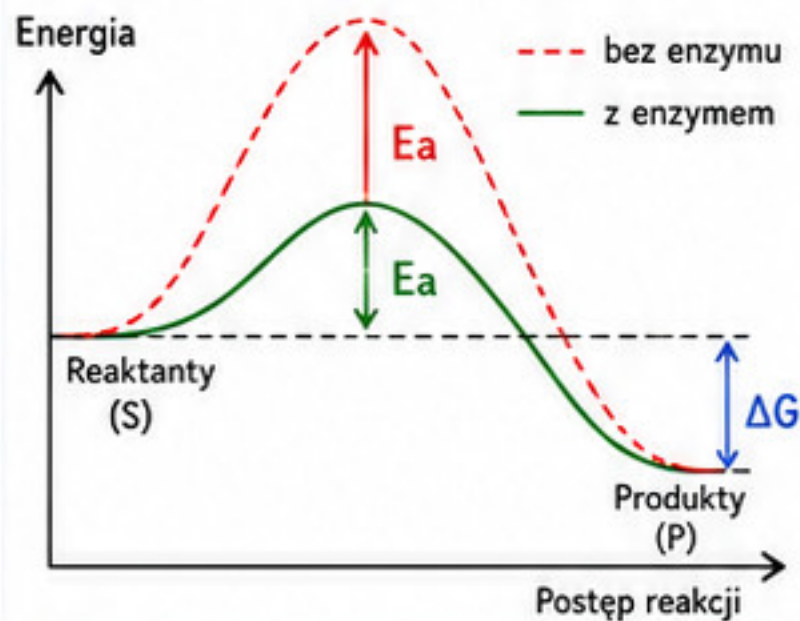
1. ENZYMY – KLUCZOWE FAKTY

ENZYM = BIOLOGICZNY KATALIZATOR

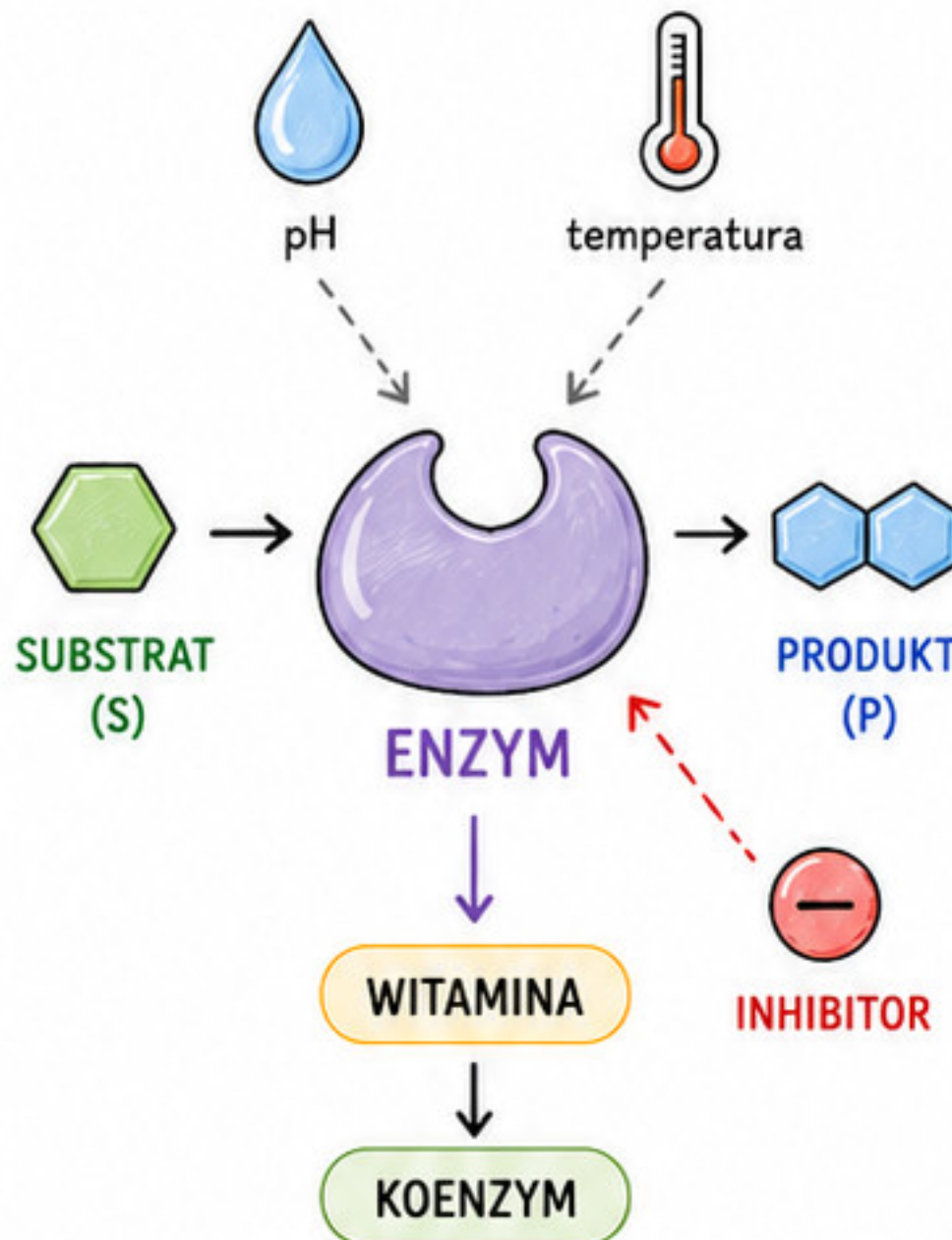
↓
obniża **ENERGIĘ AKTYWACJI**
↓
zwiększa **SZYBKOŚĆ REAKCJI**
ale

**NIE ZMIENIA ΔG REAKCJI
ANI POŁOŻENIA RÓWNOWAGI**

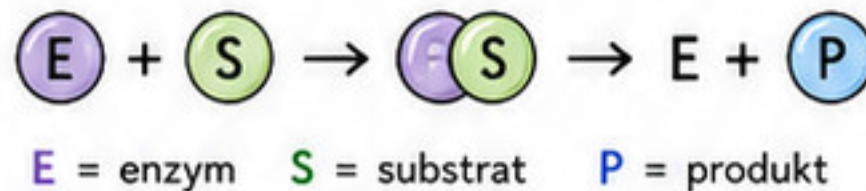
PROFIL ENERGETYCZNY REAKCJI



**! ENZYM OBNIŻA E_a ,
ALE NIE ZMIENIA ΔG REAKCJI
ANI POŁOŻENIA RÓWNOWAGI.**



CYKL KATALITYCZNY ENZYMU



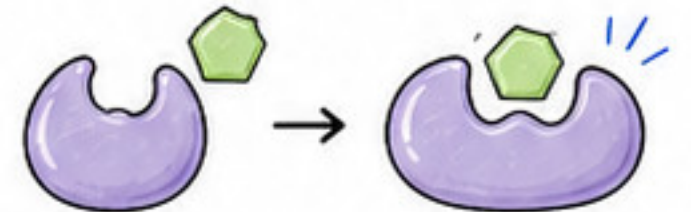
2. MIEJSCE AKTYWNE



Miejsce aktywne odpowiada za wiązanie substratu i katalizę.

Dopasowanie może być dynamiczne:

INDUKOWANE DOPASOWANIE



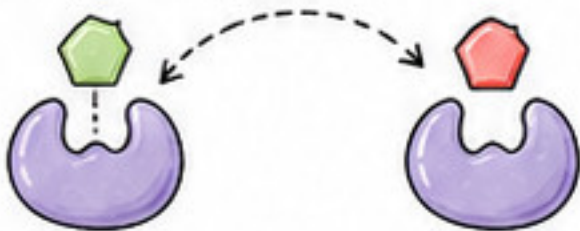
3. AKTYWNOŚĆ ENZYMU ZALEŻY OD:

- temperatura
- pH
- stężenie substratu
- stężenie enzymu
- kofaktory
- regulatory

4. INHIBITORY

a) INHIBITOR KOMPETYCYJNY

konkuruje z substratem o miejsce aktywne.



b) INHIBITOR ALLOSTERYCZNY (REGULACYJNY)

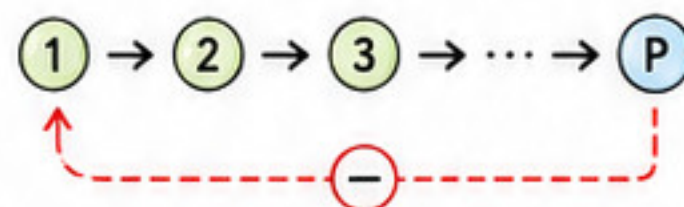
wiąże się w innym miejscu i zmienia aktywność enzymu.



5. REGULACJA METABOLICZNA

Produkt końcowy może hamować wcześniejszy etap szlaku.

SPRZĘŻENIE ZWROTNE



6. KOFAKTOR I KOENZYM

- **Kofaktor** – pomocniczy składnik niebędący białkiem (np. jon metalu).
Przykład: Mg^{2+}
- **Koenzym** – organiczny kofaktor, często przenosi grupy lub elektrony.
Wiele koenzymów powstaje z witamin.

7. WITAMINY → KOENZYMY / FUNKCJE

B ₁	B ₁	→	TPP
B ₂	B ₂	→	FAD / FMN
B ₃	B ₃	→	NAD ⁺ / NADP ⁺
B ₅	B ₅	→	CoA
B ₆	B ₆	→	metabolizm aminokwasów
B ₇	B ₇	→	karboksylacja
B ₉	B ₉ / B ₁₂	→	metabolizm jednostek C ₁ i synteza DNA
C	C	→	kolagen + antyoksydant
A	A	→	wzrok
D	D	→	Ca ²⁺ + kości
E	E	→	antyoksydant
K	K	→	krzepnięcie



WAŻNE!

- Enzymy nie zmieniają energii swobodnej reakcji ani stałej równowagi.
- Mogą działać w obie strony (reakcje odwracalne).
- Każdy enzym ma specyficzny substrat lub grupę substratów.
- Enzymy są wielokrotnego użytku – nie zużywają się w reakcji.

ENZYM + WARUNKI + KOFAKTOR = SPRAWNA REAKCJA



PYTANIE KONTROLNE

Dlaczego niedobór witaminy może zaburzać metabolizm, nawet jeśli witamina sama nie jest źródłem energii?

ODPOWIEDŹ

Ponieważ niektóre witaminy są prekursorami koenzymów potrzebnych enzymom do przeprowadzania reakcji metabolicznych.

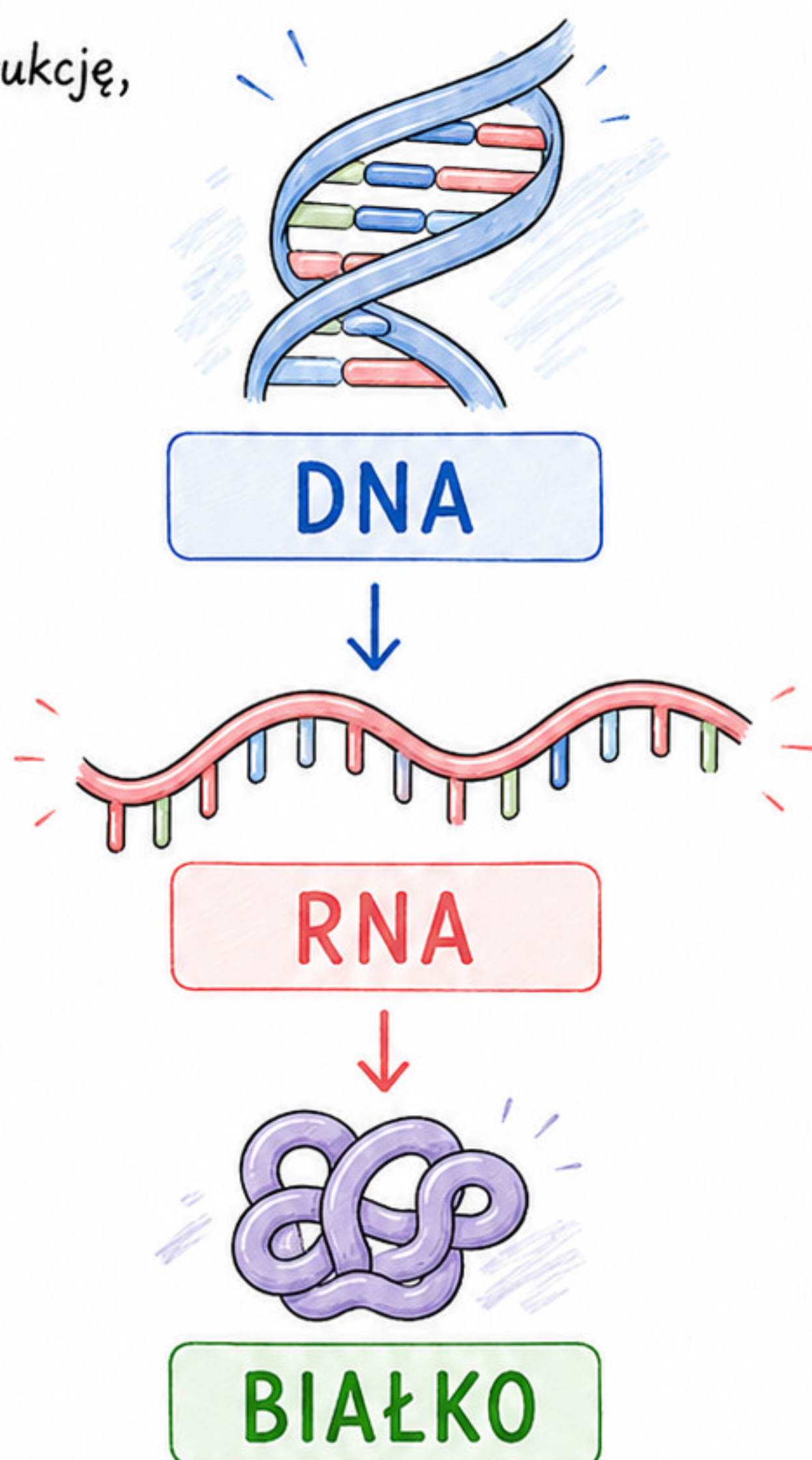
MODUŁ 06

Kwasy nukleinowe

Jak komórka przechowuje instrukcję,
kopiuje ją i zamienia w białko

W tym module poznasz:

- nukleotydy;
- DNA;
- RNA;
- strukturę podwójnej helisy;
- zasadę komplementarności;
- replikację DNA;
- transkrypcję;
- translację;
- przepływ informacji genetycznej.



INFORMACJA → KOPIA → FUNKCJA

Nukleotyd – podstawowa jednostka DNA i RNA

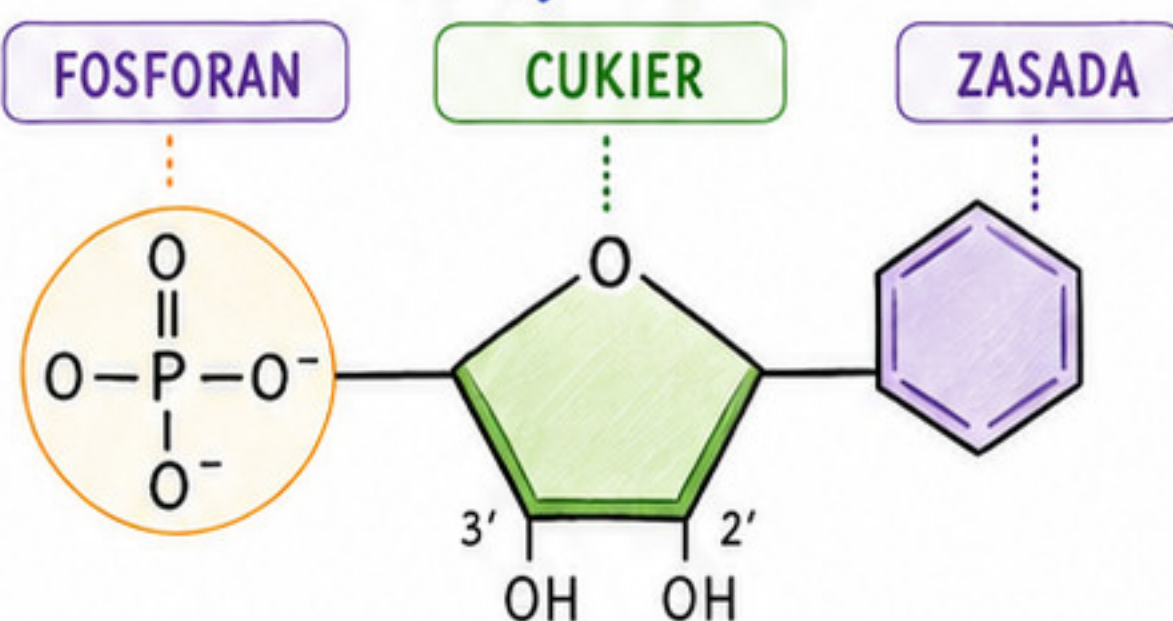
1. NUKLEOTYD

Kwasy nukleinowe zbudowane są z jednostek zwanych nukleotydami.

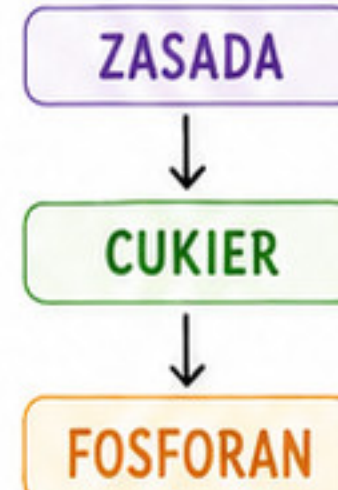
Każdy nukleotyd ma trzy podstawowe elementy:

- 1 ZASADA AZOTOWA
- 2 CUKIER PENTOZOWY
- 3 RESZTA FOSFORANOWA

Nukleotyd – budowa

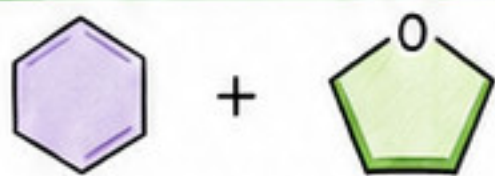


KOLEJNOŚĆ TWORZENIA NUKLEOTYDU



2. NUKLEOZYD A NUKLEOTYD

NUKLEOZYD = zasada + cukier

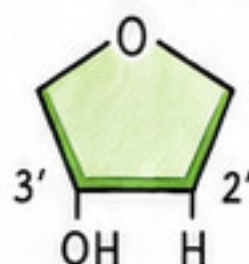


NUKLEOTYD = zasada + cukier + fosforan



3. DNA

Cukier: **DEOKSYRYBOZA**

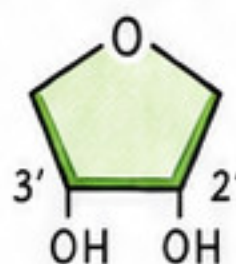


Zasady azotowe:

- A – adenina
- T – tymina
- G – guanina
- C – cytozyna

4. RNA

Cukier: **RYBOZA**



Zasady azotowe:

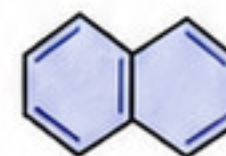
- A – adenina
- U – uracyl
- G – guanina
- C – cytozyna

5. NAJWAŻNIEJSZA RÓŻNICA W ZASADACH

DNA: **T** | RNA: **U**

6. PURYNY I PIRYMIDYNY

PURYNY → adenina (A), guanina (G)



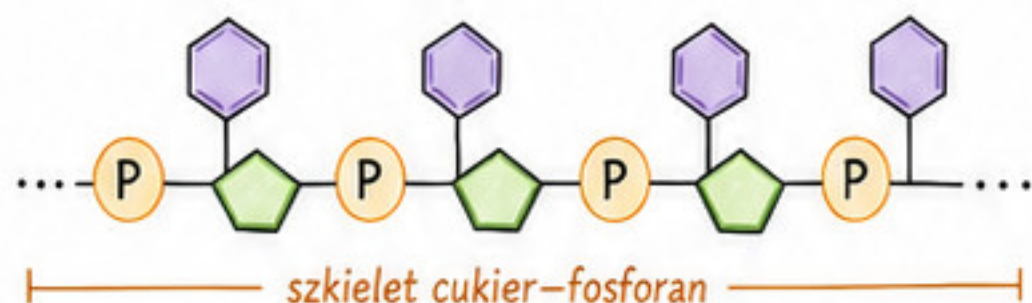
PIRYMIDYNY → cytozyna (C), tymina (T), uracyl (U)



7. JAK NUKLEOTYDY ŁĄCZĄ SIĘ W ŁAŃCUCH?

Nukleotydy łączą się ze sobą za pomocą **WIĄZAŃ FOSFODIESTROWYCH**.

Tworzą one **SZKIELET CUKIER-FOSFORAN** łańcucha kwasu nukleinowego.



8. ŁAŃCUCH MA KIERUNEK

Kwasy nukleinowe zapisujemy:

5' → 3'

Kierunek ten ma kluczowe znaczenie podczas:

- replikacji (kopiowanie DNA)
- transkrypcji (synteza RNA)
- translacji (synteza białka)

9. DNA I RNA – SZYBKIE PORÓWNANIE

CECHA	DNA	RNA
Cukier	deoksyryboza	ryboza
Zasada charakterystyczna	T (tymina)	U (uracyl)
Typowa struktura	dwuniciowa (podwójna helisa)	jednoniciowa
Główna rola	magazyn informacji genetycznej	wykorzystanie informacji (geny → białka)

10. PODSUMOWANIE KLUCZOWE

NUKLEOTYDY

tworzą:

DNA / RNA

które uczestniczą w:

PRZECHOWYWANIU I ODCZYTANIU INFORMACJI GENETYCZNEJ



ZAPAMIĘTAJ!

Kluczowa zależność:

NUKLEOZYD

+

FOSFORAN

=

NUKLEOTYD

Budowa DNA

Podwójna helisa, komplementarność i kierunek nici

DNA

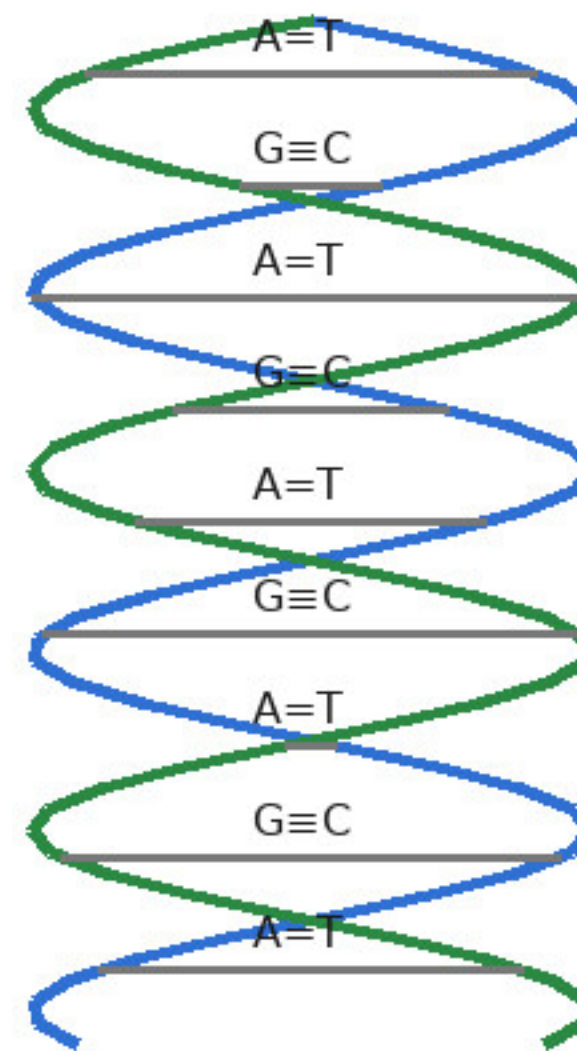
DNA, czyli kwas deoksyrybonukleinowy, przechowuje informację genetyczną komórki.

Informacja ta jest zapisana w kolejności zasad azotowych.

Nukleotyd DNA składa się z:

- 1 **ZASADA AZOTOWA**
- 2 **DEOKSYRYBOZA**
- 3 **FOSFORAN**

Podwójna helisa



nić 5' → 3'

nić 3' → 5'

Zasady i komplementarność



A łączy się z T, a G łączy się z C. Dzięki temu jedna nić może służyć jako matryca dla drugiej.

Cechy struktury DNA

- dwie nici tworzą podwójną helisę
- nici są antyrównoległe: 5'→3' i 3'→5'
- zasady znajdują się wewnątrz helisy
- szkielet cukrowo-fosforanowy jest na zewnątrz

Kluczowa zależność

SEKWENCJA ZASAD

→ INFORMACJA GENETYCZNA

→ BIAŁKO

→ FUNKCJA KOMÓRKI

DNA nie jest tylko „rysunkiem helisy”. To uporządkowany nośnik informacji, w którym kolejność zasad ma znaczenie biologiczne.

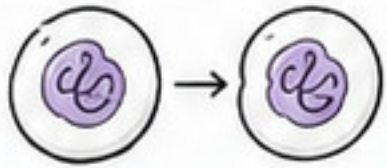
Replikacja DNA — jak komórka kopiuje informację?

1 WPROWADZENIE

Przed podziałem komórki musi ona skopiować swoje DNA.

Ten proces nazywamy

REPLIKACJĄ DNA.

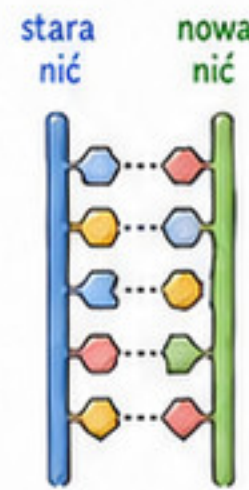


2 GŁÓWNA ZASADA

Każda stara nić DNA służy jako

MATRYCA

do syntezy nowej nici komplementarnej.



3 REPLIKACJA JEST SEMIKONSERWATYWNA

Każda nowo powstała cząsteczka DNA zawiera:

- ✓ 1 starą nić
- ✓ 1 nowo zsyntetyzowaną nić

=

Każda cząsteczka potomna zachowuje jedną nić rodzicielską.



4 KROK 1 — Rozplecenie helisy

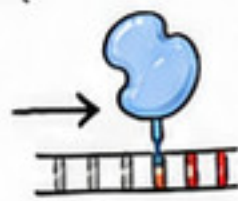
HELIKAZA rozdziela nici DNA, przerywając wiązania wodorowe i tworzy **WIDEŁKI REPLIKACYJNE**.



5 KROK 2 — Starter

POLIMERAZA DNA nie może zacząć syntezy całkowicie od zera.

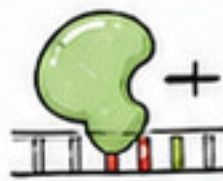
PRYMAZA syntetyzuje krótki **STARTER RNA**, od którego może rozpocząć się wydłużanie.



6 KROK 3 — Synteza nowej nici

POLIMERAZA DNA dołącza nukleotydy komplementarne do matrycy, wydłużając nową nić. Synteza zachodzi zawsze:

5' → 3'



11 KROK 4 — Łączenie fragmentów

LIGAZA DNA łączy fragmenty Okazaki na nici opóźnionej, tworząc ciągłą nić DNA przez utworzenie wiązań fosfodiesterowych.



NIĆ WIODĄCA — SYNTEZA CIĄGŁA

Nowa nić jest syntetyzowana ciągle w kierunku ruchu widełek replikacyjnych.

NIĆ OPÓŹNIONA — FRAGMENTY OKAZAKI

Nowa nić jest syntetyzowana w krótkich odcinkach (fragmenty Okazaki), przeciwnie do kierunku ruchu widełek.

DLACZEGO SĄ DWIE STRATEGIE?

Nici DNA są **ANTIPARALLELNE**:

5' → 3'
3' ← 5'

Ponieważ **POLIMERAZA DNA** może dodawać nukleotydy tylko w kierunku 5' → 3', jedna nić może być syntetyzowana ciągle, a druga — w fragmentach.

! WAŻNE FAKTY

- Replikacja zaczyna się w wielu miejscach jednocześnie (*origins*) u eukariontów.
- Startery RNA są później zastępowane DNA.
- Replikacja jest dokładna, ale nie całkowicie pozbawiona błędów — polimerazy mają korektę proofreading.
- Do replikacji potrzebna jest energia z hydrolizy nukleotydów.

12 PODSTAWOWE ENZYMY REPLIKACJI



HELIKAZA
rozdziela nici DNA



PRYMAZA
tworzy starter RNA



POLIMERAZA DNA
syntetyzuje dna (5' → 3')



LIGAZA
łączy fragmenty Okazaki

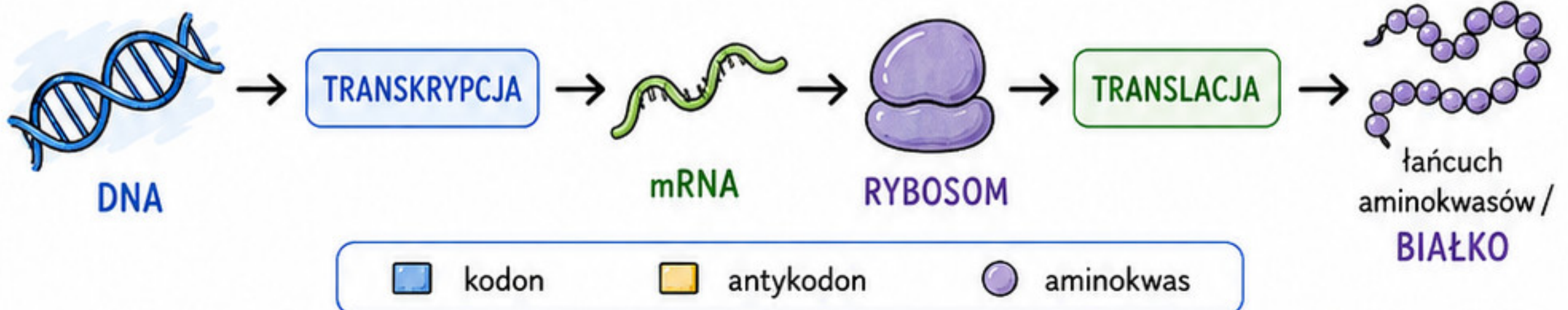
SYNTEZA DNA: 5' → 3'

Od DNA do białka – transkrypcja i translacja



Centralny przepływ informacji genetycznej:

DNA → **RNA** → **BIAŁKO**



1 TRANSKRYPCJA

To proces przepisywania informacji z DNA na RNA.

Enzym: **POLIMERAZA RNA**

RNA jest syntetyzowane: 5' → 3'

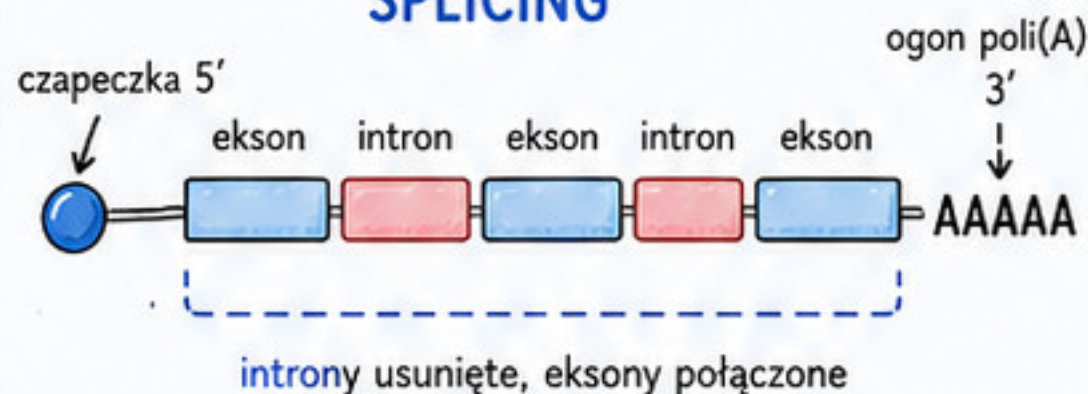
nić matrycowa DNA: 3' – T A C G G A – 5'
| | | | |
mRNA: 5' – A U G C C U – 3'

W RNA zamiast tyminy występuje uracyl – **U**.

U eukariontów:

czapeczka 5', poliadenylacja 3',
wycinanie intronów, łączenie eksonów

SPLICING



- **Intron** — fragment usuwany podczas dojrzewania RNA
- **Ekson** — fragment pozostający w dojrzałym RNA

2 TRANSLACJA

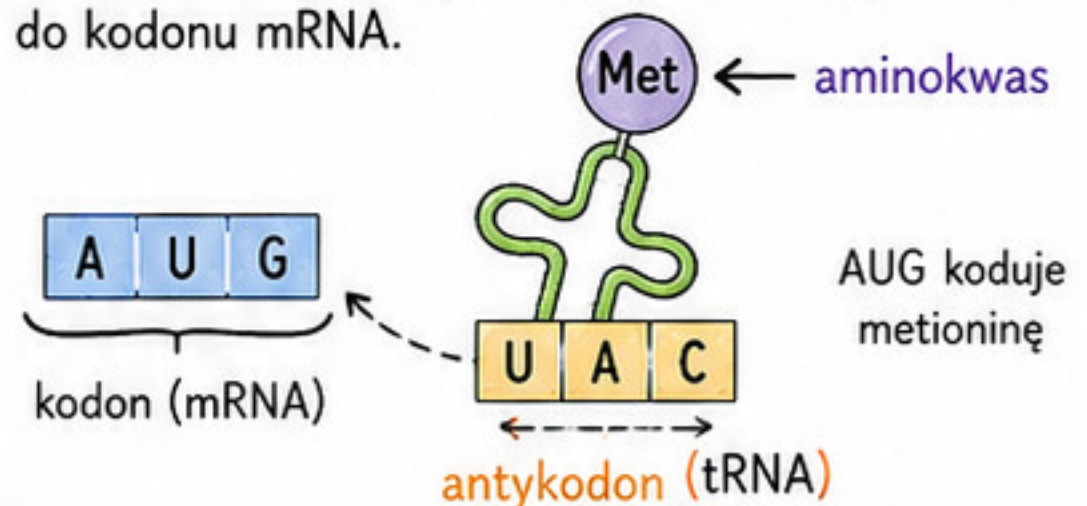
To proces tłumaczenia informacji zawartej w mRNA na sekwencję aminokwasów. Zachodzi na rybosomach.

mRNA jest odczytywane po trzy nukleotydy — **KODON**.

mRNA: 5' – **AUG** – GCU – **AAA** – 3'
↓ ↓ ↓
AUG | GCU | AAA
↓ ↓ ↓
Met → **Ala** → **Lys**

AUG = metionina, zwykle kodon **START**

tRNA transportuje konkretny aminokwas. **ANTYKODON** tRNA jest komplementarny do kodonu mRNA.



UAA, UAG, UGA
sygnał zakończenia translacji

SEKWENCJA DNA



SEKWENCJA mRNA



SEKWENCJA
AMINOKWASÓW



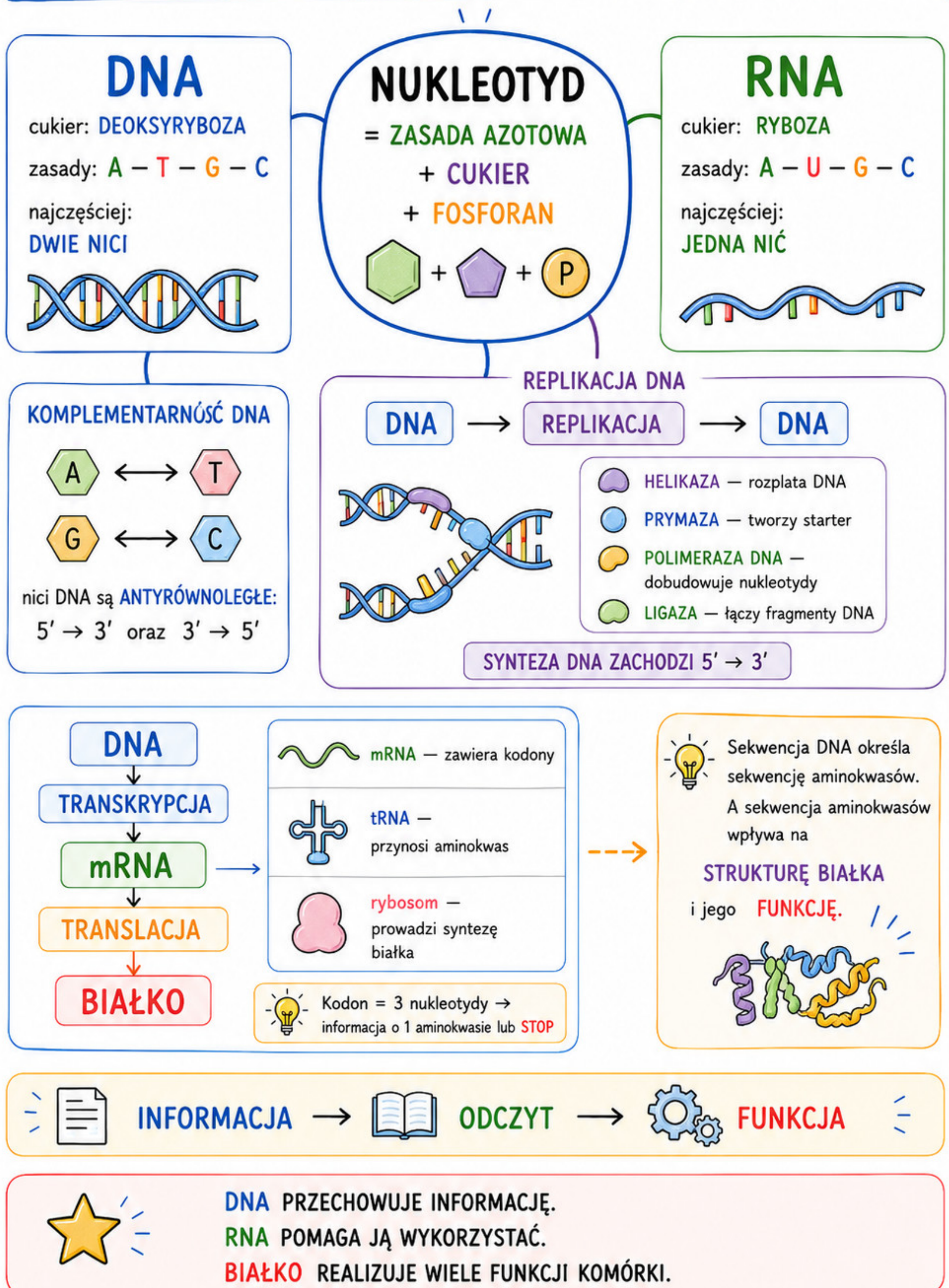
STRUKTURA
BIAŁKA



FUNKCJA
BIAŁKA



Kwasy nukleinowe – mapa podsumowująca



MODUŁ 07

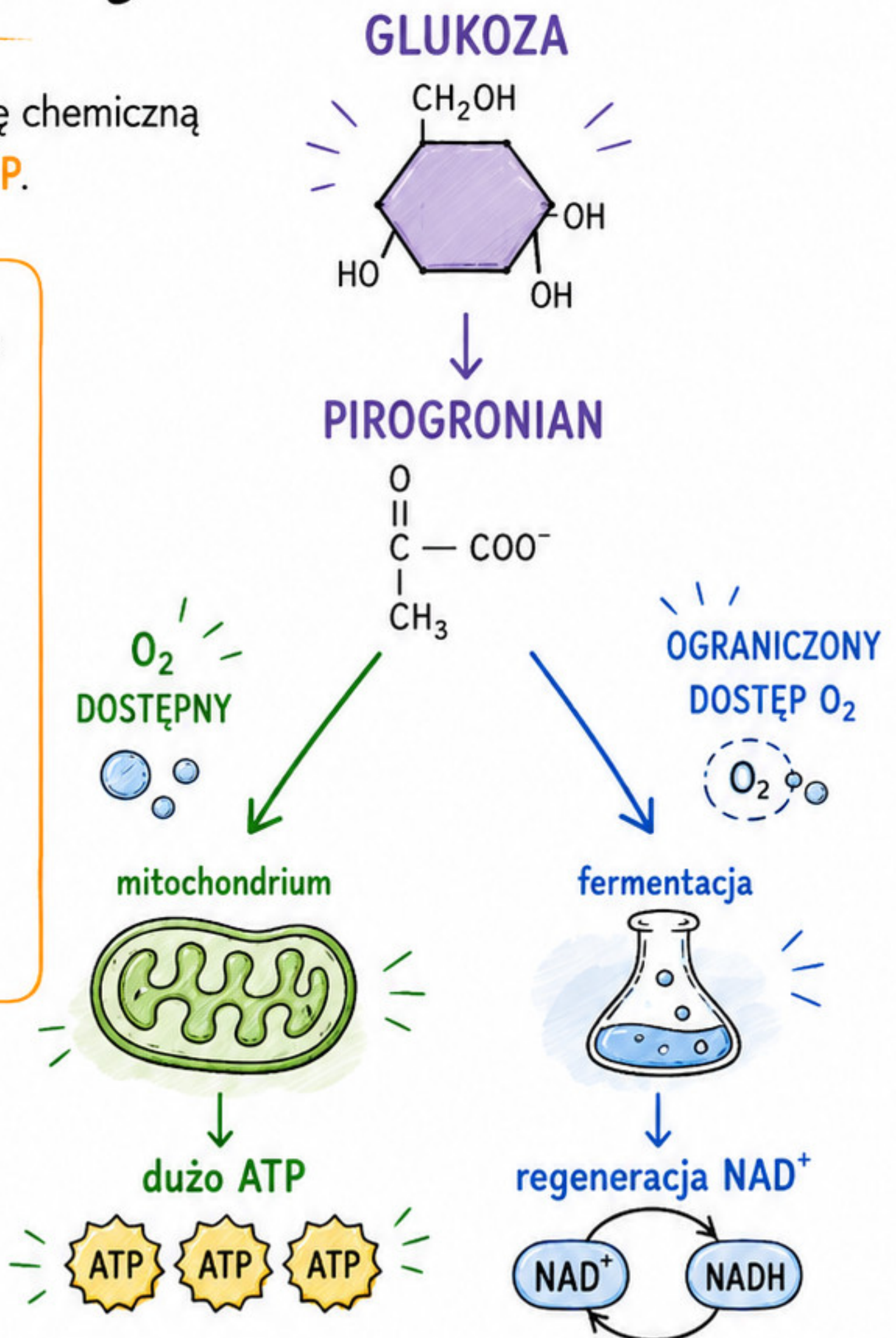
Oddychanie komórkowe i fermentacja

Jak komórka zamienia energię chemiczną składników odżywczych w **ATP**.



W tym module poznasz:

- czym jest ATP;
- czym różni się katabolizm od anabolizmu;
- rolę reakcji redoks;
- NAD^+ i FAD;
- oddychanie tlenowe;
- fermentację;
- ogólną drogę glukozy do ATP.



ATP = energia użyteczna dla komórki

ATP – energetyczna waluta komórki



Komórka potrzebuje energii niemal cały czas

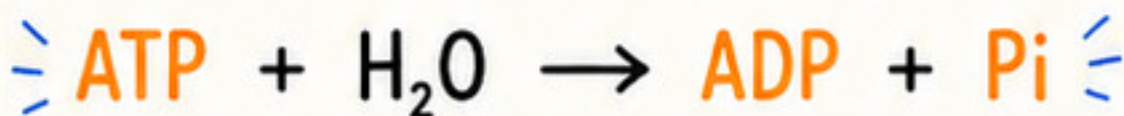
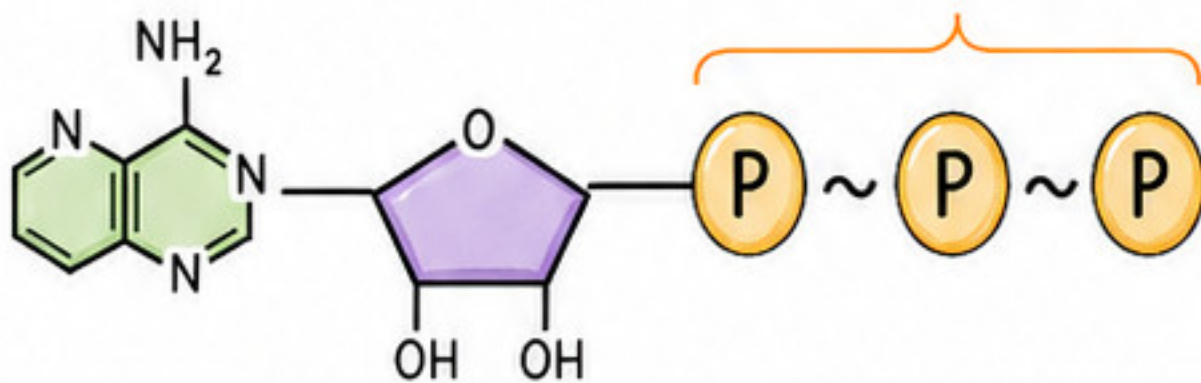
Energia jest niezbędna m.in. do:

- synteza cząsteczek
- utrzymanie gradientów jonowych
- transport aktywny
- ruch komórkowy
- skurcz mięśni
- podziały komórki

GŁÓWNY POŚREDNIK ENERGETYCZNY

ATP = adenozynotrifosforan

ADENINA + RYBOZA + 3 GRUPY FOSFORANOWE



energia uwalniana w tym procesie może być sprzężona z reakcjami wymagającymi energii.

P_i – fosforan nieorganiczny



ATP nie jest dużym magazynem energii na miesiąc.

ATP = bieżąca waluta energetyczna

Długoterminowe magazyny energii to:

- triacyloglicerole (tłuszcze)
- glikogen

UTLENIANIE = utrata elektronów

REDUKCJA = przyjęcie elektronów

utlenianie → oddaje; redukcja → przyjmuje

NAD⁺ i FAD mogą przyjmować elektrony

↓
NADH i FADH₂

przenoszą elektrony o wysokim potencjale energetycznym do łańcucha oddechowego.

SKŁADNIKI ODŻYWCZE



glukoza, tłuszcze, aminokwasy

reakcje utleniania

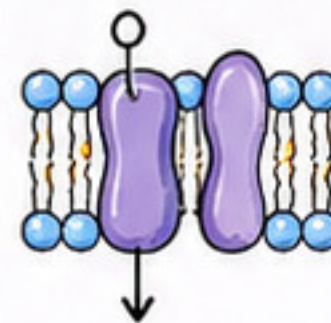


cząsteczki odżywcze oddają elektrony i uwalniają energię.

NADH + FADH₂

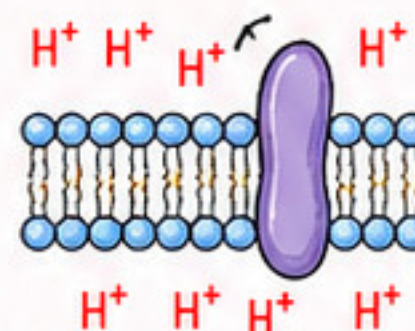
nośniki przenoszące elektrony o wysokiej energii.

łańcuch oddechowy



elektrony płyną przez łańcuch, a energia jest wykorzystywana do pompowania protonów.

gradient protonowy



różnica stężeń H⁺ po obu stronach błony (siła protonomotoryczna).

ATP



Nie myśl:

glukoza - **X** → bezpośrednio ATP

Lepiej:

glukoza → energia jest stopniowo przenoszona → **NADH / FADH₂ + ATP** → ostatecznie dużo ATP

Co dzieje się z glukozą w zależności od dostępności tlenu?



Pierwszy etap rozkładu glukozy zachodzi w cytozolu i nazywa się **GLIKOLIZA**

GLUKOZA



2 PIROGRONIANY

powstają także **ATP** oraz **NADH**

GLUKOZA



GLIKOLIZA



PIROGRONIAN



**GDY MOŻLIWE JEST
ODDYCHANIE TLENOWE**



PIROGRONIAN



ACETYLO-CoA



CYKL KREBSA

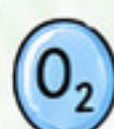


NADH + FADH₂



ŁAŃCUCH ODDECHOWY

ATP



Tlen = **KOŃCOWY AKCEPTOR ELEKTRONÓW**
O₂ ostatecznie uczestniczy w tworzeniu H₂O.

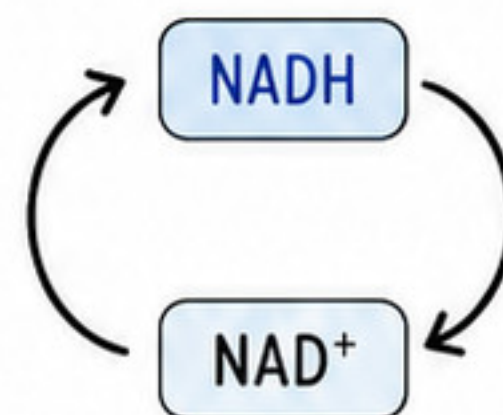
**GDY ŁAŃCUCH ODDECHOWY NIE MOŻE
UTLEŃIAĆ NADH WYSTARCZAJĄCO SZYBKO**

Komórka musi odzyskać NAD⁺.

PIROGRONIAN



MLECZAN



Fermentacja = przede wszystkim
REGENERACJA NAD⁺
aby glikoliza mogła trwać.

Cecha	Oddychanie tlenowe	Fermentacja mleczanowa
Glikoliza:	tak	tak
Mitochondrium:	kluczowe	nie dla samej fermentacji
Łańcuch oddechowy:	tak	nie
Duża produkcja ATP:	tak	nie
Regeneracja NAD ⁺ :	przez łańcuch oddechowy	przez redukcję pirogronianu



**„Beztlenowy” nie zawsze
oznacza całkowity brak tlenu
w całym organizmie**

W praktyce chodzi o sytuację,
w której utlenianie NADH przez
mitochondrialny łańcuch
oddechowy nie pokrywa
aktualnych potrzeb komórki.

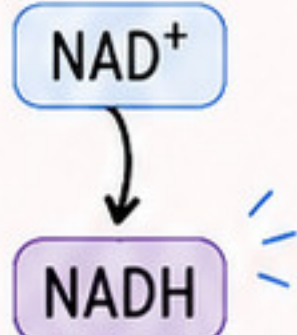


NAD⁺ MUSI BYĆ REGENEROWANY,
bo jest potrzebny do dalszego przebiegu **GLIKOLIZY.**

Fermentacja – sposób na odzyskanie NAD^+

! PROBLEM KOMÓRKI

Podczas glikolizy potrzebny jest NAD^+ .
W jednej z reakcji NAD^+ przekształca się w NADH .
Jeśli NAD^+ nie zostanie odtworzony,
glikoliza nie może przebiegać dalej.



ROZWIĄZANIE

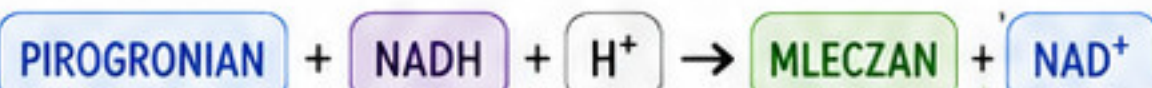
FERMENTACJA

do regeneracji NAD^+ .

PIROGRONIAN

FERMENTACJA MLECZANOWA

u człowieka



ENZYM: DEHYDROGENAZA MLECZANOWA

↓
 NAD^+ WRACA DO GLIKOLIZY

GDZIE MA ZNACZENIE?

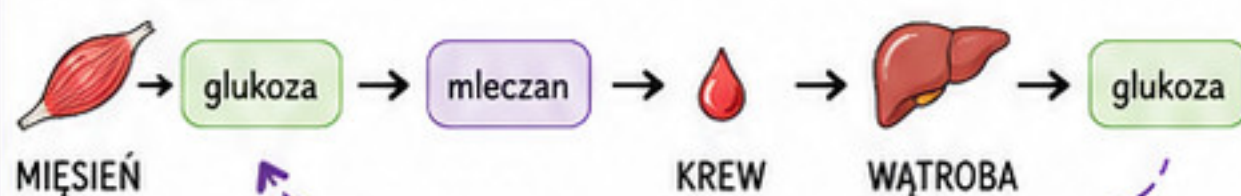
- eryocyty bez mitochondriów
- intensywnie pracujące mięśnie
- tkanki o ograniczonej zdolności utleniania NADH

! WAŻNE: MIT DO POPRAWKI

Mleczan nie jest po prostu odpadem

- może opuścić komórkę
- krążyć we krwi
- zostać wykorzystany przez inne tkanki
- zostać przekształcony do pirogronianu
- uczestniczyć pośrednio w odtwarzaniu glukozy w wątrobie

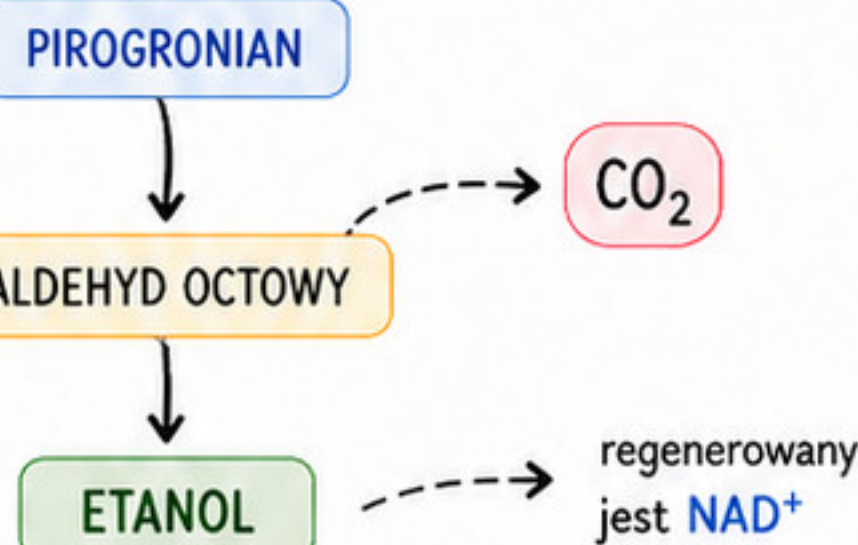
CYKL CORICH



i Cykl Corich — metaboliczna wymiana między tkankami, w której mleczan może być transportowany do wątroby i wykorzystywany jako substrat glukoneogenezy.

FERMENTACJA ALKOHOLOWA

nie zachodzi u człowieka jako fizjologiczny szlak;
występuje m.in. u drożdży.



PORÓWNANIE

Fermentacja mleczanowa: pirogronian → mleczan
Fermentacja alkoholowa: pirogronian → etanol + CO_2

Obie pomagają REGENEROWAĆ NAD^+



CO Z ATP?

Sama fermentacja nie daje dodatkowego ATP
ponad to, co powstało w glikolizie.

Zysk netto z jednej glukozy w warunkach fermentacyjnych = **2 ATP**



KLUCZOWA MYŚL: FERMENTACJA nie zastępuje całego oddychania tlenowego.

Jej głównym zadaniem jest utrzymać dostępność NAD^+ i dzięki temu podtrzymać glikolizę.

Oddychanie komórkowe — zobacz całą drogę



Punkt startowy:
GLUKOZA — 6 atomów węgla

GLUKOZA

1 ETAP 1 — GLIKOLIZA

lokalizacja: **cytozol**

GLUKOZA — 6C → 2 **PIROGRONIANY** — po 3C

produkty: **ATP** netto 2 ATP + **NADH** 2 NADH

2 ETAP 2 — UTLENIANIE PIROGRONIANU

lokalizacja:
macierz mitochondrialna

Pirogronian 3C → **ACETYLO-CoA 2C** + **CO₂** + **NADH**

i dla jednej glukozy proces zachodzi 2 razy

3 ETAP 3 — CYKL KREBSA

lokalizacja:
macierz mitochondrialna



Acetylo-CoA wchodzi do cyklu

główne produkty:

- **NADH**
- **FADH₂**
- niewielka ilość **GTP / ATP**

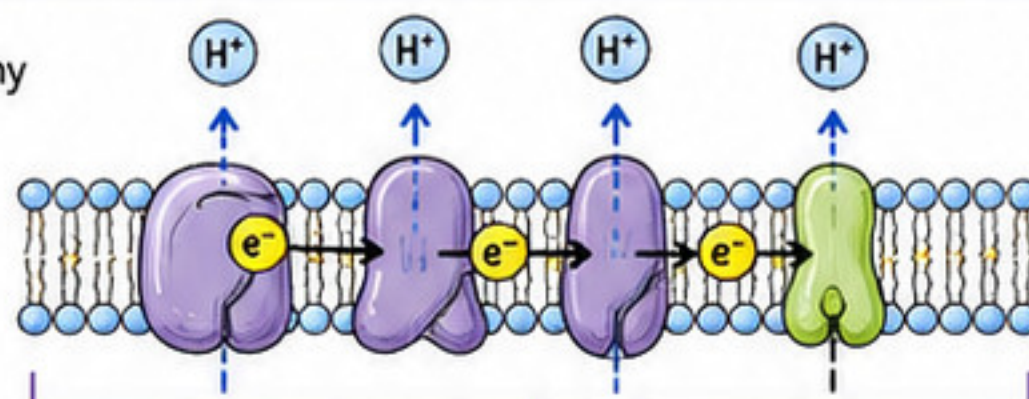
uwalniane:



4 ETAP 4 — ŁAŃCUCH ODDECHOWY

lokalizacja:
wewnętrzna błona mitochondrium

- **NADH** i **FADH₂** przekazują elektrony do kompleksów w wewnętrznej błonie mitochondrium.
- energia z elektronów pomaga pompować **H⁺** do przestrzeni międzybłonowej.

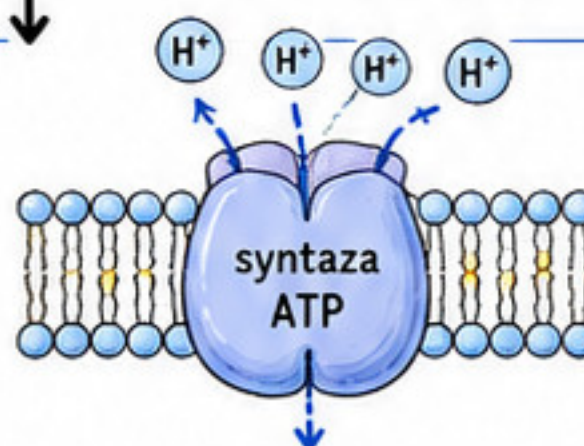


GRADIENT PROTONOWY

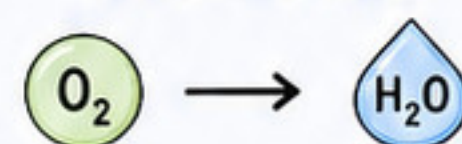
5 ETAP 5 — SYNTAZA ATP

lokalizacja:
wewnętrzna błona mitochondrium

- Protony wracają przez syntazę ATP.
- **ADP + Pi** → **ATP**



O₂ przyjmuje elektrony (akceptor końcowy)



GLUKOZA → **GLIKOLIZA** → **PIROGRONIAN** → **ACETYLO-CoA** → **CYKL KREBSA** → **NADH + FADH₂** → **ŁAŃCUCH ODDECHOWY** → **GRADIENT H⁺** → **SYNTAZA ATP** → **ATP**



Całkowity uzysk u komórek eukariotycznych:
około 30–32 ATP / 1 glukozę



Dokładna liczba zależy m.in. od sposobu transportu cytoplazmatycznego **NADH** do mitochondrium.



GLIKOLIZA ROZPOCZYNA PROCES. CYKL KREBSA ZBIERA ELEKTRONY. ŁAŃCUCH ODDECHOWY WYKORZYSTUJE ICH ENERGIĘ DO PRODUKCJI WIĘKSZOŚCI ATP.

MODUŁ 08

Glikoliza

10 reakcji, które zamieniają glukozę w pirogronian i rozpoczynają pozyskiwanie energii.



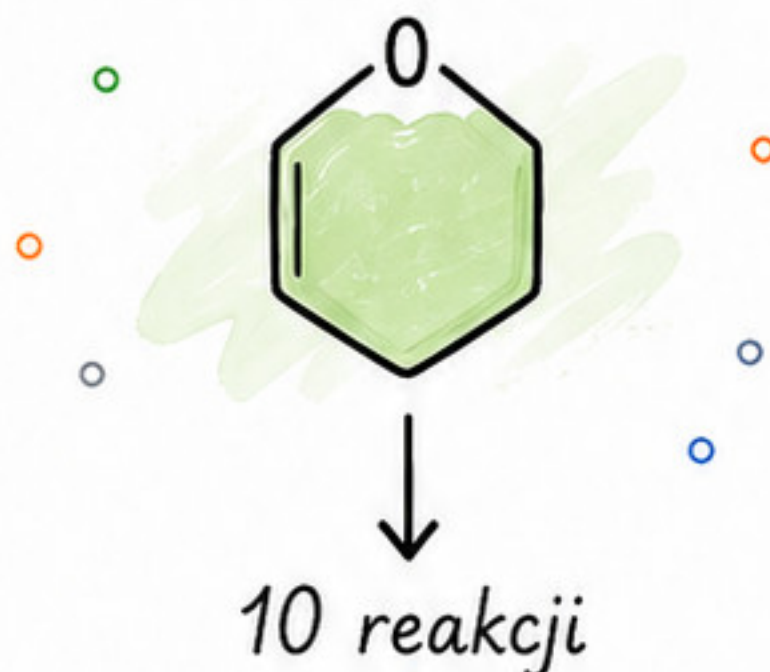
W tym module poznasz:

- gdzie zachodzi glikoliza;
- 10 etapów reakcji;
- fazę inwestycji energii;
- fazę zysku energii;
- produkcję ATP;
- produkcję NADH;
- najważniejsze enzymy regulacyjne;
- losy pirogronianu.



CYTOZOL

GLUKOZA — 6C



10 reakcji



INWESTYCJA

— zużycie ATP

2 × 3C



ZYSK

— produkcja
ATP + NADH



2 × PIROGRONIAN — 3C



2 ATP



2 NADH



2 PIROGRONIANY

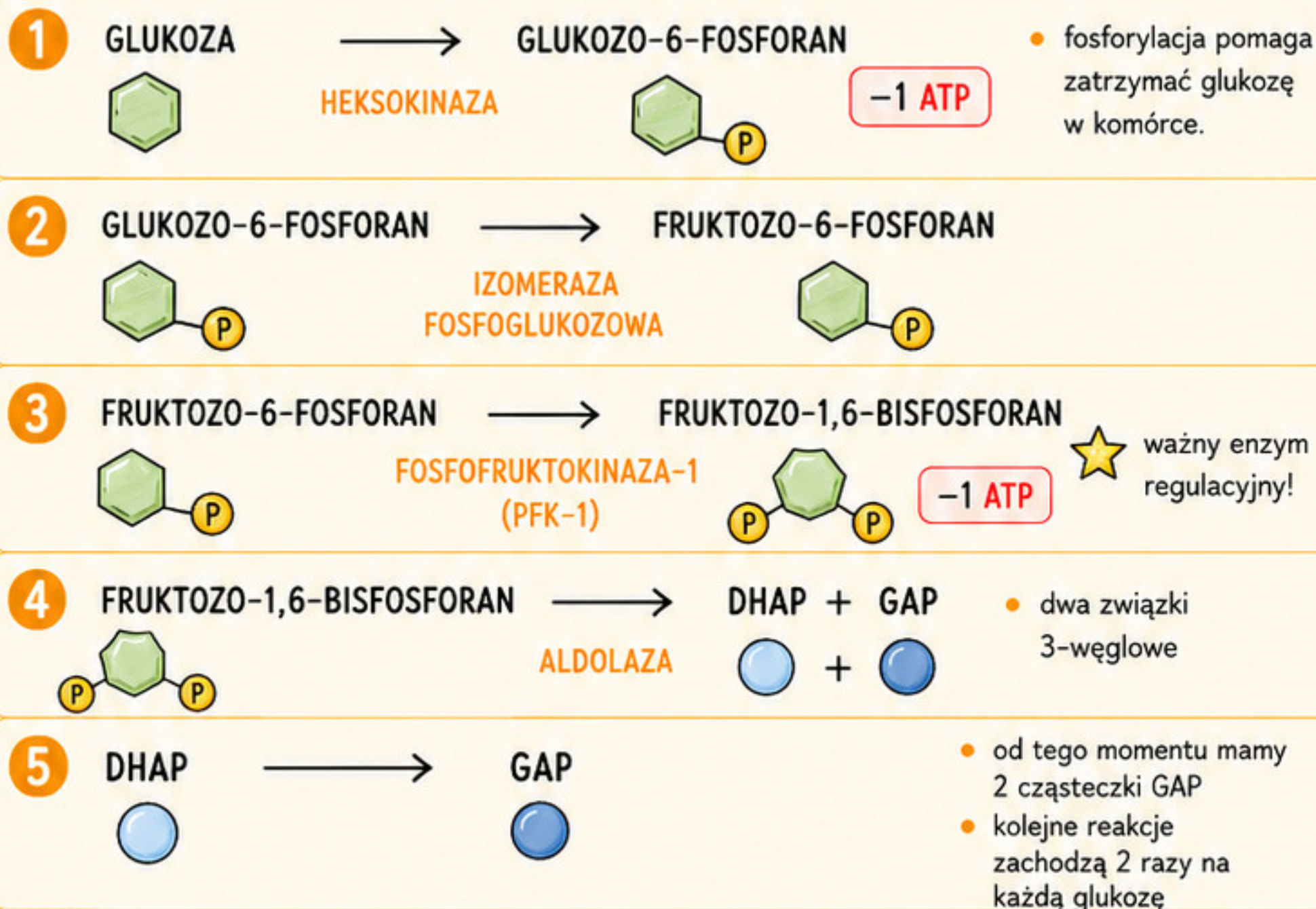
Glikoliza krok po kroku – od glukozy do pirogronianu



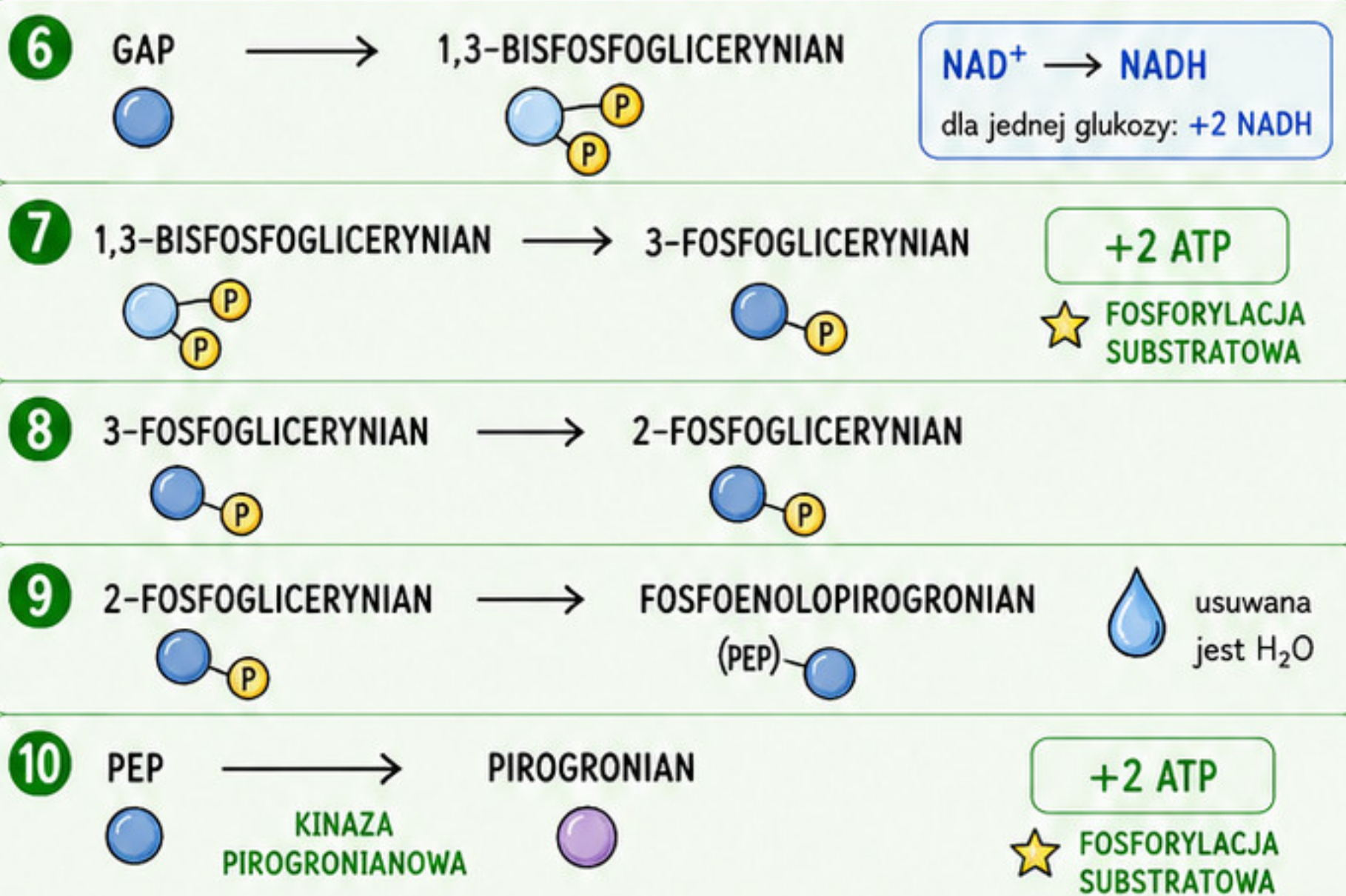
Glikoliza zachodzi w **CYTOZOLU**. Nie wymaga bezpośrednio tlenu.

Składa się z **10 REAKCJI** i można podzielić ją na **FAZĘ INWESTYCJI** oraz **FAZĘ ZYSKU**.

FAZA INWESTYCJI ENERGII



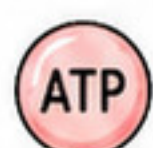
FAZA ZYSKU ENERGII



Trzy kluczowe enzymy regulacyjne:

- 1** HEKSOKINAZA
- 2** PFK-1
- 3** KINAZA PIROGRONIANOWA

Są związane z praktycznie nieodwracalnymi etapami glikolizy.



Zużyto
2 ATP



Wyprodukowano
4 ATP



Zysk netto
2 ATP



Dodatkowo
2 NADH



2
PIROGRONIANY

NETTO: 2 ATP + 2 NADH + 2 PIROGRONIANY

Glikoliza – gdzie dokładnie powstaje energia?

Glikoliza ma dwa różne momenty energetyczne: najpierw inwestujemy, potem odzyskujemy więcej.



FAZA INWESTYCJI

KROK 1: glukoza → glukoza-6-fosforan = **-1 ATP**

KROK 3: fruktozo-6-fosforan → fruktozo-1,6-bisfosforan = **-1 ATP**

Łącznie = -2 ATP



Gdzie jest ukryta dodatkowa energia?

NADH nie jest ATP, ale przenosi wysokoenergetyczne elektrony. W warunkach oddychania tlenowego elektrony te mogą później zostać wykorzystane w **ŁAŃCUCHU ODDECHOWYM** do produkcji dodatkowego ATP.



FAZA ZYSKU

Po rozdzieleniu cząsteczki 6C wszystkie reakcje zachodzą dwa razy.

Krok 6: 2 NAD⁺ → 2 NADH



Krok 7: + 2 ATP



Krok 10: + 2 ATP



Łącznie produkcja = +4 ATP

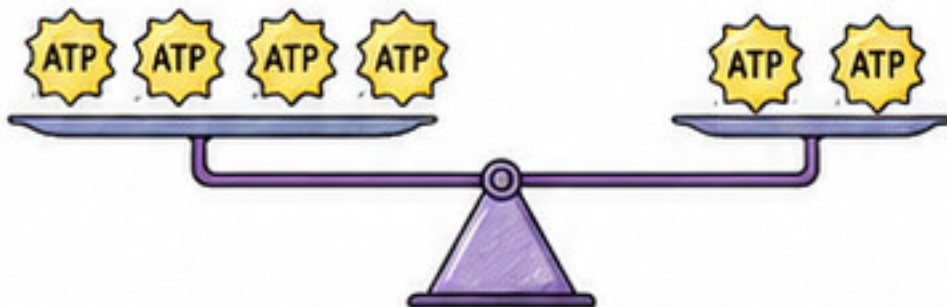


Cytoplazmatyczny NADH nie przechodzi swobodnie przez wewnętrzną błonę mitochondrialną. Równoważniki redukcyjne są przenoszone za pomocą **WAHADEŁ**.

- wahadło jabłczanowo-asparaginianowe
- wahadło glicerolo-3-fosforanowe

Sposób przekazania elektronów wpływa na ostateczny **bilans ATP**.

4 ATP wyprodukowane – **2 ATP** zużyte = **2 ATP NETTO**



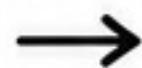
FOSFORYLACJA SUBSTRATOWA

ATP w glikolizie powstaje bezpośrednio w reakcji enzymatycznej.

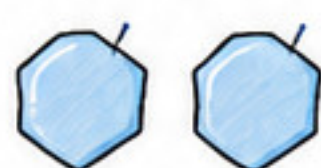
krok 7

krok 10

1 GLUKOZA



2 PIROGRONIANY

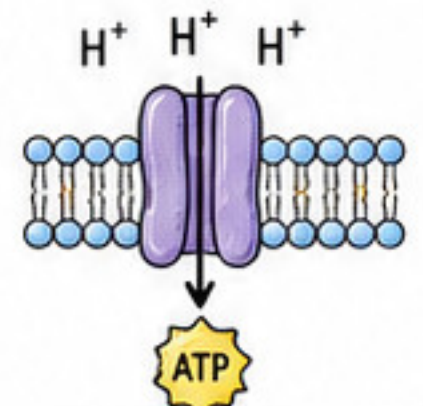


VS

FOSFORYLACJA OKSYDACYJNA

ATP powstaje dzięki gradientowi protonowemu i syntezie ATP.

Drugi mechanizm poznamy przy łańcuchu oddechowym.



KLUCZOWE LICZBY GLIKOLIZY

2

ATP ZUŻYTE



4

ATP WYPRODUKOWANE



2

ATP NETTO



2

NADH



2

PIROGRONIANY



Dlaczego glikoliza produkuje 4 ATP, ale bilans netto wynosi tylko 2 ATP?

Ponieważ dwa ATP zostały wcześniej zużyte w fazie inwestycji.



→ później →

łańcuch oddechowy

Regulacja glikolizy i losy pirogronianu



Glikoliza musi być kontrolowana

Komórka nie **chce** rozkładać glukozy bez potrzeby. Dlatego kluczowe enzymy glikolizy są regulowane w zależności od zapotrzebowania na energię i stanu komórki.

Najważniejsze regulowane enzymy to:

HEKSOKINAZA

PFK-1

KINAZA PIROGRONIANOWA

SZYBKIE REGULATORY



ATP ↑ → glikoliza ↓



AMP ↑ → glikoliza ↑

1 HEKSOKINAZA

GLUKOZA
↓
GLUKOZO-6-FOSFORAN

Zużywany jest: **ATP**

- Glukoza-6-fosforan może hamować heksokinazę w wielu tkankach.

2 PFK-1 — najważniejszy punkt kontroli

FRUKTOZO-6-FOSFORAN
↓
FRUKTOZO-1,6-BISFOSFORAN

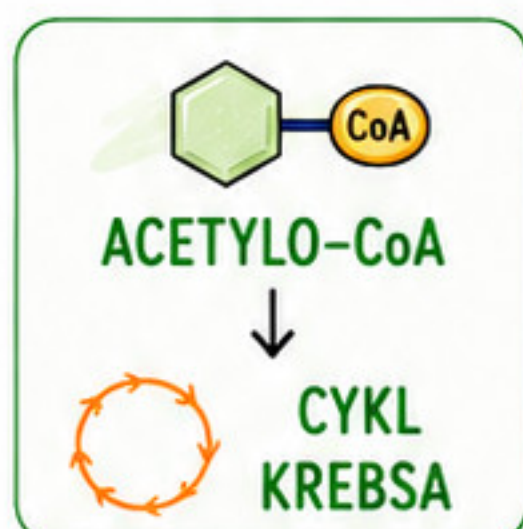
ATP DUŻO ATP → **GLIKOLIZA ZWALNIA**

AMP MAŁO ENERGII ↓ AMP ↑ → **PFK-1 bardziej aktywna**
↓
GLIKOLIZA PRZYSPIESZA

CYTRYNIAN ↑ → **hamowanie PFK-1**

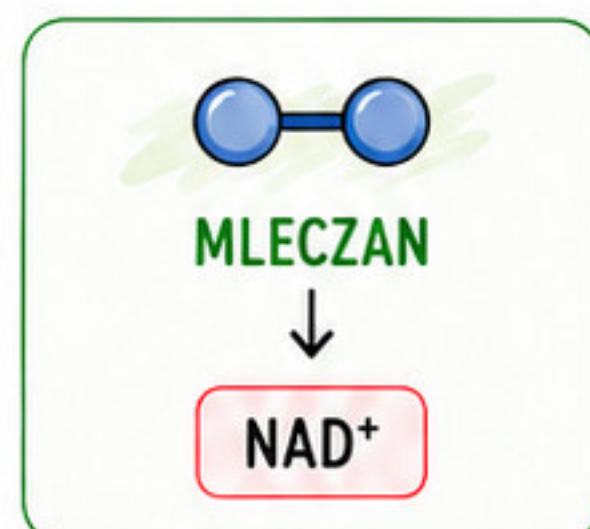
PFK-1 = główny punkt kontroli glikolizy

Co dalej z pirogronianem?



warunki:

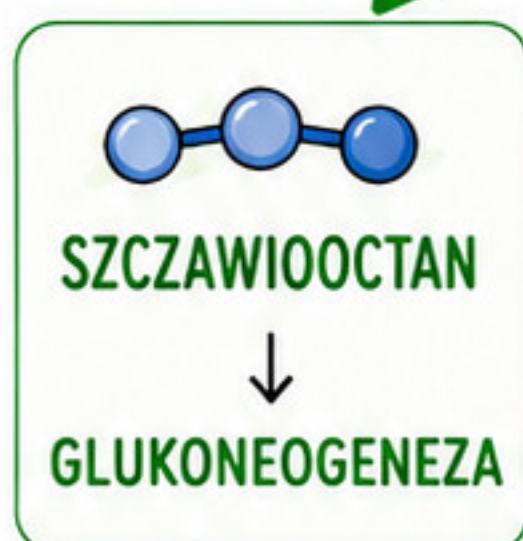
- tlen obecny
- dużo energii



warunki:

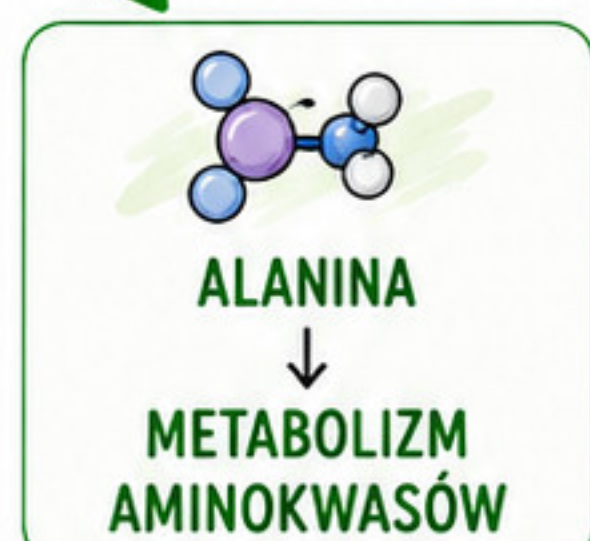
- brak tlenu
- regeneracja NAD⁺

PIROGRONIAN



warunki:

- niska energia
- potrzeba glukozy



warunki:

- transport azotu
- w tkankach mięśniowych

3 KINAZA PIROGRONIANOWA

PEP
↓
PIROGRONIAN

Powstaje: **ATP**

i Pirogronian to ROZDROŻE METABOLICZNE.

Jego los zależy od:



zapotrzebowania na energię



dostępności tlenu



stanu metabolicznego



rodzaju tkanki

Glikoliza – mapa podsumowująca



Gdzie zachodzi?

CYTOZOL



GLUKOZA – 6C

10 reakcji

2 × PIROGRONIAN – 3C



1 FAZA INWESTYCJI



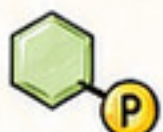
2 ATP
ZUŻYTE

1 GLUKOZA – 6C



heksokinaza

GLUKOZO-6-FOSFORAN



2 FRUKTOZO-6-FOSFORAN

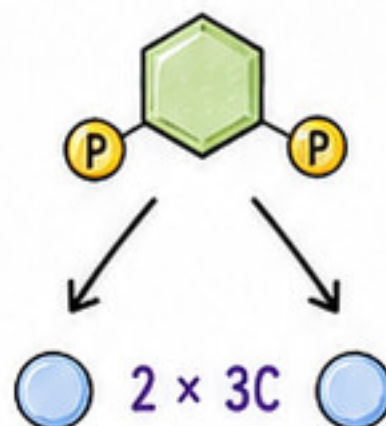


PFK-1

FRUKTOZO-1,6-BISFOSFORAN



2 PODZIAŁ CZĄSTECZKI



Kolejne reakcje
przebiegają DWA RAZY

3 FAZA ZYSKU



4 ATP
BRUTTO

2 NADH

$$\text{4 ATP} - \text{2 ATP} = \text{2 ATP NETTO}$$

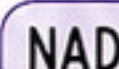
KOŃCOWE PRODUKTY z 1 cząsteczki glukozy:



2 PIROGRONIANY



2 ATP NETTO



2 NADH



TRZY NAJWAŻNIEJSZE ENZYMY REGULACYJNE

1

HEKSOKINAZA

— pierwsza fosforylacja

2

PFK-1

— główny punkt kontroli

3

KINAZA PIROGRONIANOWA

— ostatni etap + ATP



REGULACJA PFK-1

ATP



→ hamowanie

AMP



→ aktywacja

cytrynian



→ hamowanie

LOS
PIROGRONIANU



ACETYLO-CoA

→ cykl Krebsa

MLECZAN

→ regeneracja NAD⁺

SZCZAWIOOCTAN

→ glukoneogeneza

ALANINA

→ metabolizm aminokwasów



NAD⁺



-NH₂



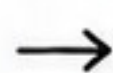
GLIKOLIZA TO PIERWSZY ETAP CENTRALNEGO METABOLIZMU GLUKOZY.

Rozpoczyna utlenianie glukozy, wytwarza ATP i NADH, tworzy pirogronian i łączy metabolizm glukozy z wieloma innymi szlakami komórkowymi.

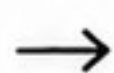


NASTĘPNY MODUŁ:

PIROGRONIAN



ACETYLO-CoA



CYKL KREBSA

MODUŁ 09

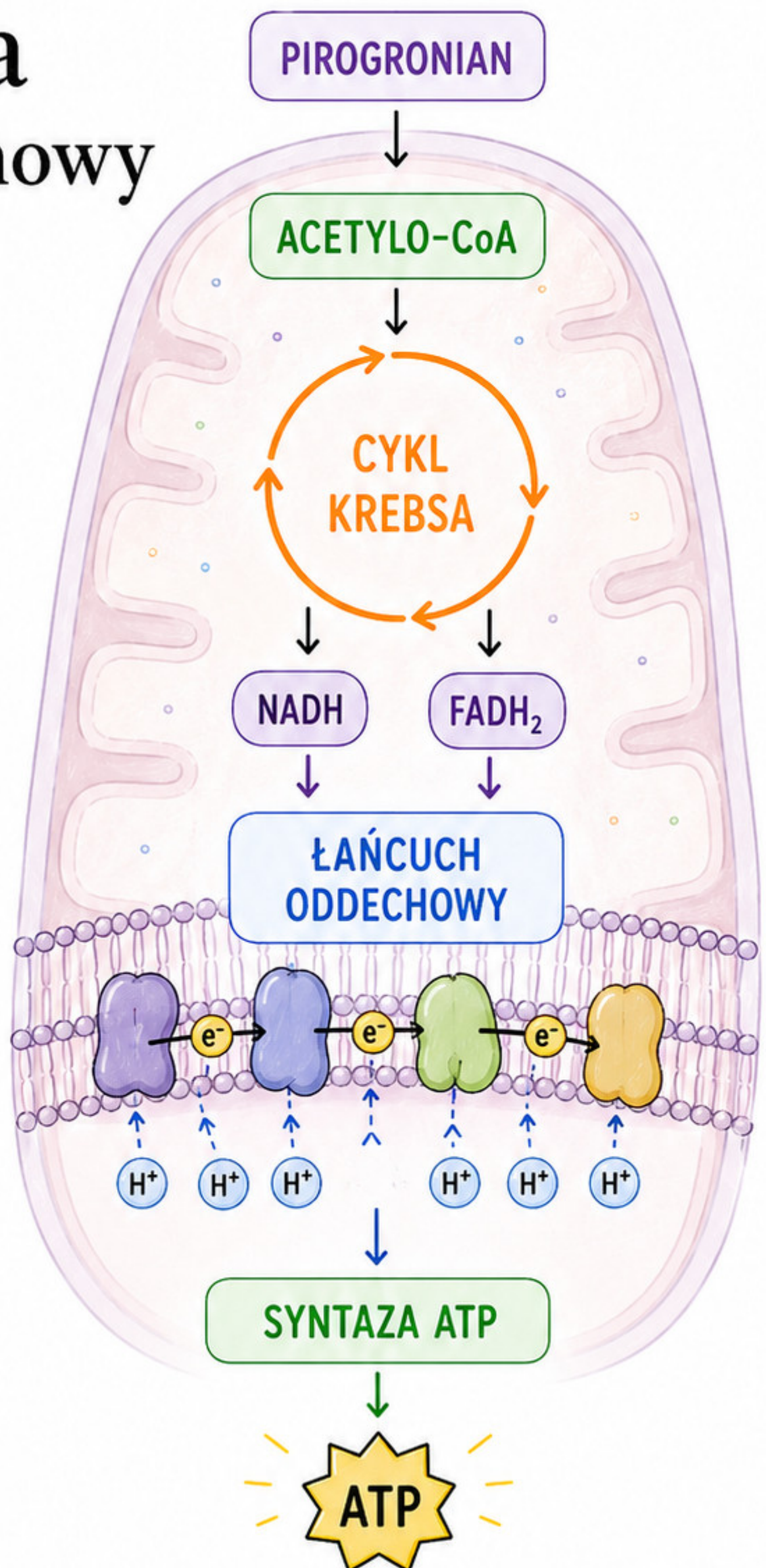
Cykl Krebsa i łańcuch oddechowy

Jak mitochondrium przejmuje energię z acetylo-CoA i zamienia ją w ATP



W tym module poznasz:

- powstawanie acetylo-CoA;
- etapy cyklu Krebsa;
- NADH i FADH_2 ;
- regulację cyklu;
- kompleksy łańcucha oddechowego;
- gradient protonowy;
- syntazę ATP;
- fosforylację oksydacyjną;
- pełną drogę od glukozy do ATP.



Cykl Krebsa krok po kroku

Cykl Krebsa zachodzi głównie w:

MACIERZY MITOCHONDRIALNEJ



ETAP POMOSTOWY

PIROGRONIAN — 3C
↓
KOMPLEKS DEHYDROGENAZY
PIROGRONIANOWEJ
↓
ACETYLO-CoA — 2C
+ CO₂ + NADH

Z 1 cząsteczki
glukozy powstają
2 acetylo-CoA.

1
ACETYLO-CoA — 2C
+ SZCZAWIOOCTAN — 4C
↓
SYNTAZA CYTRYNIANOWA
↓
CYTRYNIAN — 6C
2C + 4C = 6C

2
CYTRYNIAN
↓
AKONITAZA
↓
IZOCYTRYNIAN

3
IZOCYTRYNIAN — 6C
↓
DEHYDROGENAZA
IZOCYTRYNIANOWA
↓
α-KETOGLUTARAN — 5C
+ CO₂
+ NADH

4
α-KETOGLUTARAN — 5C
↓
KOMPLEKS
DEHYDROGENAZY α-KETOGLUTARANOWEJ
↓
BURSZTYNYLO-CoA — 4C
+ CO₂
+ NADH

+ GTP
FOSFORYLACJA
SUBSTRATOWA

5
BURSZTYNYLO-CoA
↓
SYNTAZA BURSZTYNYLO-CoA
↓
BURSZTYNIAN

6
BURSZTYNIAN
↓
DEHYDROGENAZA
BURSZTYNIANOWA
↓
FUMARAN
+ FADH₂
KOMPLEKS II
ŁAŃCUCHA
ODDECHOWEGO

7
FUMARAN
↓
FUMARAZA
↓
JABŁCZAN
+ H₂O

8
JABŁCZAN
↓
DEHYDROGENAZA
JABŁCZANOWA
↓
SZCZAWIOOCTAN

CYKL KREBSA

LEGENDA:

- NADH — oddaje elektrony do łańcucha oddechowego
- FADH₂ — oddaje elektrony przez kompleks II
- GTP — może zostać przekształcone w ATP
- CO₂ — uwalniany dwutlenek węgla
- H₂O — woda

BILANS — 1 OBRÓT CYKLU

(1 acetylo-CoA)

NADH 3 FADH₂ 1 GTP 1 CO₂ 2
3 NADH, 1 FADH₂, 1 GTP, 2 CO₂

BILANS — 1 GLUKOZA

(2 obroty cyklu)

NADH 6 FADH₂ 2 GTP 2 CO₂ 4
6 NADH, 2 FADH₂, 2 GTP, 4 CO₂

i Bilans dotyczy WYŁĄCZNIE cyklu Krebsa (bez etapu przemiany pirogronianu w acetylo-CoA).



Cykl Krebsa nie służy przede wszystkim do bezpośredniego tworzenia dużej ilości ATP.
Jego najważniejszym zadaniem jest:

PRODUKCJA NADH | FADH₂ → ŁAŃCUCH ODDECHOWY

Cykl Krebsa – bilans i regulacja

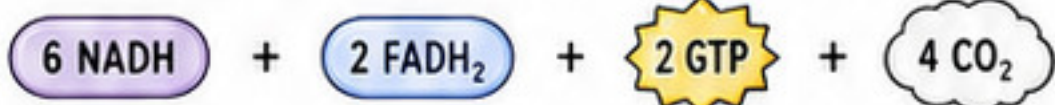
1 NAJPIERW BILANS

1 ACETYLO-CoA → 1 obrót cyklu →

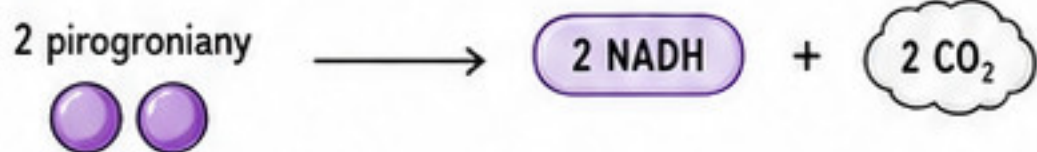


2 DLA JEDNEJ GLUKOZY

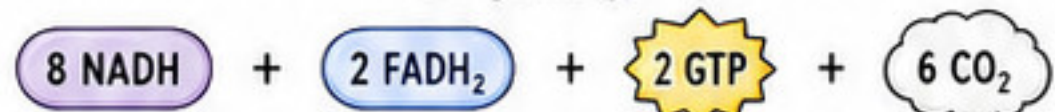
2 ACETYLO-CoA →



3 DODAJMY ETAP POMOSTOWY



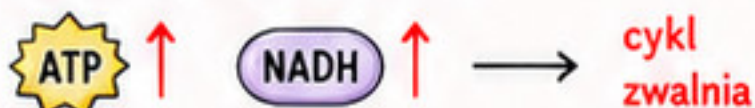
etap pomostowy + cykl Krebsa
z 1 glukozy:



i To wciąż nie obejmuje glikolizy.

4 REGULACJA

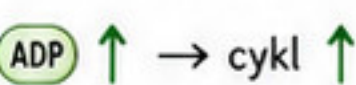
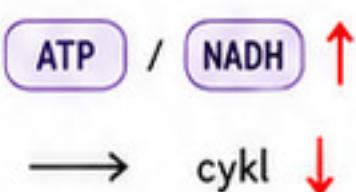
Gdy energia jest **WYSOKA**



Gdy energia jest **NISKA**



REGULATORY

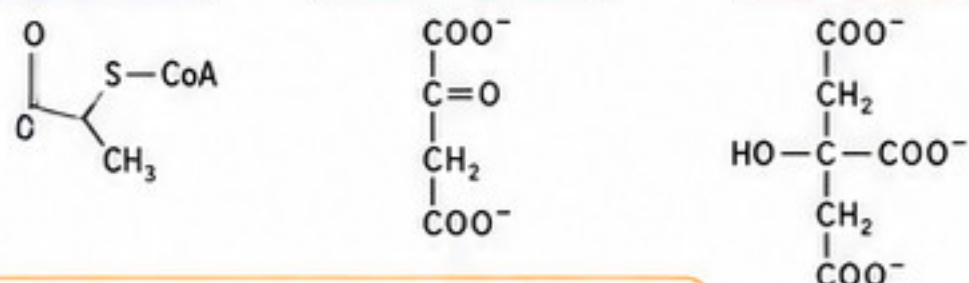


5 WAŻNE ENZYMY REGULACYJNE

- SYNTAZA CYTRYNIANOWA
- DEHYDROGENAZA IZOCYTRYNIANOWA
- DEHYDROGENAZA α-KETOGLUTARANOWA

i Dehydrogenaza izocytrynianowa może być **AKTYWOWANA** przez sygnały niskiej energii (↑ ADP, Ca²⁺) oraz **HAMOWANA** przez ATP i NADH.

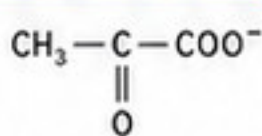
6 WARUNEK NIEZBĘDNY



i Jeśli szczawiooctanu jest mało, tempo cyklu może spaść.

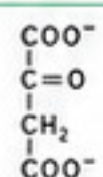
8 REAKCJE ANAPLEROTYCZNE

PIROGRONIAN



karboksylaza
pirogronianowa

SZCZAWIOOCTAN



i Reakcje anaplerotyczne uzupełniają intermediary cyklu, które są pobierane do biosyntez lub innych szlaków.

7 CYKL KREBSA JEST SZLAKIEM AMFIBOLICZNYM

Łączy katabolizm (rozkład) z anabolizmem (syntezą).

KATABOLIZM

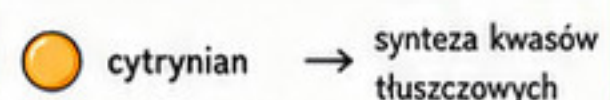
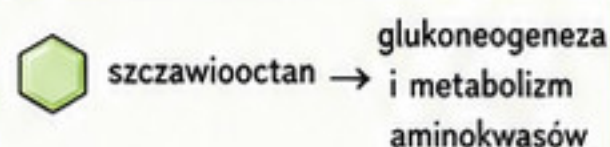
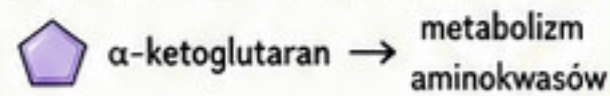
dostarcza energię



CYKL
KREBSA

ANABOLIZM

dostarcza prekursorów



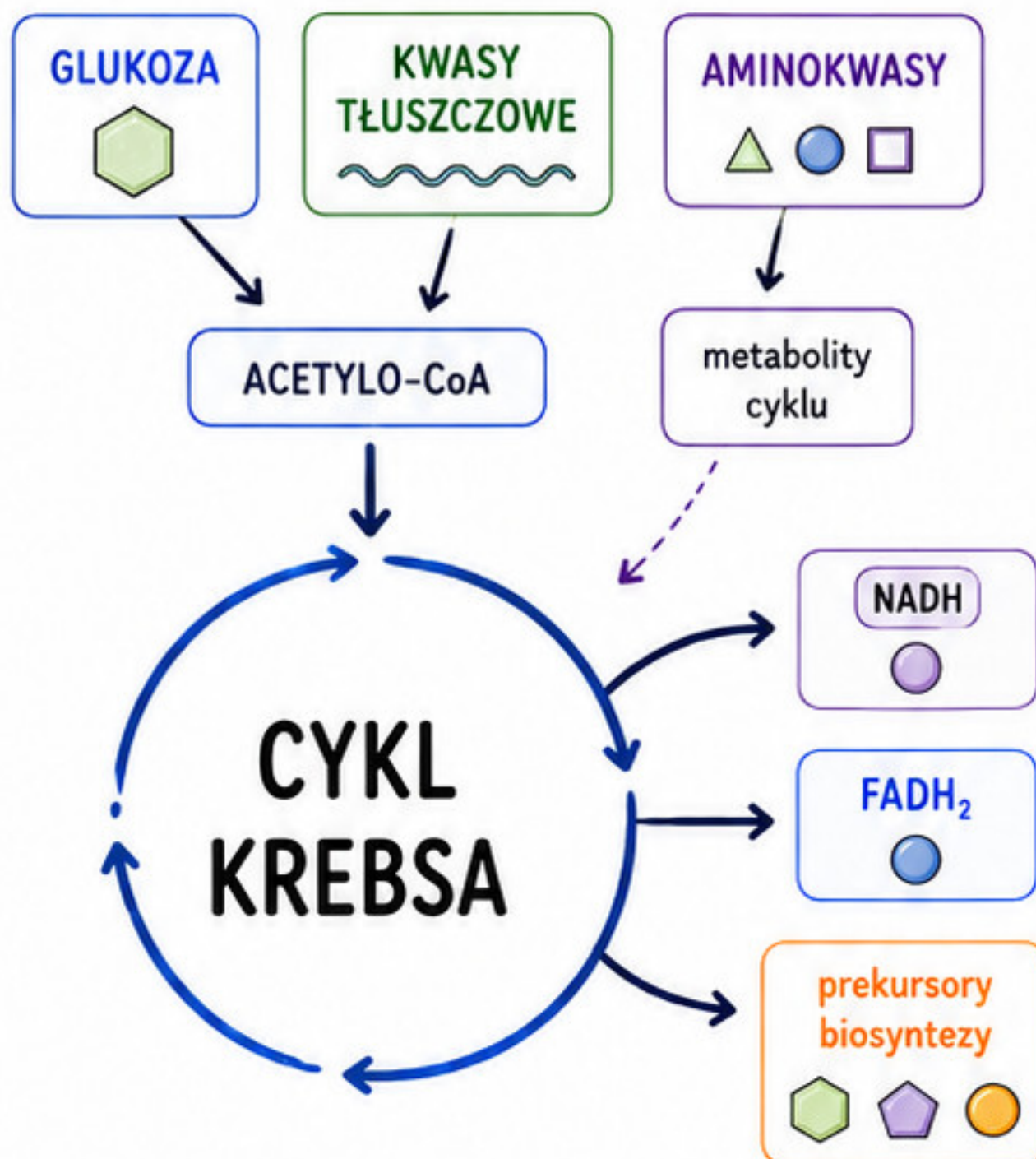
CYKL KREBSA JEST
CENTRALNYM WĘZŁEM METABOLIZMU.

Łączy:

WĘGLOWODANY

LIPIDY

AMINOKWASY



Łańcuch oddechowy – droga elektronów



Łańcuch oddechowy znajduje się w:

WEWNĘTRZNEJ BŁONIE MITOCHONDRIALNEJ

Jego głównym zadaniem jest wykorzystanie energii elektronów z **NADH** i **FADH₂** do pompowania **H⁺** z macierzy do przestrzeni międzybłonowej. W ten sposób tworzy się **GRADIENT ELEKTROCHEMICZNY PROTONÓW**.

LEGENDA



elektron



proton

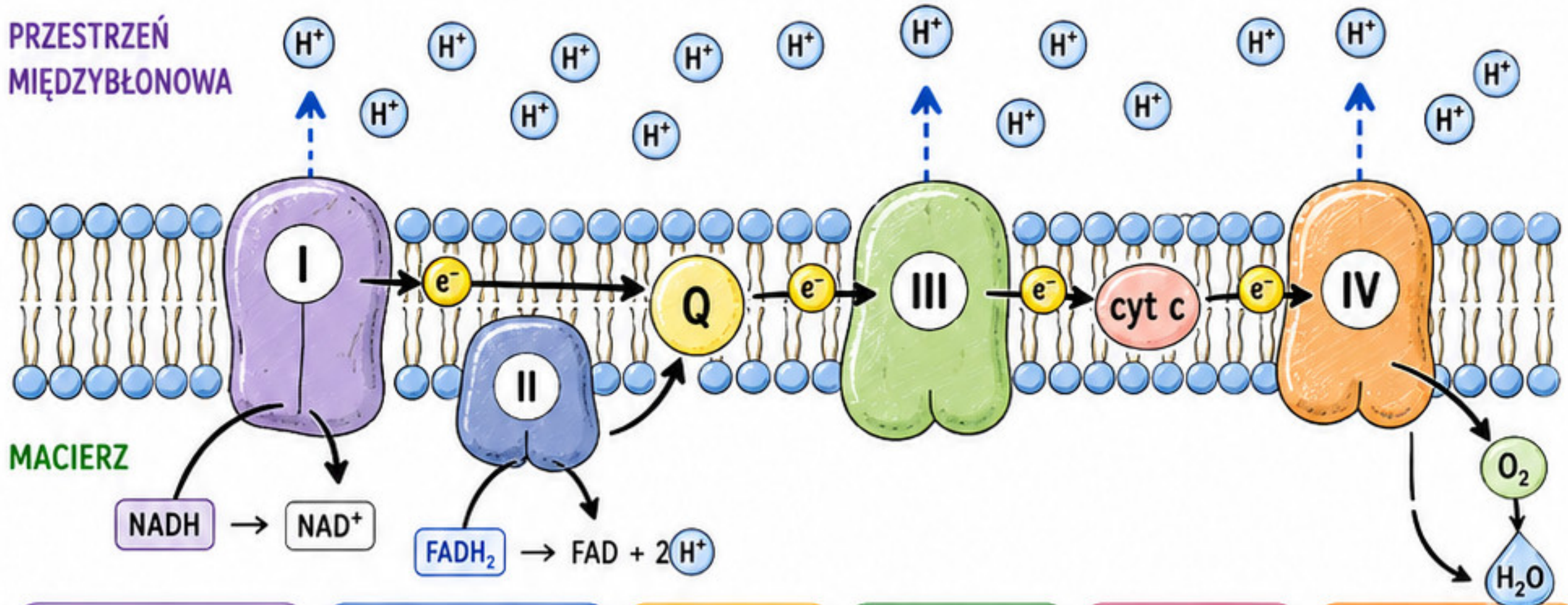


zredukowany NAD⁺

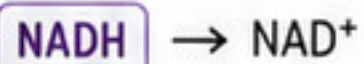


zredukowany FAD

PRZESTRZEŃ
MIĘDZYBŁONOWA



1 KOMPLEKS I dehydrogenaza NADH



Elektrony wchodzą do kompleksu I. Ich energia jest używana do pompowania **H⁺**.

2 KOMPLEKS II dehydrogenaza bursztynianowa

Elektrony wchodzą do kompleksu II z **FADH₂**.

**KOMPLEKS II
NIE POMPUJE PROTONÓW.**

KOENZYM Q (UBICHINON)

Przenosi elektrony z kompleksów I i II do kompleksu III.

3 KOMPLEKS III cytochrom bc₁

Pompuje **H⁺** do przestrzeni międzybłonowej i przekazuje elektrony na **CYTOCHROM c**.

CYTOCHROM c

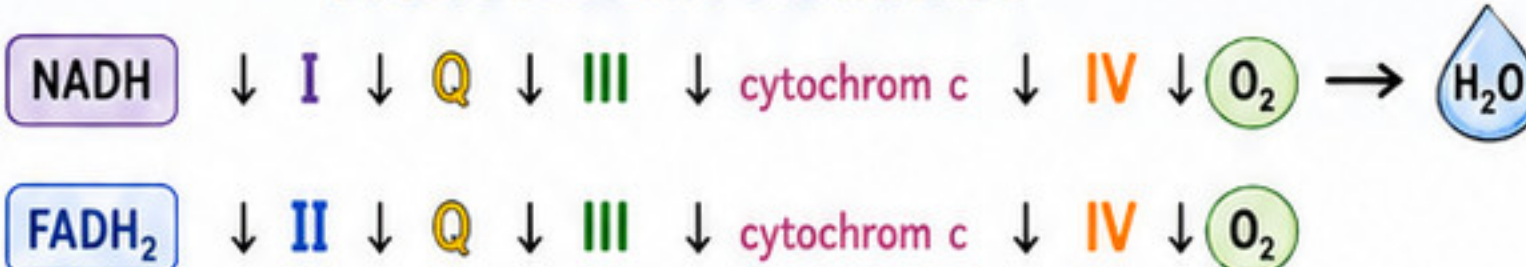
Mały białkowy nośnik elektronu, który przenosi elektrony z kompleksu III do kompleksu IV.

4 KOMPLEKS IV cytochrom oksydaza

Przekazuje elektrony na **TLEN (O₂)** — ostateczny akceptor elektronów. Powstaje **H₂O**.

i Ponieważ kompleks II nie pompuje **H⁺**, **FADH₂** prowadzi do uzyskania średnio **mniejszej ilości ATP** niż **NADH**.

DROGI PRZEPŁYWU ELEKTRONÓW



POMPOWANIE PROTONÓW

Które kompleksy pompują **H⁺**?

I, III, IV

Który nie pompuje?

II



Protony gromadzone w **PRZESTRZENI MIĘDZYBŁONOWEJ** tworzą „zbiornik” energii — jak woda zatrzymana za zaporą.

Ta energia potencjalna zostanie później wykorzystana przez **SYNTAZĘ ATP** do produkcji ATP.



KLUCZOWA IDEA

ELEKTRONY PŁYNĄ WZDŁUŻ ŁAŃCUCHA.

Ich energia służy do **POMPOWANIA H⁺**, a nie do bezpośredniego przyłączania fosforanu do **ADP**.

Syntaza ATP — jak gradient protonowy tworzy ATP?



Po łańcuchu oddechowym w **PRZESTRZENI MIĘDZYBŁONOWEJ** jest **WIĘCEJ H^+** niż w macierzy. Tworzy się **SILA PROTONOMOTORYCZNA**, która składa się z:

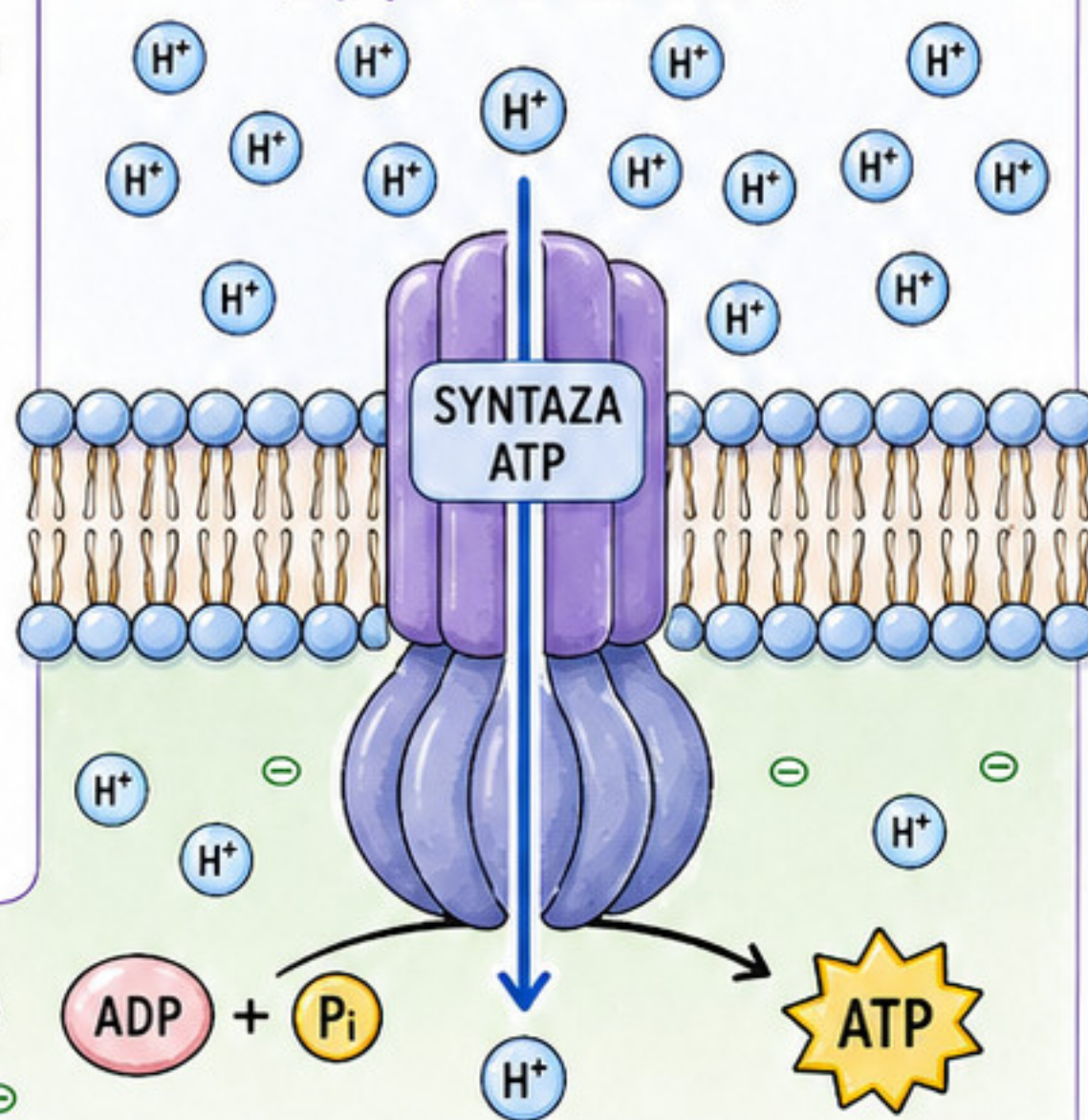


różnicy stężenia protonów (więcej H^+ na zewnątrz)



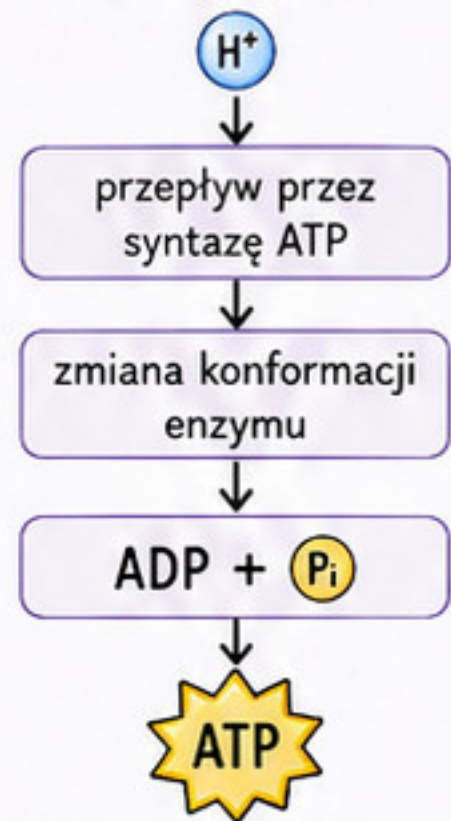
różnicy ładunku elektrycznego (zewnątrz dodatni, wewnątrz ujemny)

PRZESTRZEŃ MIĘDZYBŁONOWA
(więcej H^+ , ładunek dodatni)



Protony chcą wrócić do macierzy, ale błona wewnętrzna jest dla nich słabo przepuszczalna. Główna droga powrotu: przez **SYNTAZĘ ATP**.

GŁÓWNY PROCES



CHEMIOSMOZA

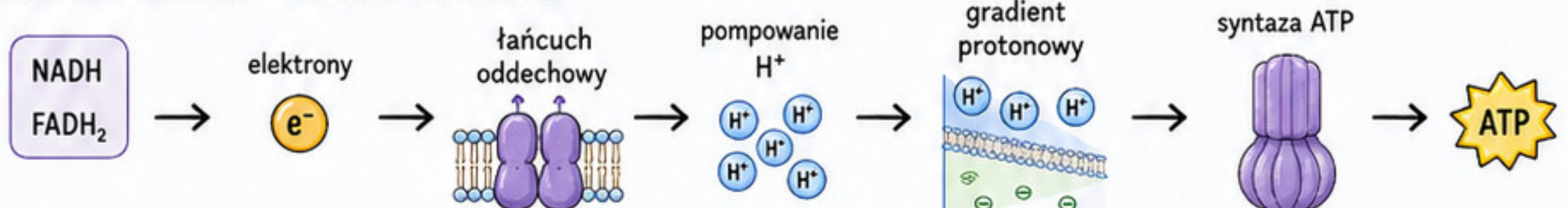
To wykorzystanie gradientu protonowego do syntezy ATP przez syntazę ATP.



FOSFORYLACJA OKSYDACYJNA

To cały proces obejmujący: utlenianie NADH i $FADH_2$, łańcuch oddechowy, tworzenie gradientu H^+ oraz syntazę ATP.

PRZEPŁYW ENERGII — od elektronów do ATP



ILE ATP UZYSKUJEMY?

1 NADH → około **2,5 ATP**

1 $FADH_2$ → około **1,5 ATP**

$FADH_2$ daje mniej, ponieważ jego elektrony wchodzi do łańcucha na poziomie KOMPLEKSU II (pomijają KOMPLEKS I), więc pompowanych jest mniej protonów.

DLACZEGO POTRZEBNY JEST TLEN?

- ✗ Bez tlenu KOMPLEKS IV nie może przekazać elektronów dalej.
- ✗ Przepływ elektronów zatrzymuje się.
- ✗ NADH nie jest efektywnie utleniany.
- ✗ Pompowanie H^+ ustaje.
- ✗ Gradient protonowy zanika.

FOSFORYLACJA OKSYDACYJNA ZATRZYMUJE SIĘ.

DWA SPOSOBY POWSTAWANIA ATP

FOSFORYLACJA SUBSTRATOWA

SUBSTRAT WYSOKOENERGETYCZNY → **ATP**
ATP powstaje bezpośrednio z wysokoenergetycznego substratu. Zachodzi np. w glikolizie i w cyklu Krebsa.

FOSFORYLACJA OKSYDACYJNA

GRADIENT PROTONOWY → SYNTAZA ATP → **ATP**
ATP powstaje dzięki gradientowi protonowemu i działaniu syntazy ATP.



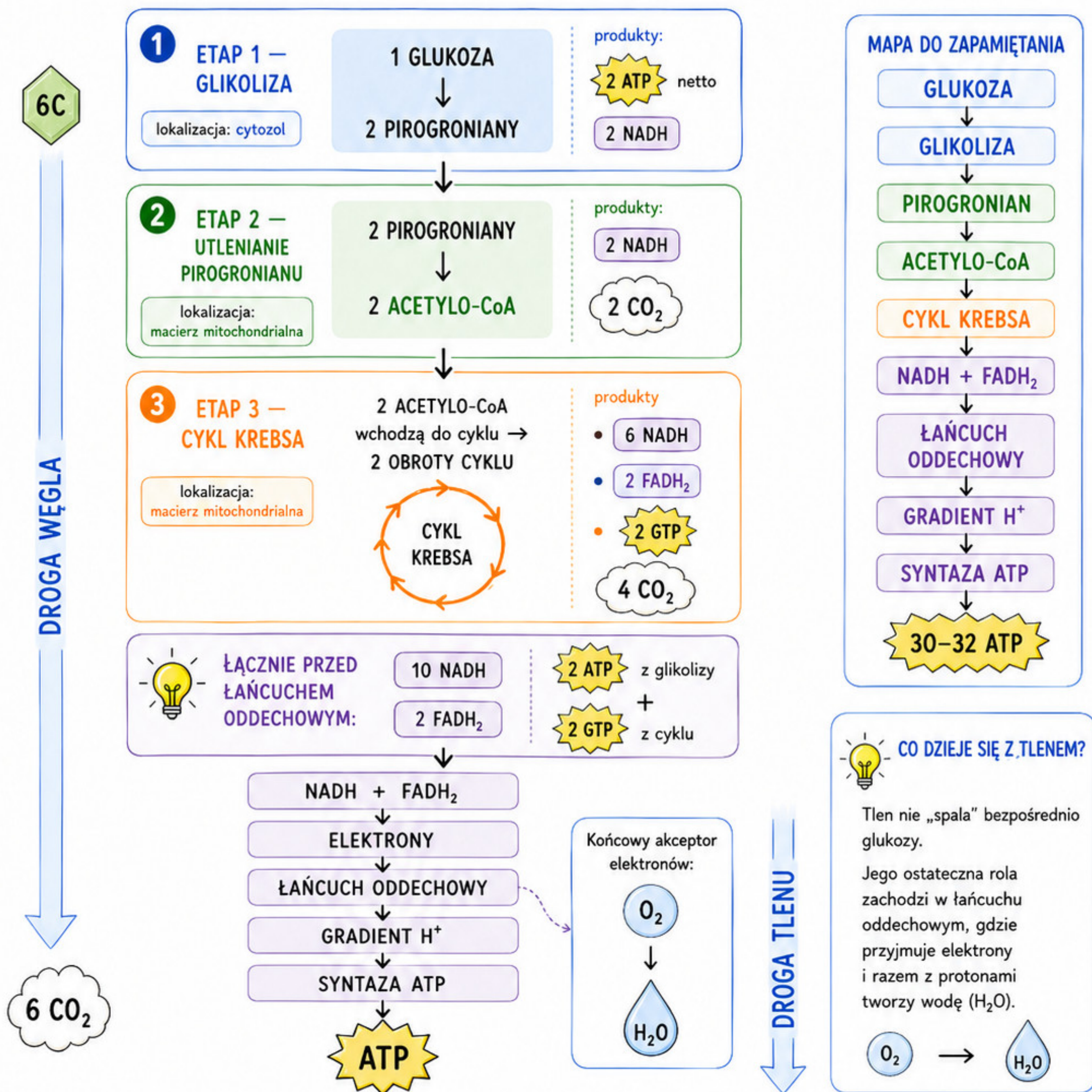
ŁAŃCUCH ODDECHOWY buduje „**TAMĘ PROTONOWĄ**” →

a syntaza ATP działa jak „**TURBINA**”.



ELEKTRONY → H^+ → GRADIENT → ATP

Od glukozy do ATP – wielka mapa oddychania komórkowego



KOŃCOWY BILANS
około **30–32 ATP**
z jednej cząsteczki glukozy.

Dokładna liczba zależy od sposobu transportu równoważników NADH z cytozolu do mitochondrium.



BILANS WĘGLA

Glukoza posiada 6 atomów C.

PO CAŁKOWITYM UTLENIENIU:

6 C ↓ 6 CO₂

KLUCZOWE RÓWNOWAŻNIKI

NADH — główny przenośnik elektronów (10 cząsteczek)

FADH₂ — przenośnik elektronów (2 cząsteczki)

★ **ATP** i **GTP** — bezpośrednie nośniki energii.



WIĘKSZOŚĆ ATP NIE POWSTAJE BEZPOŚREDNIO W GLIKOLIZIE ANI W CYKLU KREBSA.
POWSTAJE PODCZAS:

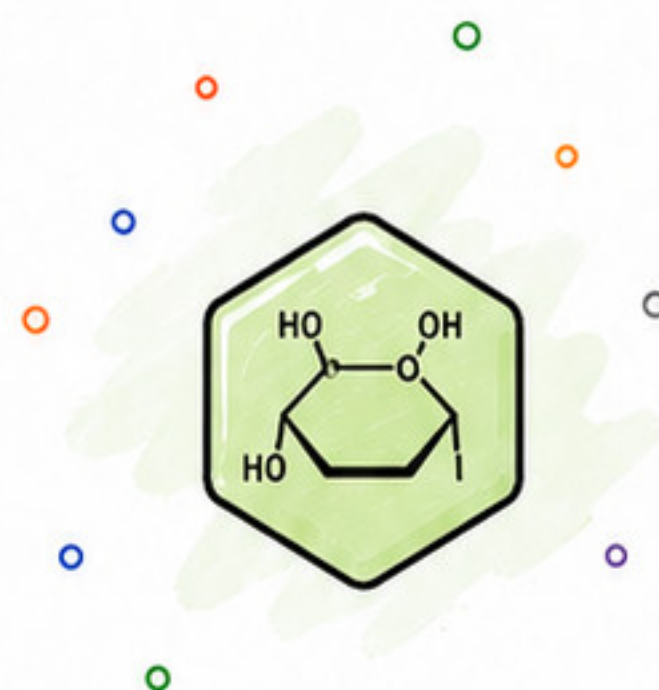
FOSFORYLACJI OKSYDACYJNEJ

dzięki energii elektronów wcześniej przechwyconych przez **NADH** i **FADH₂**.

MODUŁ 10

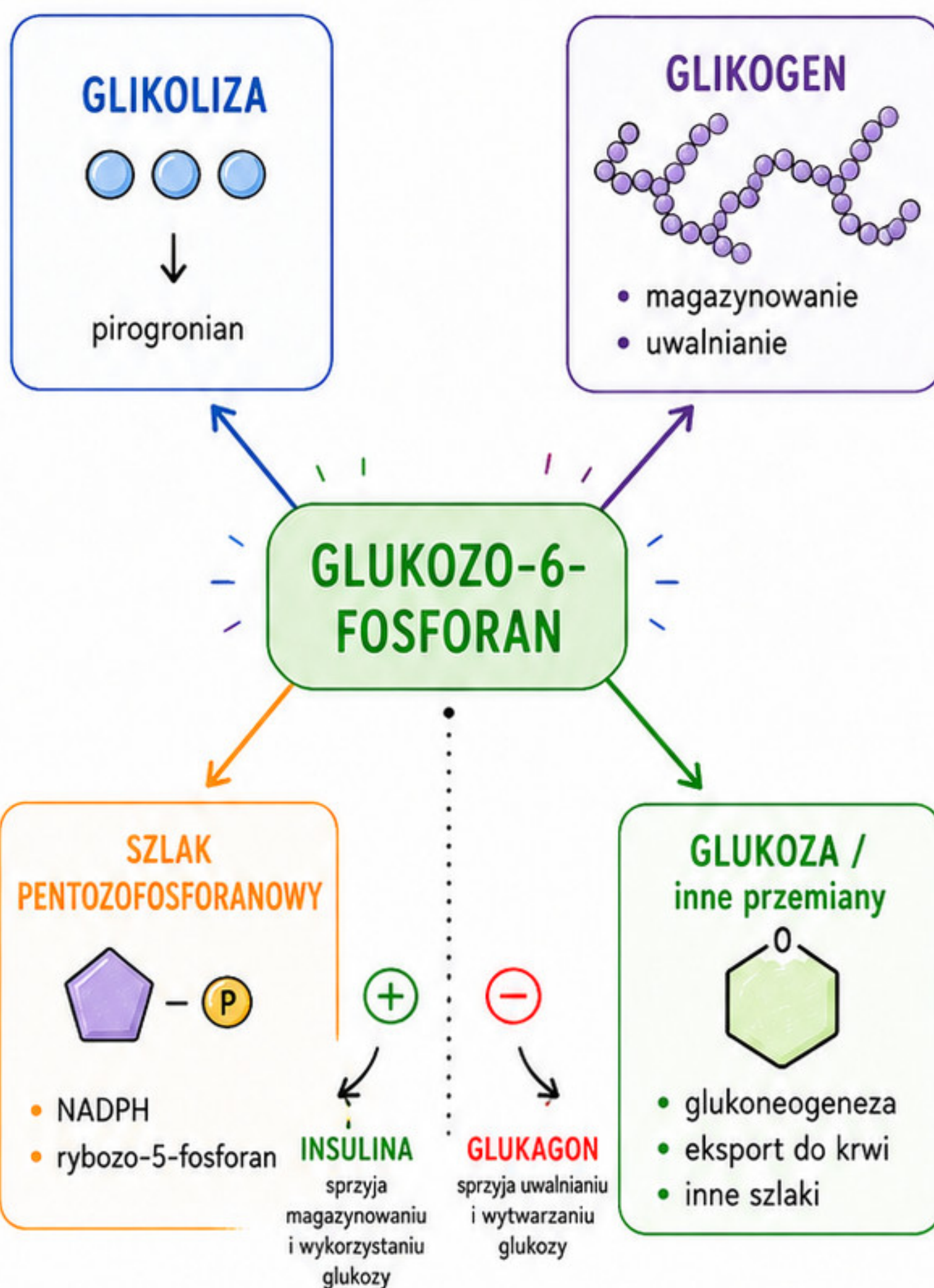
Metabolizm glukozy

Jak organizm magazynuje, uwalnia, produkuje i przekierowuje glukozę



W tym module poznasz:

- glikogenezę;
- glikogenolizę;
- różnicę między glikogenem wątroby i mięśni;
- glukoneogenezę;
- szlak pentozofosforanowy;
- podstawową regulację hormonalną;
- metaboliczne losy glukozy-6-fosforanu.



GLUKOZA = CENTRALNY WĘZEL METABOLICZNY

Glikogen – magazyn glukozy



Organizm musi utrzymywać stały poziom glukozy we krwi i mieć szybki dostęp do energii. Główną formą magazynowania glukozy u ludzi jest **GLIKOGEN**, szczególnie w **WĄTROBIE** i **MIĘŚNIACH**.



WĄTROBA



MIĘŚNIE

GLIKOGENEZA

= synteza glikogenu

GLUKOZA



GLUKOZO-6-FOSFORAN



GLUKOZO-1-FOSFORAN



aktywowana glukoza
(UDP-glukoza)



GLIKOGEN

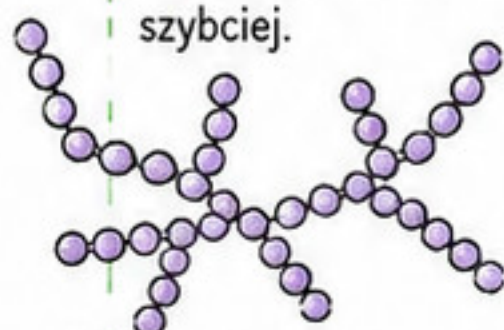
**SYNTAZA
GLIKOGENOWA**

– główny enzym
syntezy.



**ENZYM
ROZGAŁĘZIAJĄCY**

tworzy punkty
rozgałęzień,
zwiększając liczbę
końców. Dzięki temu
glukoza może być
dodawana i usuwana
szybciej.



GLIKOGENOLIZA

= rozpad glikogenu

GLIKOGEN



**FOSFORYLAZA
GLIKOGENOWA**

– główny enzym
rozkładu.



GLUKOZO-1-FOSFORAN



GLUKOZO-6-FOSFORAN

WĄTROBA

GLUKOZO-6-FOSFATAZA
(enzym unikalny dla wątroby)



GLUKOZO-6-FOSFORAN



GLUKOZA



KREW



Główna rola glikogenu wątrobowego:

UTRZYMYWAĆ GLIKEMIĘ

MIĘŚIEN

(nie eksportuje istotnie
wolnej glukozy)

GLUKOZO-6-FOSFORAN

GLIKOLIZA



Główna rola glikogenu mięśniowego:

ENERGIA DLA SAMEGO MIĘŚNIA

REGULACJA HORMONALNA



INSULINA

(stan po posiłku)



promuje **GLIKOGENEZĘ**
i magazynowanie glukozy
w wątrobie i mięśniach.



GLUKAGON

(stan głodu)



promuje **GLIKOGENOLIZĘ**
i uwalnianie glukozy
w wątrobie do krwi.



ADRENALINA

(wysiłek / stres)



może pobudzać **GLIKOGENOLIZĘ**
zwłaszcza w mięśniach
podczas wysiłku i stresu.



GLIKOGEN WĄTROBOWY →

pomaga całemu organizmowi poprzez
utrzymanie glukozy we krwi.



GLIKOGEN MIĘŚNIOWY →

jest przeznaczony przede wszystkim
dla mięśnia, w którym się znajduje.

WĄTROBA = GLIKEMIA

MIĘŚIEN = WŁASNA ENERGIA

Glukoneogeneza i szlak pentozofosforanowy

Dwie alternatywne drogi losu metabolitów związanych z glukozą.

GLUKONEOGENEZA

To proces syntezy glukozy z prekursorów, które nie są węglowodanami.

📍 Głównym miejscem jest: **WĄTROBA**

👤 W mniejszym stopniu także: **NERKI**

🕒 **Kiedy jest potrzebna?**
dłuższy post, między posiłkami, długotrwały wysiłek, ograniczona podaż węglowodanów.

★ **Najważniejsze prekursory:**
MLECZAN, GLICEROL, AMINOKWASY GLUKOGENNE

MLECZAN
GLICEROL
AMINOKWASY → **GLUKONEOGENEZA** → **GLUKOZA**

Przykład:

MLECZAN → PIROGRONIAN $\xrightarrow{\text{glukoneogeneza}}$ GLUKOZA
Cykl Corich

📌 Glukoneogeneza nie jest prostym odwróceniem glikolizy.
Obejście nieodwracalnych reakcji katalizują kluczowe enzymy:

- **KARBOKSYLAZA PIROGRONIANOWA** (pyruvate carboxylase)
- **PEPCK** (fosfoenolopirogronian karboksylaza)
- **FRUKTOZO-1,6-BISFOSFATAZA**
- **GLUKOZO-6-FOSFATAZA**

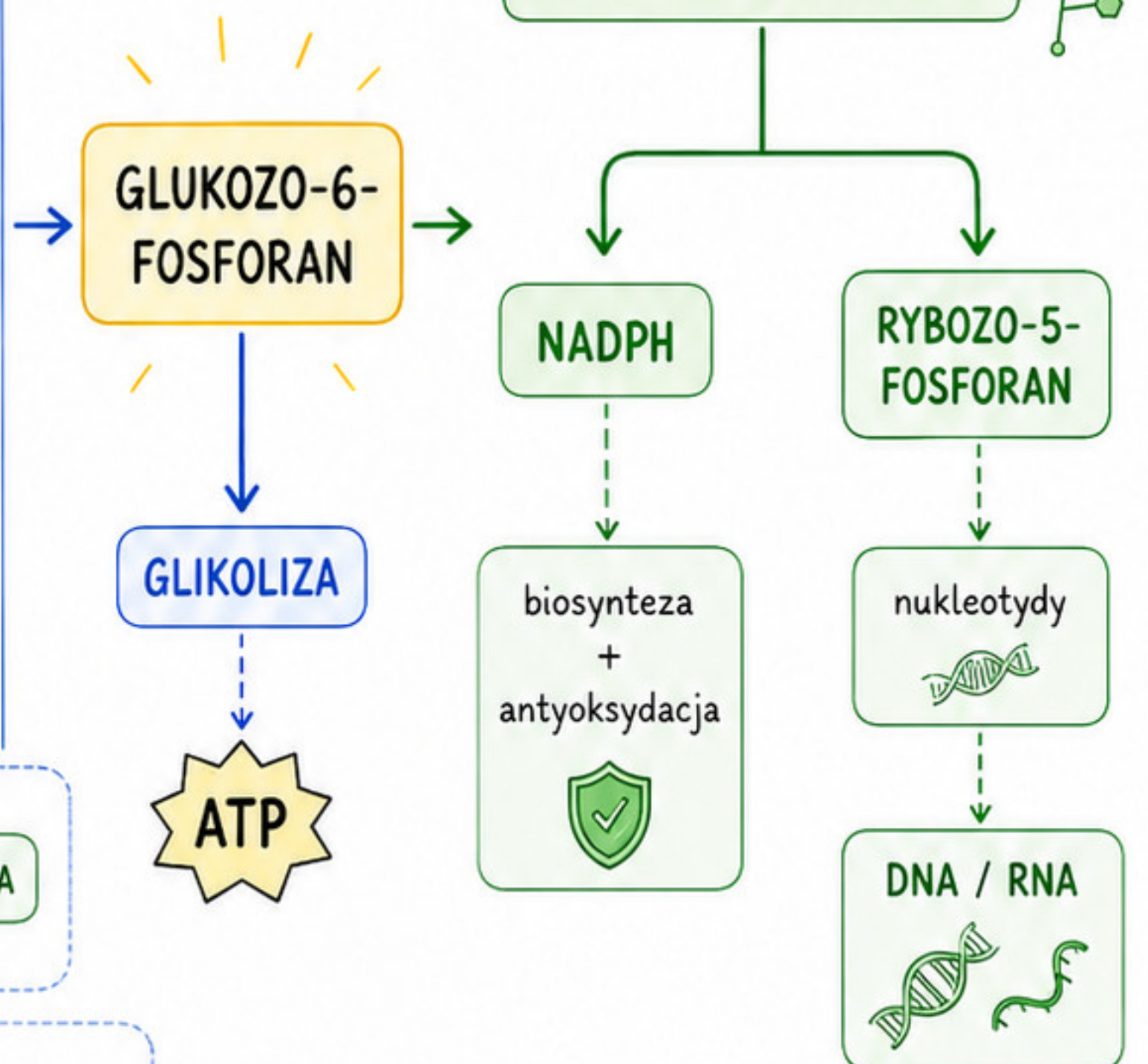
⚡ Wymaga energii: **ATP** i **GTP**



KLUCZOWA IDEA

Glukoza nie służy wyłącznie do produkowania energii.
Może również dostarczać **materiału** do biosyntezy oraz **siły redukcyjnej**.

SZLAK PENTOZOFOSFORANOWY

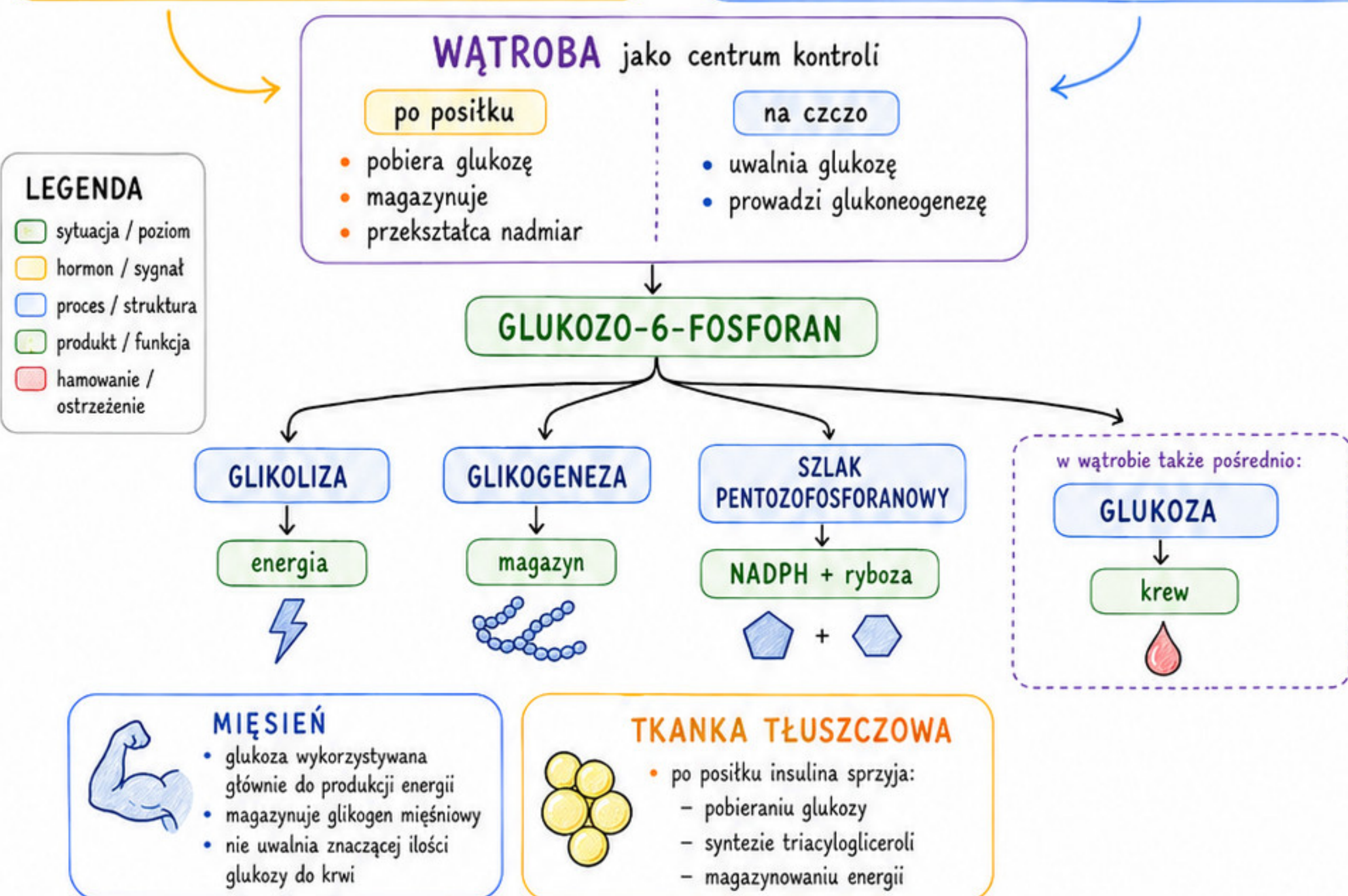
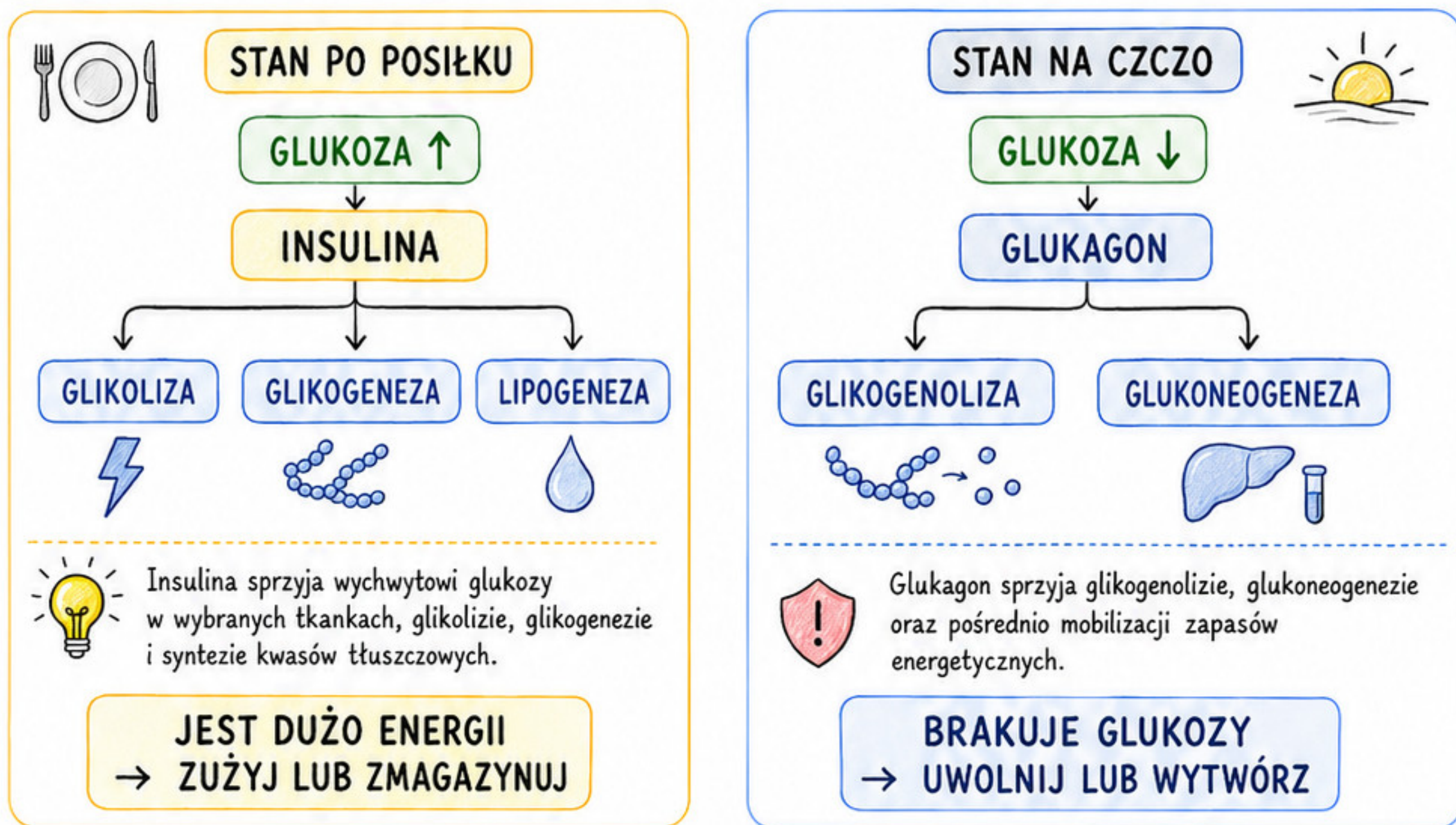


PORÓWNANIE KOFEREMENTÓW

NADH → głównie metabolizm energetyczny i łańcuch oddechowy

NADPH → głównie biosynteza i ochrona antyoksydacyjna

Metabolizm glukozy – mapa regulacji



INSULINA = MAGAZYNUJ **GLUKAGON = MOBILIZUJ**

★ Metabolizm jest koordynowany, aby nie wykonywać sprzecznych procesów bez potrzeby.

MODUŁ 11

Metabolizm lipidów

Jak organizm magazynuje tłuszcz, uwalnia kwasy tłuszczowe i zamienia je w energię

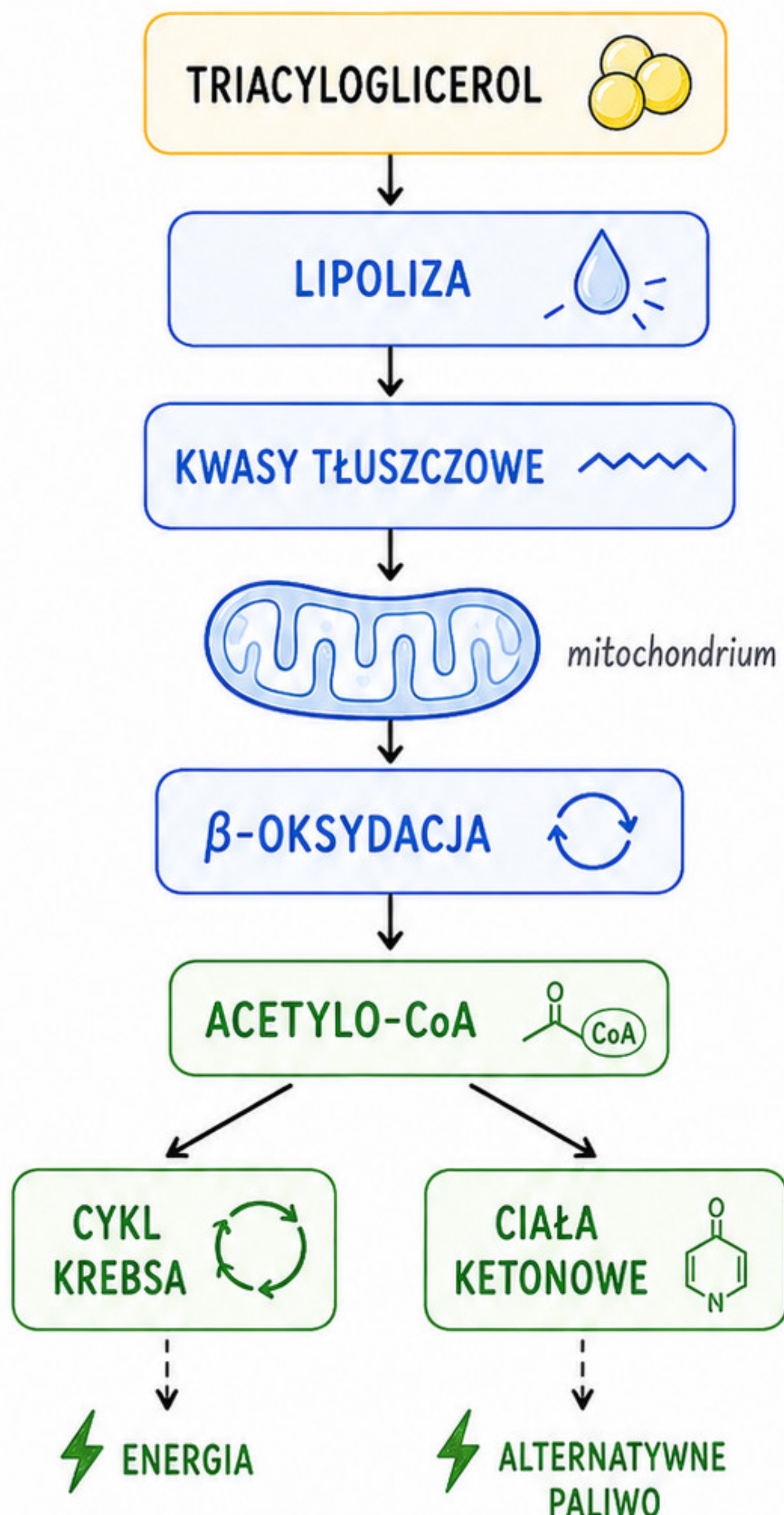


W tym module poznasz:

- lipolizę
- transport kwasów tłuszczowych
- β -oksydację
- rolę karnityny
- produkcję acetylo-CoA
- syntezę kwasów tłuszczowych
- ciała ketonowe
- regulację metabolizmu lipidów

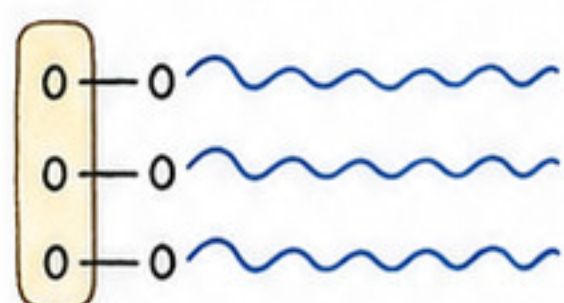


TŁUSZCZ = GĘSTY MAGAZYN ENERGII



β -oksydacja – jak kwasy tłuszczowe stają się energią?

1 Krok 1 – Lipoliza



TRIACYLOGLICEROL



Proces nazywamy:
LIPOLIZĄ



Glicerol może być wykorzystany głównie w wątrobie i wspiera metabolizm węglowodanów.



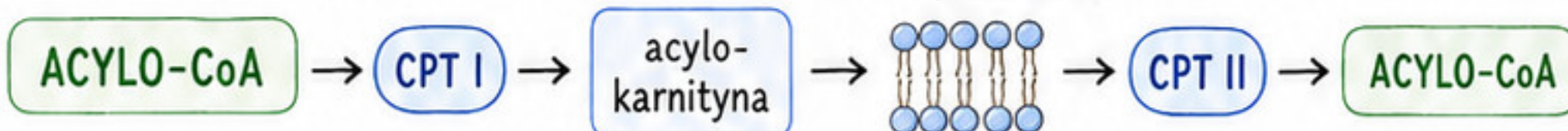
Kwasy tłuszczowe mogą być wykorzystane jako paliwo.

2 Krok 2 – Aktywacja kwasu tłuszczowego



Koszt odpowiada energetycznie **2 wiązaniom** wysokoenergetycznym ATP.

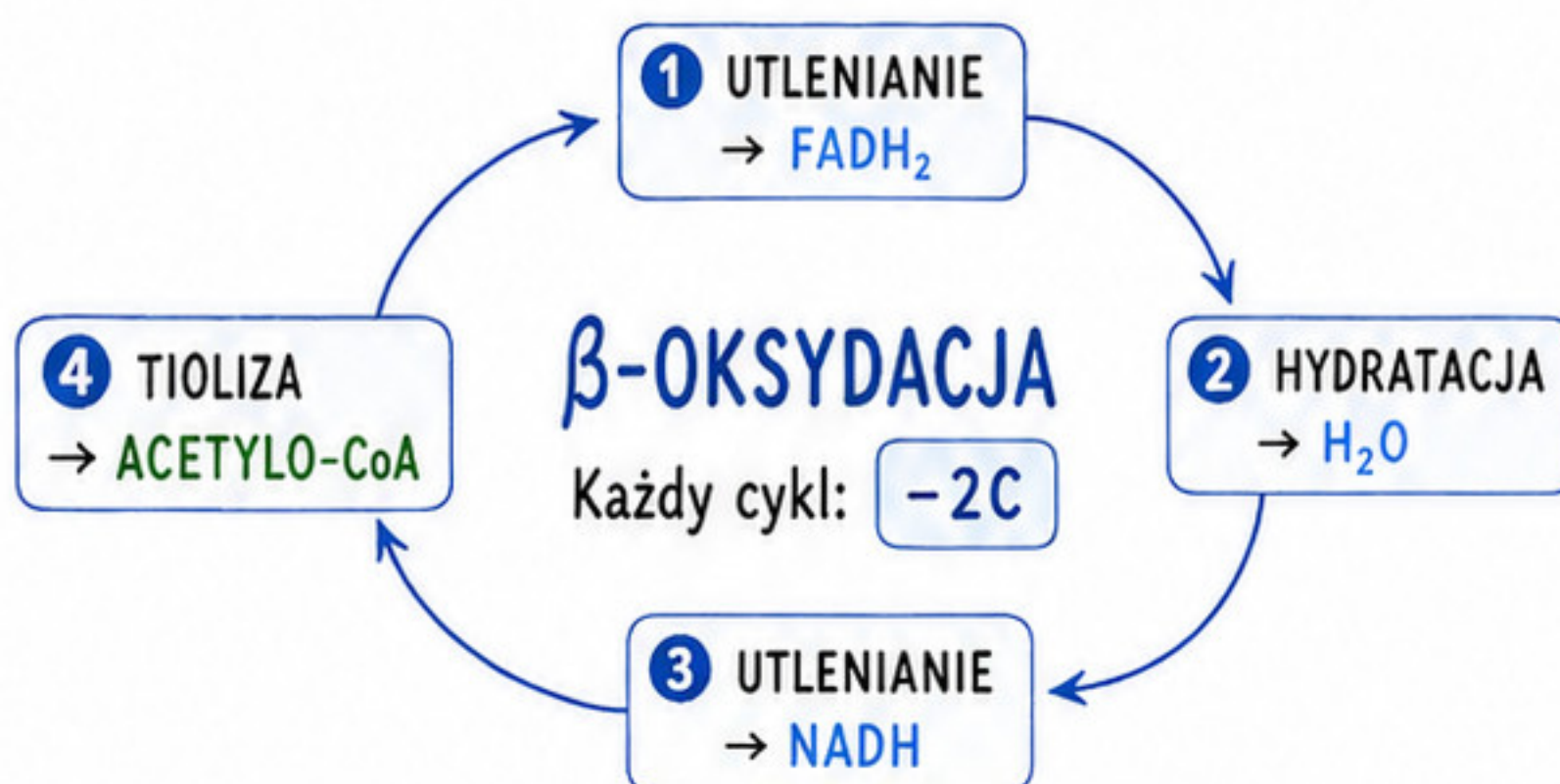
3 Krok 3 – Transport do mitochondrium



MALONYLO-CoA hamuje CPT I.

β -OKSYDACJA

zachodzi w macierzy mitochondrium.



Palmitynian (16C)

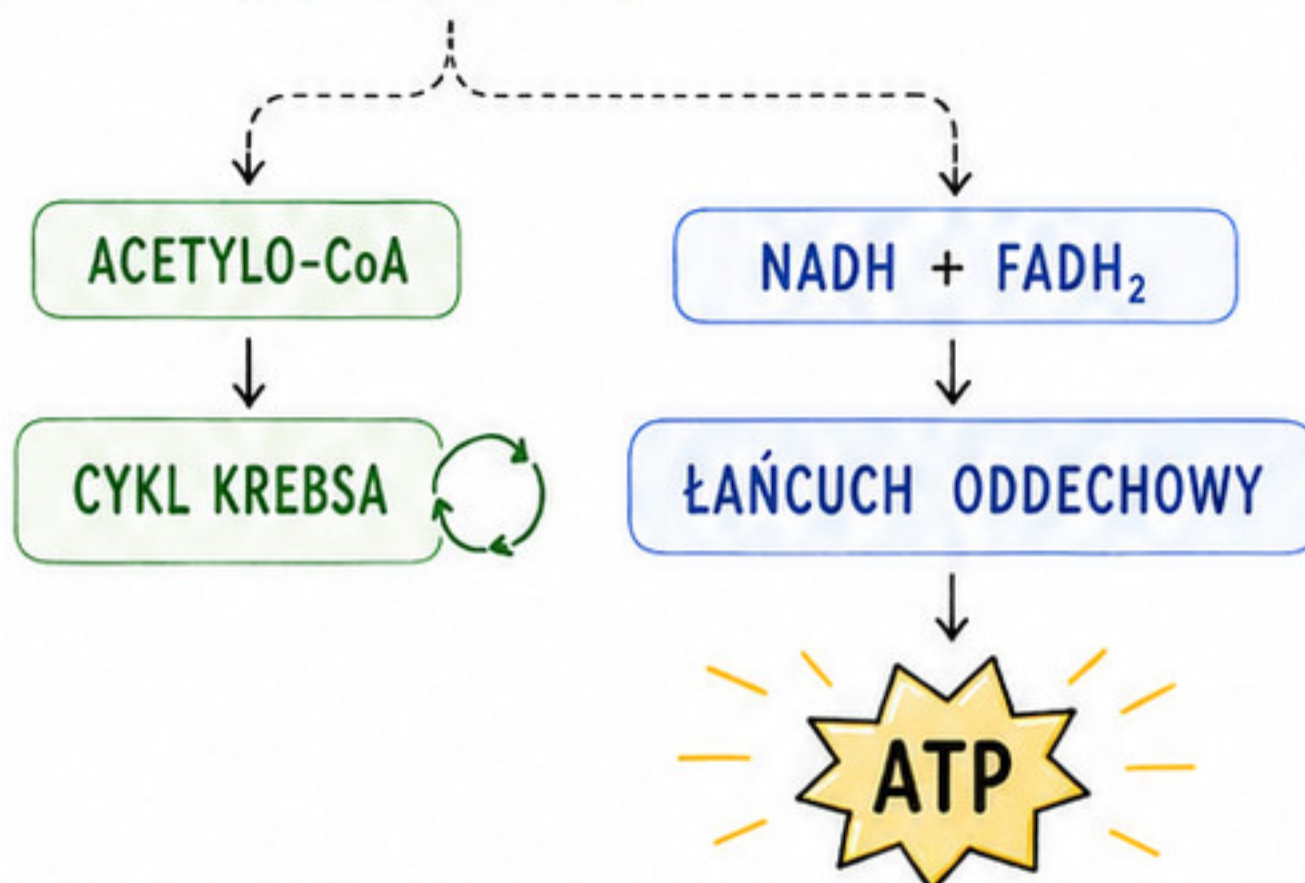


→ **około 106 ATP netto**



PORÓWNANIE

- Glukoza: **około 30-32 ATP**
- Palmitynian: **około 106 ATP**

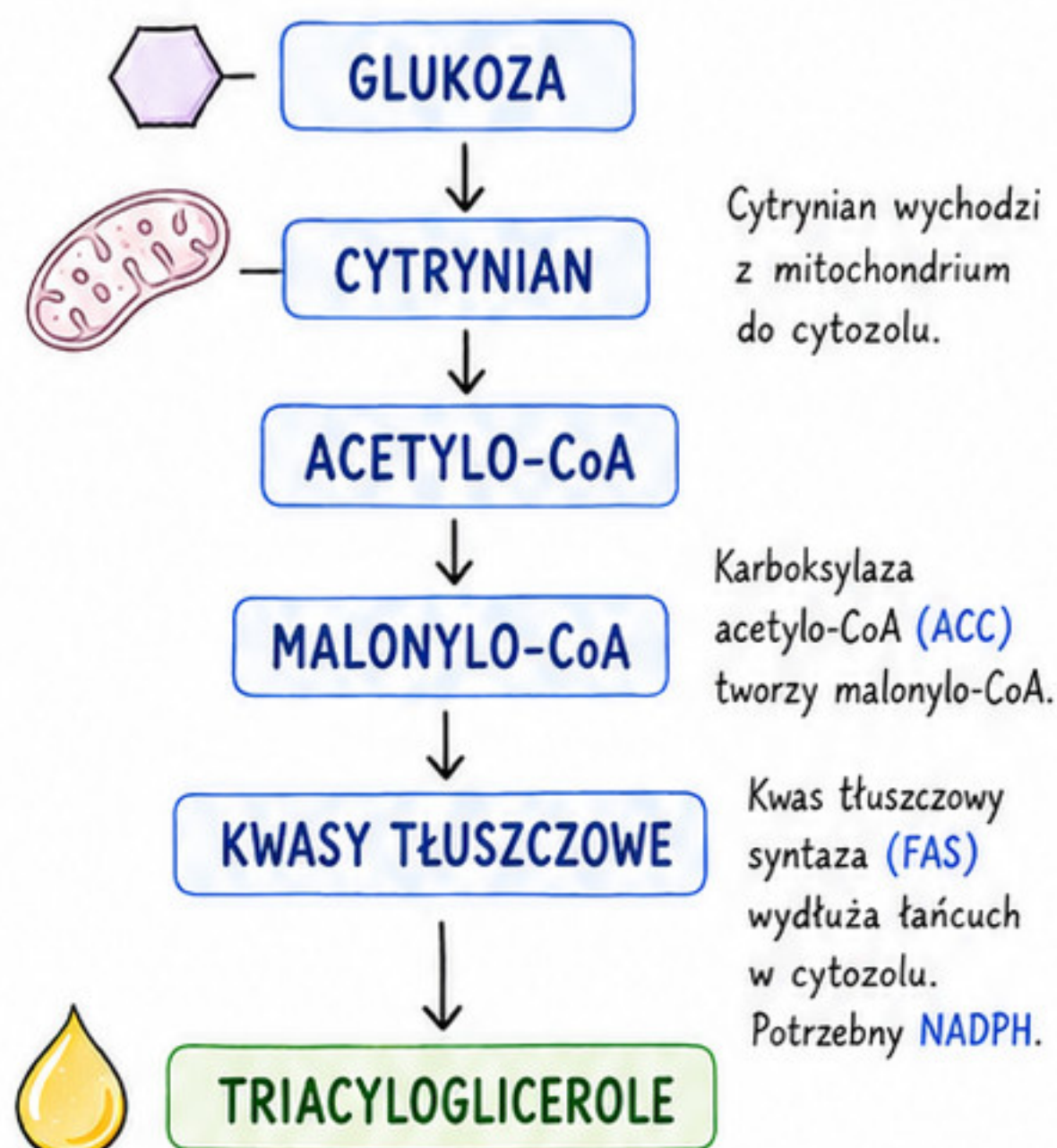


Lipidy są bardzo wydajnym magazynem energii.



Synteza kwasów tłuszczowych i ciała ketonowe

NADMIAR ENERGII



- Synteza kwasów tłuszczowych zachodzi głównie w cytozolu, szczególnie w wątrobie i tkance tłuszczowej.
- Grupy acetylowe są przenoszone do cytozolu w postaci cytrynianu.



GLUKOZA

szlak pentozofosforanowy

NADPH

Główne źródło NADPH do syntezy kwasów tłuszczowych.



INSULINA ↑ → sprzyja lipogenezie



MALONYLO-CoA hamuje CPT I

POST

COO^-

KWASY TŁUSZCZOWE

β -OKSYDACJA

W czasie długotrwałego postu wątroba intensywnie utlenia kwasy tłuszczowe.

ACETYLO-CoA

Powstaje duża ilość acetylo-CoA.

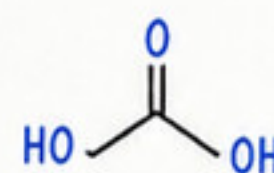
Szczawiooocan może być kierowany do glukoneogenezy.

CIAŁA KETONOWE

Nadmiar acetylo-CoA może być wykorzystany do ketogenezy.

CIAŁA KETONOWE:

- ACETOACETAN
- β -HYDROKSYMAŚLAN
- ACETON



- Acetoacetan i β -hydroksymaślan mogą być wykorzystywane przez inne tkanki jako źródło energii.
- Podczas długotrwałego postu mózg może wykorzystywać więcej ciał ketonowych.
- Wątroba wytwarza ciała ketonowe, ale nie wykorzystuje ich efektywnie jako paliwa (brak enzymu SCOT).



PO POSIŁKU → insulina → synteza kwasów tłuszczowych



POST → lipoliza + β -oksydacja → acetylo-CoA → ciała ketonowe



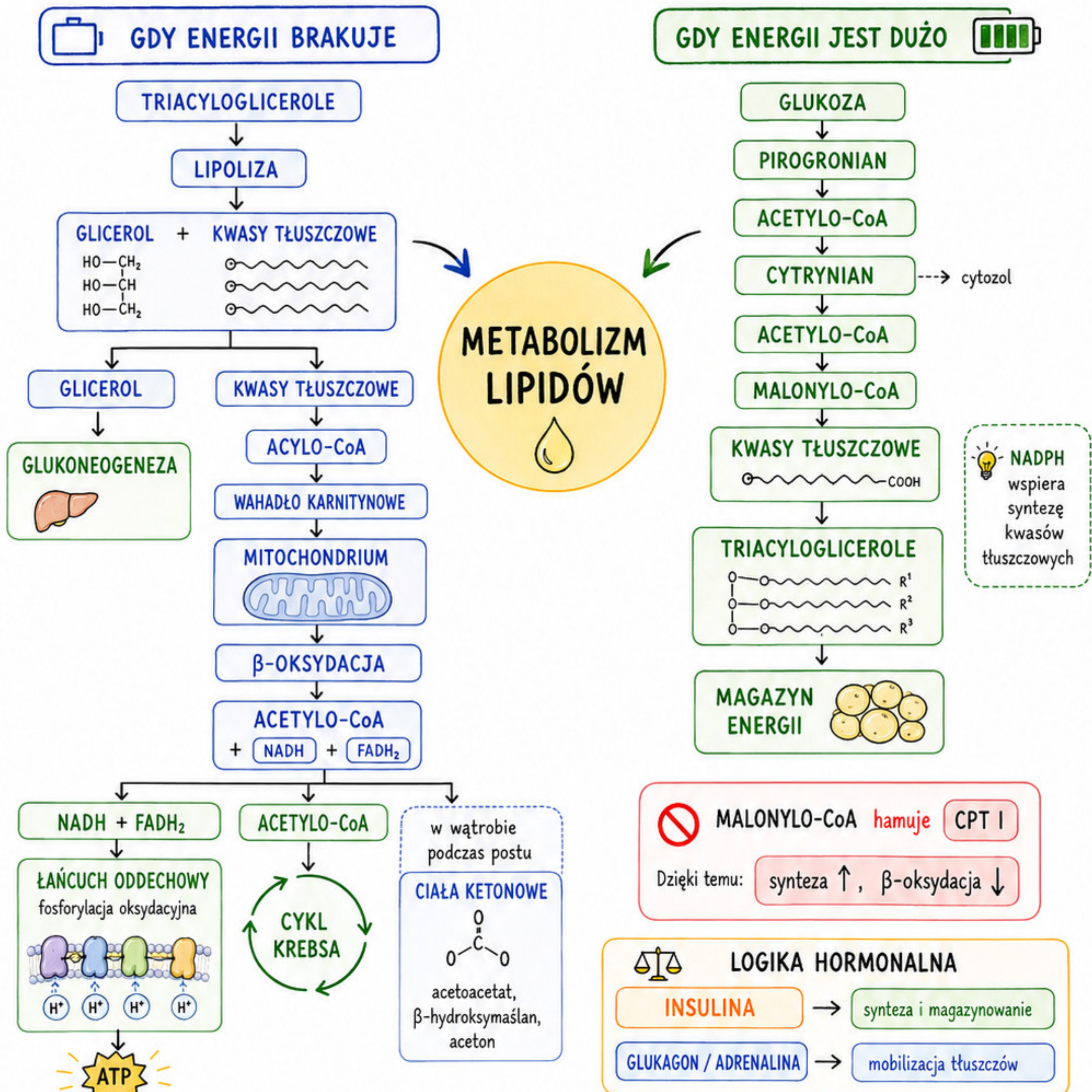
ACETYLO-CoA jest punktem rozdroża:

cykl Krebsa
(produkcja ATP)

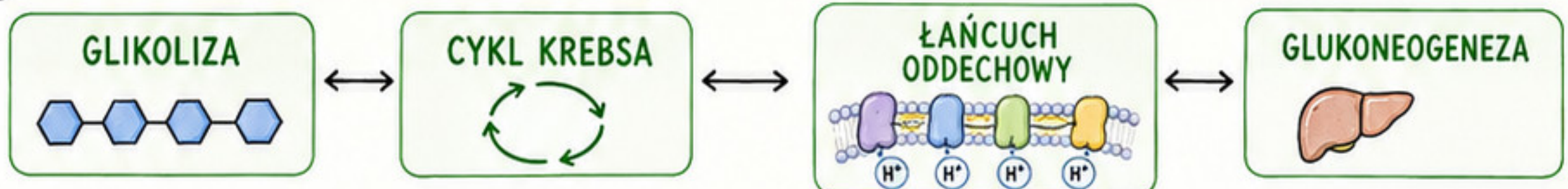
synteza lipidów
(kwasy tłuszczowe, TAG)

ketogeneza
(ciała ketonowe)

Metabolizm lipidów — mapa podsumowująca



INTEGRACJA — LIPIDY ŁĄCZĄ SIĘ BEZPOŚREDNIO Z:



TŁUSZCZ TO MAGAZYN, KTÓRY MOŻE STAĆ SIĘ PALIWEM,
ale w stanie nadmiaru energii organizm może również
zamieniać nadmiar substratów w tłuszcz.



MODUŁ 12

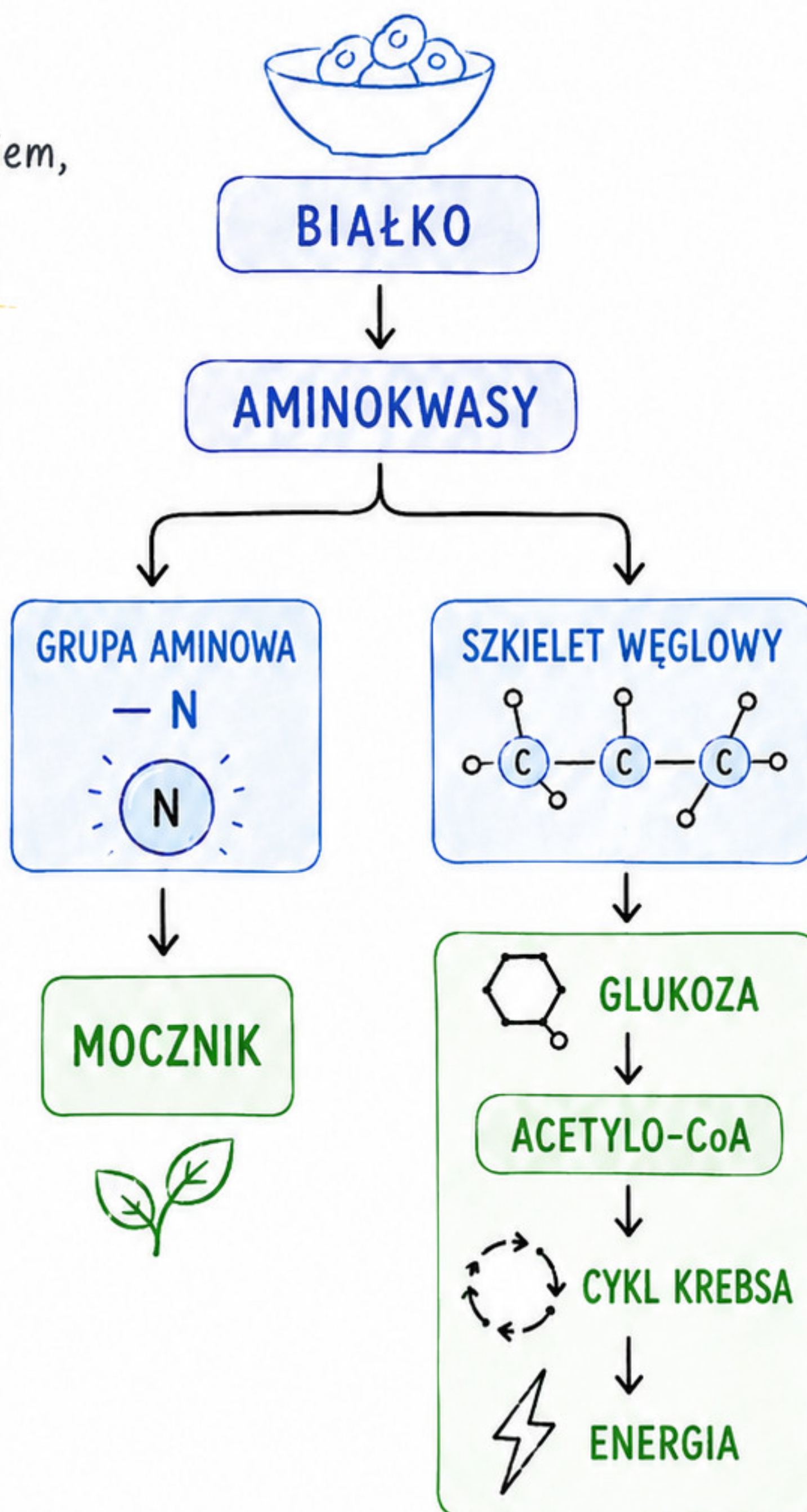
Metabolizm aminokwasów i białek

Co organizm robi z białkiem, aminokwasami i azotem



W tym module poznasz:

- obrót białek
- pulę aminokwasów
- transaminację
- deaminację
- amoniak
- cykl mocznikowy
- aminokwasy glukogenne i ketogenne
- wykorzystanie szkieletów węglowych



Co dzieje się z azotem aminokwasów?



Aminokwasy różnią się od glukozy i kwasów tłuszczowych tym, że zawierają **AZOT**.
Gdy aminokwas nie jest potrzebny do syntezy białek, jego składniki mogą zostać wykorzystane metabolicznie. Najpierw jednak grupę aminową trzeba w bezpieczny sposób „zagospodarować”.

1 TRANSAMINACJA



To przeniesienie grupy aminowej z aminokwasu na α -ketokwas.



Enzymy:
AMINOTRANSFERAZY



Koenzym:
FOSFORAN PIRYDOKSALU — PLP



PLP pochodzi z
WITAMINY B₆



$B_6 \rightarrow \text{PLP} \rightarrow$ aminotransferazy

2 DEAMINACJA

GLUTAMINIAN

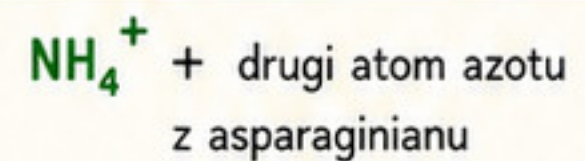


Glutaminian może uwolnić grupę aminową. Powstaje jon amonowy (NH_4^+), a α -ketoglutaran zostaje zregenerowany.



Amoniak / jon amonowy w nadmiarze jest **TOKSYCZNY**, szczególnie dla **UKŁADU NERWOWEGO**.

3 CYKL MOCZNIKOWY



CYKL MOCZNIKOWY



MOCZNIK



krew



NERKI



MOCZ

Zachodzi głównie w **WĄTROBIE**.

UPROSZCZONY PRZEBIEG CYKLU:

ORNITYNA



CYTRULINA



ARGININOBURSZTYNIAN



ARGININA



ORNITYNA



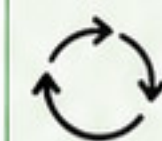
MOCZNIK



Pierwsze etapy: w **MITOCHONDRIMUM** (ornityna $\rightarrow$ cytrulina).



Kolejne etapy: w **CYTOSOLU**.



FUMARAN (powstający w cyklu mocznikowym) może wejść do **CYKLU KREBSA** jako jabłczan. Umożliwia to połączenie cyklu mocznikowego z cyklem Krebsa.



Organizm rozdziela **AZOT** od **SZKIELETU WĘGLOWEGO**.

Azot



MOCZNIK

Szkielet węglowy



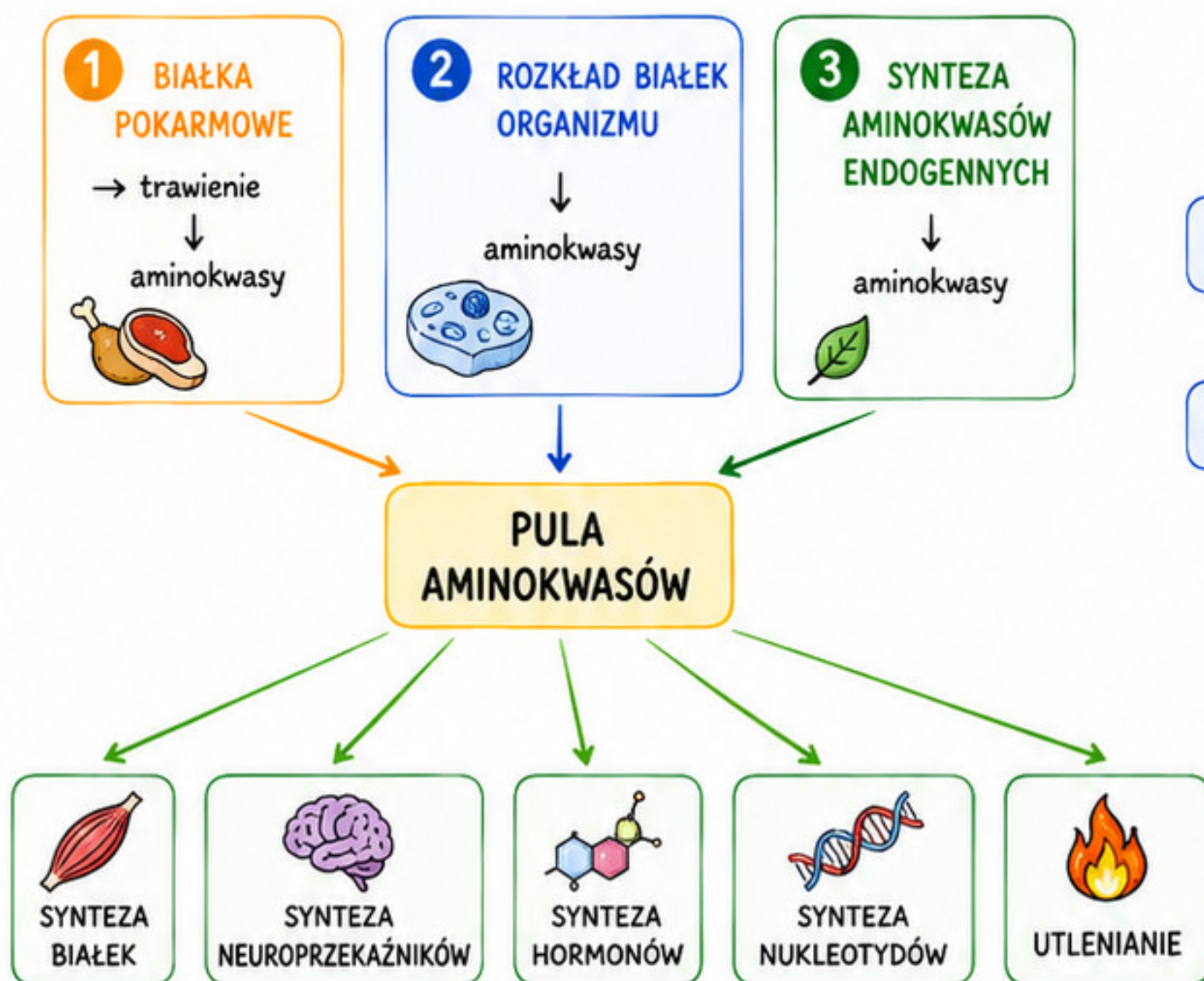
dalsze wykorzystanie metaboliczne

Obrót białek i losy aminokwasów

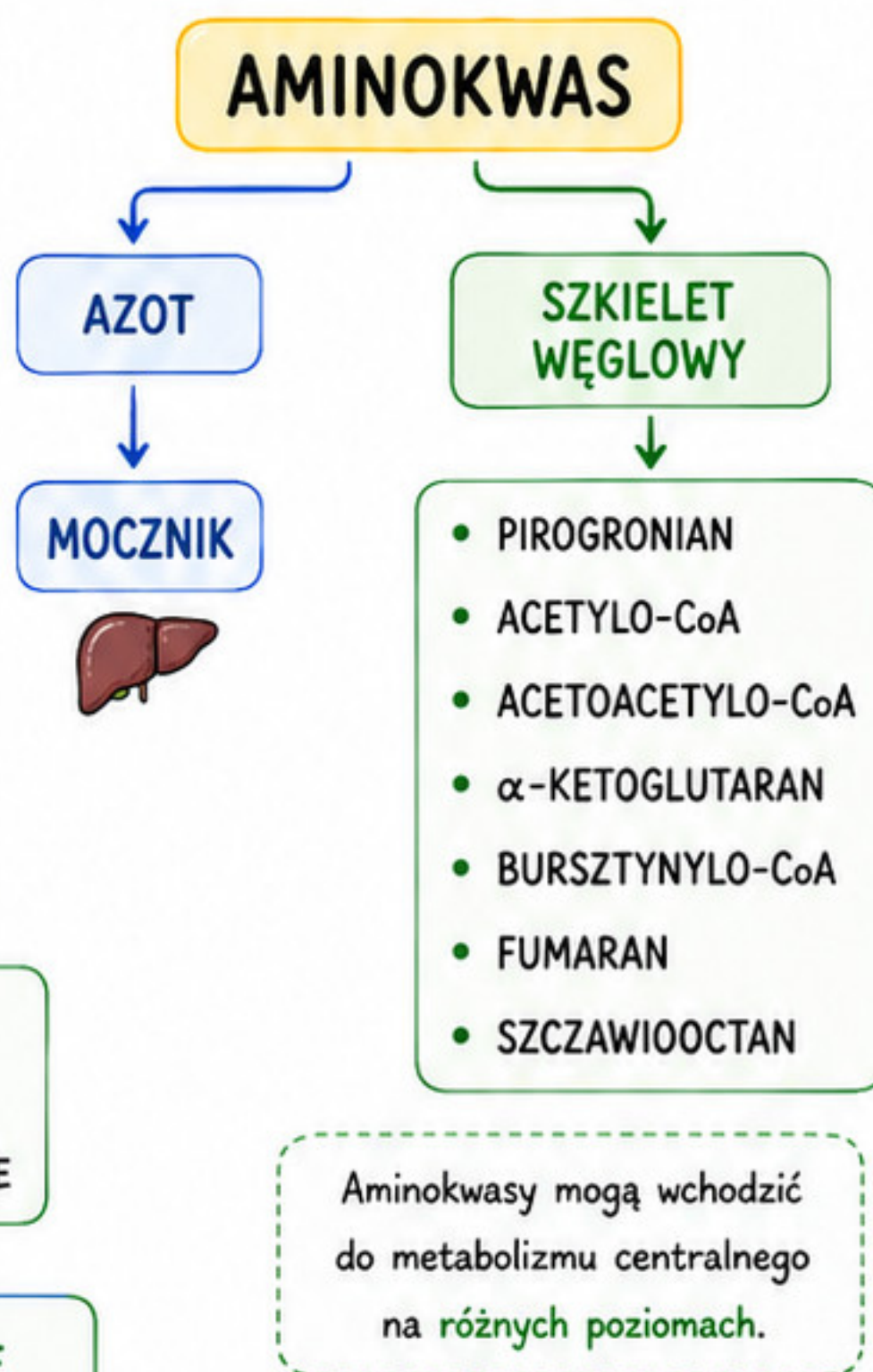


Białka w organizmie są nieustannie **SYNTEZOWANE** i **ROZKŁADANE**. Ten dynamiczny proces nazywamy **OBROTEM BIAŁEK**.

Skąd pochodzą aminokwasy?



Los aminokwasów w organizmie



AMINOKWASY GLUKOGENNE



→ mogą wspierać syntezę **GLUKOZY** poprzez **GLUKONEOGENEZĘ**.

AMINOKWASY KETOGENNE



→ dają **ACETYLO-CoA** lub **ACETOACETYLO-CoA** i mogą wspierać powstawanie **CIAŁ KETONOWYCH**.



LEUCYNA i **LIZYNA** są wyłącznie **KETOGENNE**.



Część aminokwasów jest jednocześnie **glukogenna** i **ketogenna**.



W organizmie nie ma specjalnego magazynu białek takiego jak glikogen czy tkanka tłuszczowa.

Wykorzystanie aminokwasów jako źródła energii może się zwiększać podczas:

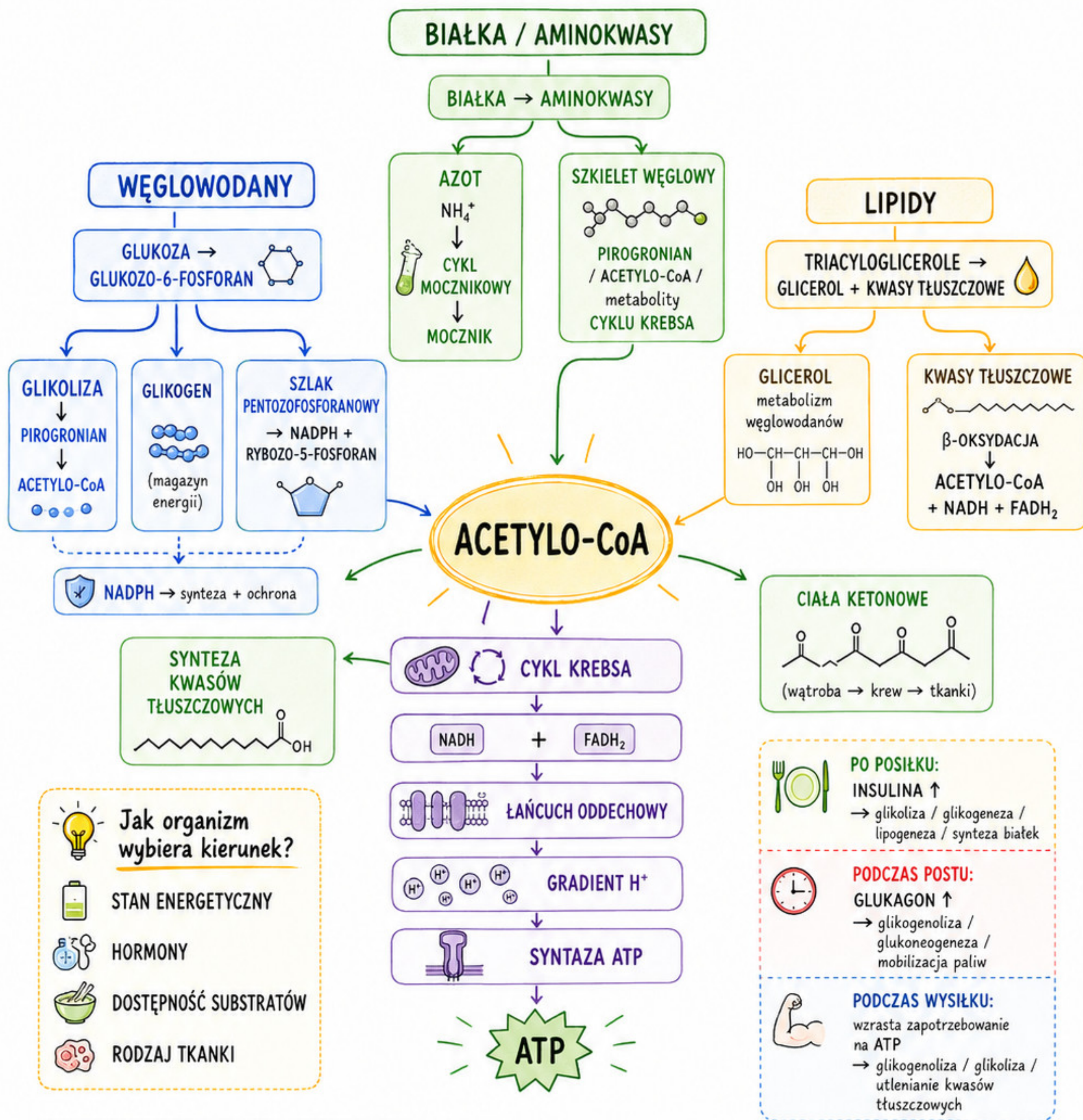
- długotrwałego postu,
- bardzo długiego wysiłku fizycznego,
- deficytu energetycznego,
- nasilonego rozpadu białek organizmu (katabolizmu).



AZOT musi zostać bezpiecznie usunięty, ale **SZKIELET WĘGLOWY** może zostać ponownie wykorzystany.

Wielka mapa metabolizmu

Węglowodany, lipidy i aminokwasy nie działają osobno — wszystko się łączy



6 pytań, które porządkują każdy szlak metaboliczny

- 1 GDZIE?
- 2 Z CZEGO?
- 3 DO CZEGO?
- 4 PO CO?
- 5 CO Z ENERGIA?
- 6 KIEDY?



Zrozumienie połączeń = zrozumienie biochemii.
TERAZ WIDZĘ, JAK WSZYSTKO SIĘ ŁĄCZY.



Biochemia nie jest listą reakcji do zapamiętania.

To system zależności.

NIE UCZ SIĘ STRZAŁEK NA PAMIĘĆ.

ZROZUM, DLACZEGO STRZAŁKI PROWADZĄ WŁAŚNIE TAM.