

DLA ABSOLWENTÓW SZKÓŁ PODSTAWOWYCH

Biologia na czasie 1

Podręcznik dla liceum ogólnokształcącego i technikum

Zakres rozszerzony

nowa era

Droga Nowa Ero,

Nigdy bym nie publikowała publicznie książek wydawnictw, które działają na uczciwych zasadach.

Wasza firma jednak promuje masowy dodruk, całkowicie niepotrzebnych książek, które mogłyby zastąpione wersjami elektronicznymi!

Co prawda e-booki są dostępne na waszej stronie, jednak:

- W przeciwieństwie do fizycznej książki, licencja na e-book kończy się po roku. Oznacza to, że jeżeli moja córka chciałaby powtórzyć sobie całą wiedzę do matury, musiałabym jej kupić wszystkie wasze książki od nowa.
- Waszych e-booków nie da się pobrać! Wymagają one dostęp do internetu, co uniemożliwia ich użycie na naszej wsi, gdzie zasięg jest ograniczony.
- Wasze e-booki nie działają na telefonach komórkowych!!!
- Wasze e-booki sprzedawane są po tej samej (albo wyższej) cenie co regularne książki. Cena e-booka powinna być niższa, gdyż e-booki wymagają elektronicznego czytnika (tabletu)!

Czas rozpocząć nową erę (o ironio), w której papier nie jest bezczelnie marnowany dla pieniędzy. Przedstawiam e-book, który spełnia wszystkie oczekiwania uczniów.

Dbajmy o środowisko, zróbmy to dla młodych pokoleń.

O czym jest podręcznik?

W podręczniku *Biologia na czasie 1* znajdziesz informacje dotyczące sposobu przeprowadzania badań przyrodniczych, składników chemicznych organizmów, budowy komórek oraz metabolizmu. Dzięki tym wiadomościom odpowiesz na wiele pytań dotyczących budowy i funkcjonowania organizmów.



Do czego służą poszczególne elementy podręcznika?

To było w szkole podstawowej!

Najważniejsze treści omawiane **w szkole podstawowe**j umieszczone na stronie rozpoczynającej dany dział pomogą Ci w zrozumieniu nowych wiadomości.

Doświadczenie

Doświadczenia i **obserwacje** zostały opisane w sposób, który umożliwi Ci dokładne przeanalizowanie wszystkich ich etapów. **Obowiązkowe** doświadczenia i obserwacje zostały oznaczone symbolem .

Samouczek

Ułatwi Ci **naukę kluczowych umiejętności** biologicznych krok po kroku.

Dowiedz się więcej

Dodatkowe treści związane z danym tematem pozwolą Ci lepiej zrozumieć omawiane zagadnienia i pogłębić wiedzę biologiczną.

Biologia w medycynie

Opisy **zastosowań wiedzy biologicznej w medycynie** umożliwią Ci poznanie praktycznego aspektu zdobywanych informacji.

Zwróć uwagę na:

Wyszczególnienie głównych treści na początku tematu podpowie Ci, które wiadomości są najważniejsze.

Czy wiesz, że...

Dzięki **ciekawostkom** zdobędziesz interesujące informacje związane z lekcją.

Polecenia kontrolne

Wykonanie poleceń umieszczonych na końcu tematu pozwoli Ci sprawdzić wiedzę i utrwalić zdobyte wiadomości.

WIESZ, UMIESZ, ZDASZ
Metoda kształcenia kluczowych umiejętności z biologii

Podsumowanie

Syntetyczne zestawienie kluczowych wiadomości z danego działu umożliwi Ci szybkie opanowanie wiedzy przed sprawdzianem.

Sposób na zadania

Szczegółowe wskazówki i podpowiedzi pozwolą Ci wykształcić umiejętność rozwiązywania zadań o różnej formie.

Zadania powtórzeniowe

Te **zadania** umożliwią Ci sprawdzenie wiedzy z danego działu oraz wykształcenie umiejętności rozwiązywania różnorodnych typów zadań.

Tablice biologiczne

Najważniejsze **zagadnienia biologiczne opracowane w tabelaryczny sposób** ułatwią Ci uporządkowanie i utrwalenie wiedzy.

Spis treści

1. Badania przyrodnicze

1.1. Metodyka badań biologicznych 6
1.2. Obserwacje mikroskopowe 17
Podsumowanie 24
Sposób na zadania 26
Zadania powtórzeniowe 27

2. Chemiczne podstawy życia

2.1. Skład chemiczny organizmów 30
2.2. Budowa i funkcje sacharydów 38
2.3. Budowa i funkcje lipidów 45
2.4. Aminokwasy. Budowa i funkcje białek ... 50
2.5. Budowa i funkcje nukleotydów oraz kwasów nukleinowych 61
Podsumowanie 66
Sposób na zadania 73
Zadania powtórzeniowe 74

3. Komórka – podstawowa jednostka życia

3.1. Budowa i funkcje komórki. Rodzaje komórek 78
3.2. Błony biologiczne 86
3.3. Transport przez błony biologiczne 89
3.4. Jądro komórkowe. Cytozol 97
3.5. Mitochondria i plastydy. Teoria endosymbiozy 105
3.6. Struktury komórkowe otoczone jedną błoną i rybosomy 109
3.7. Ściana komórkowa 118
3.8. Cykl komórkowy. Mitoza 121
3.9. Mejoza 129
Podsumowanie 135
Sposób na zadania 142
Zadania powtórzeniowe 144

4. Metabolizm

4.1. Podstawowe zasady metabolizmu 148
4.2. Budowa i działanie enzymów 155
4.3. Regulacja aktywności enzymów 160
4.4. Autotroficzne odżywianie się organizmów – fotosynteza 171
4.5. Autotroficzne odżywianie się organizmów – chemosynteza 182
4.6. Oddychanie komórkowe. Oddychanie tlenowe 184
4.7. Procesy beztlenowego uzyskiwania energii 196
4.8. Inne procesy metaboliczne 201
Podsumowanie 211
Sposób na zadania 219
Zadania powtórzeniowe 220

Sposób na zadania – odpowiedzi 224
Doświadczenia i obserwacje – odpowiedzi .. 225
Tablice biologiczne 227
Przydatne terminy 232
Indeks 236
Literatura uzupełniająca 240

Klasa 2

- Różnorodność organizmów

Klasa 3

- Człowiek

Klasa 4

- Genetyka
- Ewolucjonizm
- Ekologia
- Ochrona przyrody



1. Badania przyrodnicze

To było w szkole podstawowej!

- ☑ **Obserwacja** – zaplanowane działanie badawcze, które polega na uważnym przyglądaniu się wybranemu organizmowi lub procesowi bez wpływania na jego przebieg.
- ☑ **Doświadczenie** – zaplanowane działanie badawcze, które polega na badaniu wpływu wybranego czynnika na dany organizm lub proces.
- ☑ **Etapy metody naukowej:**



1.1. Metodyka badań biologicznych

Zwróć uwagę na:
- sposób przeprowadzania obserwacji i doświadczeń,
- różnice między próbą kontrolną a próbą badawczą,
- sposób formułowania problemu badawczego, hipotezy i wniosków,
- metody analizy i interpretacji wyników badań.

W naukach biologicznych dominują dwie metody poznawania świata: obserwacja i doświadczenie.

Obserwacja to metoda prowadzenia badań, w której badacz nie wpływa na obserwowany organizm czy proces, a jedynie określa stan faktyczny, czyli to co widzi. Obserwacja jest najstarszą metodą badawczą. Bywa też elementem doświadczenia.

Doświadczenie (eksperyment) to metoda prowadzenia badań, w której sprawdzamy, jak wybrany czynnik wpływa na dany organizm czy proces.

W badaniach biologicznych konieczne jest sformułowanie **problemu badawczego**, czyli określenie celu badania. Problem badawczy to pytanie, na które badacz chce uzyskać odpowiedź. Dla wszystkich doświadczeń oraz wielu obserwacji należy również określić **próbę badawczą** oraz **próbę kontrolną**. W doświadczeniu próbę badawczą tworzą organizmy lub procesy poddawane działaniu badanego czynnika, natomiast próbę kontrolną – organizmy lub procesy niepoddawane działaniu badanego czynnika. Dzięki temu można określić, czy obserwowany w próbie badawczej efekt wynika z działania badanego czynnika. W przypadku obserwacji próbą badawczą są badane organizmy lub procesy, poddane niezbędnym czynnościom badawczym, np. wirowaniu czy barwieniu. Próbę kontrolną poddaje się tym samym czynnościom co próbę badawczą, jednak jest ona pozbawiona przedmiotu badania. Tak przygotowana próba kontrolna służy do oceny tego, czy obserwowany w próbie badawczej efekt wynika z obecności w niej przedmiotu badania.

Podczas badania biologicznego należy pamiętać o tym, aby dla każdej próby badawczej i kontrolnej wykonać serię powtórzeń. W warunkach szkolnych wykonuje się przynajmniej trzy powtórzenia. W trakcie badań, np. medycznych lub farmaceutycznych, prowadzonych przez ośrodki naukowe liczba powtórzeń może sięgać nawet kilkuset lub więcej. Im większa jest liczba powtórzeń w próbach, tym uzyskany wynik końcowy doświadczenia jest bardziej wiarygodny. Należy pamiętać, że uzyskane w powtórzeniach wyniki nie zawsze są identyczne, jednak zazwyczaj są do siebie zbliżone. Aby móc na ich podstawie wyciągać prawidłowe wnioski, wyniki powinny zostać najpierw przeanalizowane statystycznie, np. dla każdej z prób powinno się obliczyć średnią arytmetyczną. Więcej o średniej arytmetycznej dowiecie się na s. 8.

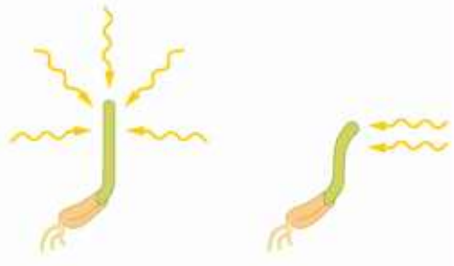
Przedmiot badań a obiekt badań

Przed rozpoczęciem badań biologicznych należy określić przedmiot i obiekt badań. Przedmiotem badań jest zjawisko lub proces, które chcemy poznać, np. przebieg danej choroby. Obiekt badań to materiał biologiczny lub organizmy, na których będziemy prowadzić badania, np. hodowla komórkowa lub zwierzęta laboratoryjne.



Zasady prowadzenia badań biologicznych

Badania biologiczne przeprowadza się według określonego schematu, w którym wyróżnia się pięć głównych etapów.

Etap badania	Opis	Przykład
1 **Obserwacja**	Zaobserwowanie przez badacza nieznanego organizmu czy niewytłumaczonego procesu.	Siewki pszenicy oświetlane z jednej strony rosną w kierunku źródła światła.
2 **Sformułowanie problemu badawczego**	Problem badawczy zazwyczaj przyjmuje postać zdania pytającego, na które badacz chce znaleźć odpowiedź, lub równoważnika zdania.	Czy siewki pszenicy oświetlane z jednej strony rosną w kierunku źródła światła? (zdanie pytające) lub Wpływ oświetlania siewek pszenicy z jednej strony na kierunek ich wzrostu. (równoważnik zdania)
3 **Postawienie hipotezy**	Udzielenie przewidywanej, niekoniecznie prawdziwej odpowiedzi na pytanie sformułowane w problemie badawczym. Hipoteza może mieć formę zdania oznajmującego twierdzącego lub przeczącego.	Siewki pszenicy oświetlane z jednej strony rosną w kierunku źródła światła. (zdanie twierdzące) lub Siewki pszenicy oświetlane z jednej strony nie rosną w kierunku źródła światła. (zdanie przeczące)
4 **Weryfikacja hipotezy**	Sprawdzenie prawdziwości hipotezy za pomocą obserwacji lub doświadczenia. Etap ten obejmuje: • zaplanowanie doświadczeń, czyli określenie sposobu, w jaki badacz będzie sprawdzał hipotezę. Najważniejsze jest prawidłowe zaplanowanie próby badawczej i próby kontrolnej – powinny się one różnić jedynie badanym czynnikiem. Pozostałe czynniki i warunki powinny być identyczne we wszystkich próbach. Należy pamiętać, aby dla każdej próby kontrolnej i badawczej wykonać wiele powtórzeń; • przeprowadzenie doświadczeń; • zebranie wyników, czyli wykonanie dokumentacji badań, najczęściej w formie tabel lub wykresów; • analizę wyników.	Zaplanowanie i założenie hodowli siewek. **Próba badawcza:** hodowla siewek oświetlanych z jednej strony. **Próba kontrolna:** hodowla siewek oświetlanych równomiernie. Zebranie wyników w postaci danych liczbowych, a następnie ich analiza.  **próba kontrolna** **próba badawcza**
5 **Sformułowanie wniosku**	Wniosek musi być oparty bezpośrednio na wynikach obserwacji lub doświadczenia. Jest potwierdzeniem lub zaprzeczeniem hipotezy. Gdy hipoteza została odrzucona, zwykle są podejmowane dalsze badania i stawiana jest nowa hipoteza.	Jeżeli analiza danych potwierdza prawdziwość założonej hipotezy, można ją przyjąć. Wówczas wniosek powinien brzmieć: Siewki pszenicy oświetlane z jednej strony rosną w kierunku źródła światła.

Samouczek

Średnia arytmetyczna – prosta analiza statystyczna w badaniach biologicznych

W trakcie badań biologicznych dla każdej próby wykonuje się wiele powtórzeń. Ich wyniki nie są identyczne, dlatego należy poprawnie je zinterpretować. W tym celu wykonuje się analizy statystyczne. Jedną z podstawowych analiz statystycznych jest obliczanie średniej arytmetycznej, czyli zsumowanie wyników, a następnie podzielenie uzyskanej sumy przez liczbę wyników. Poniżej przedstawiono przykład obliczania średniej arytmetycznej.

$$\textit{średnia arytmetyczna} = \frac{\textit{suma wyników}}{\textit{liczba wyników}}$$

Przykładowa obserwacja

W tabeli zestawiono wyniki uzyskane w pewnym doświadczeniu biologicznym.

Nr pomiaru	Próba 1	Próba 2	Próba 3
1.	27,5	15,3	25,4
2.	32,0	17,8	23,9
3.	24,5	28,0	22,0
4.	36,1	20,2	26,5
5.	33,1	16,7	26,3
6.	28,4	17,4	21,1

Aby określić, w której próbie uzyskano najwyższe wyniki, a w której – najniższe oraz porównać je ze sobą, należy dla każdej próby obliczyć średnią arytmetyczną.

Krok 1

Oblicz sumę wyników w każdej próbie.

Próba 1:
27,5 + 32,0 + 24,5 + 36,1 + 33,1 + 28,4 = **181,6**

Próba 2:
15,3 + 17,8 + 28,0 + 20,2 + 16,7 + 17,4 = **115,4**

Próba 3:
25,4 + 23,9 + 22,0 + 26,5 + 26,3 + 21,1 = **145,3**

Krok 2

Podziel uzyskany wynik sumowania przez liczbę wyników w danej próbie.

W podanym przykładzie w każdej próbie było sześć pomiarów, więc uzyskane sumy należy podzielić przez 6.

Próba 1: 181,6 : 6 = **30,3**

Próba 2: 115,4 : 6 = **19,2**

Próba 3: 145,3 : 6 = **24,2**

Krok 3

Dzięki analizie wartości średnich arytmetycznych możemy dostrzec różnice w poszczególnych próbach. Najwyższe wyniki uzyskano w próbie 1, a najniższe – w próbie 2. Wyniki te można również przedstawić graficznie, np. w postaci wykresu słupkowego. Umożliwi to wizualne porównanie różnic między poszczególnymi próbami.



Jak odróżnić prawdziwą informację od fałszywej?

W dzisiejszych czasach mamy dostęp do ogromnej liczby informacji naukowych. Jednak nie każda informacja, która do nas dociera, jest prawdziwa, obiektywna i zgodna z aktualną wiedzą naukową. Jak możesz ustrzec się przed nierzetelnymi informacjami i manipulacją?



Sprawdź źródło informacji
Jeśli informacja wydaje się niewiarygodna, może być częścią żartobliwej lub satyrycznej wypowiedzi. Przeanalizuj dokładnie, skąd pochodzi informacja. Jeżeli została zamieszczona na stronie internetowej lub w gazecie, sprawdź ich opisy.



Przeczytaj artykuł do końca
Często nagłówki artykułów są formułowane w sposób prowokacyjny, aby skłonić odbiorcę do dalszej lektury. Mogą one nawet zawierać fałszywe informacje, sprzeczne z treścią artykułu, dlatego czytaj teksty w całości, nie tylko nagłówki. Zwłaszcza że niektóre artykuły mają charakter prześmiewczy, o czym autorzy często informują na samym końcu.

Wyszukaj informacje na dany temat w innych źródłach
Spróbuj wyszukać podane informacje w artykułach i publikacjach naukowych. Możesz wykorzystać do tego celu wyszukiwarki internetowe, takie jak Google Scholar lub Pubmed. Pamiętaj, że najrzetelniejsze informacje naukowe uzyskasz z artykułów naukowych publikowanych w czasopismach naukowych. Przykładami najbardziej znanych czasopism biologicznych są „Nature" oraz „Science".



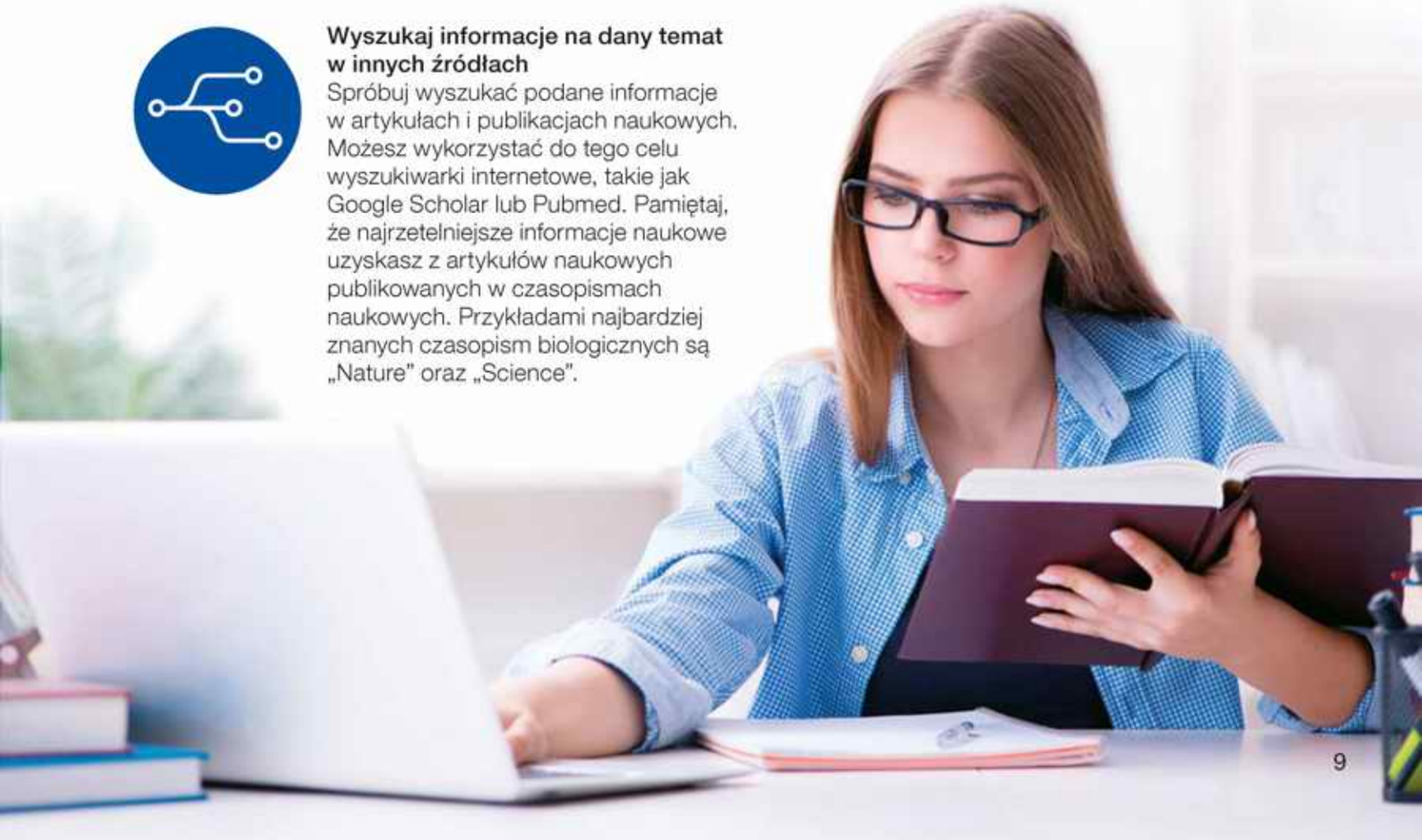
Sprawdź datę publikacji
Informacje zamieszczone wiele lat temu mogą nie być zgodne z aktualną wiedzą naukową. Nawet artykuły naukowe opublikowane w cenionych czasopismach naukowych wiele lat temu mogą zawierać informacje dzisiaj uznane za nieprawdziwe.



Zapytaj ekspertów
Zapytaj ekspertów, np. nauczyciela, czy odnalezione przez Ciebie wiadomości są rzetelne.



Sprawdź, kim jest autor tekstu
Poszukaj informacji o autorze tekstu lub twórcach strony. Upewnij się, czy w ogóle istnieją i czy są wiarygodni.



Samouczek

Jak wykonać dokumentację badań biologicznych?

Sposób prezentacji zgromadzonych danych zależy od ich rodzaju. **Dane jakościowe**, takie jak barwa organizmu czy zachowanie się obiektu badawczego, można zaprezentować w postaci fotografii, filmu, rysunku lub tabeli. **Dane ilościowe**, np. liczba badanych osobników, długość czy masa ciała badanego obiektu, mogą być zapisane w postaci tabeli bądź wykresu.

1 Konstruowanie tabeli

Tabela umożliwia zestawienie i uporządkowanie dużej liczby danych, a także porównanie danych dotyczących poszczególnych obiektów. Można w niej przedstawiać zarówno dane jakościowe, jak i ilościowe. W konstruowaniu tabeli najważniejsze jest poprawne zaplanowanie nagłówka.

Tabela powinna być opatrzona **tytułem** określającym jej zawartość.

Symbol jednostki można podać w nagłówku w nawiasie kwadratowym. Wówczas dane liczbowe zapisane w kolumnie nie muszą być nim opatrzone.

Wygląd płatków kwiatów badanych osobników

Nr osobnika	Rodzaj brzegów płatków	Barwa płatków	Średnia długość płatków [cm]
1.	gładkie	biała	6,2
2.	poszarpane	czerwona	7,0
3.	gładkie	różowa	6,3

Pierwszy wiersz lub pierwsza kolumna tabeli to **nagłówek**. Komórki nagłówka zawierają informacje o tym, jakie dane znajdują się w poszczególnych kolumnach i wierszach.

Jeśli nagłówkiem jest pierwszy wiersz tabeli, to w pierwszej kolumnie zwykle wpisuje się **dane porządkowe**, np. numer lub symbol próby.

Dane jakościowe należy wpisać w tabeli słownie.

Dane liczbowe w tabeli należy podawać z taką samą dokładnością dla określonej jednostki (np. do jednego miejsca po przecinku).

2 Konstruowanie wykresów

Wykres pozwala wychwycić tendencje i zależności, których nie można bezpośrednio zaobserwować w tabeli. Wybór formy wykresu zależy od tego, jakie dane chcemy na nim przedstawić. Wykresy można również nazywać diagramami.

1. Wykres kolumnowy i wykres liniowy

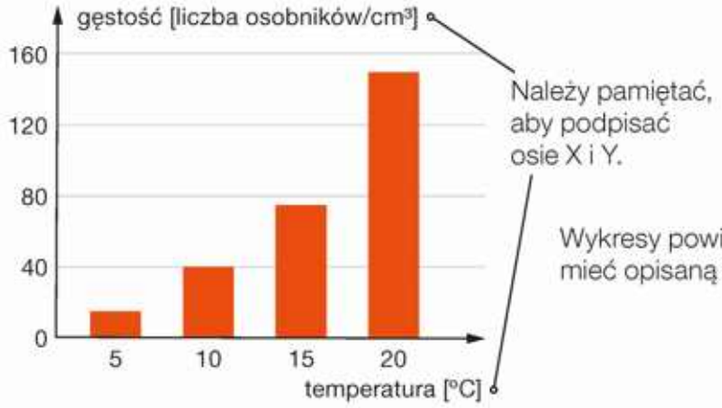
Wykresy te służą do przedstawiania badanej zależności między dwoma czynnikami – zmienną niezależną oraz zmienną zależną. **Zmienna niezależna** to czynnik, którego wartość w doświadczeniu jest zmieniana przez badacza, np. temperatura, wilgotność, natężenie światła. Na wykresie umieszcza się ją na osi X. **Zmienna zależna** to czynnik, którego wartość zmienia się pod wpływem zmiennej niezależnej, np. intensywność fotosyntezy czy liczba kiełkujących siewek. Na wykresie zaznacza się ją na osi Y.

Gęstość osobników w poszczególnych próbach w zależności od temperatury

Nr próby	Temperatura [°C]	Gęstość [liczba osobników/cm^3]
1.	5	15
2.	10	40
3.	15	75
4.	20	150

Na podstawie danych przedstawionych w tabeli powyżej można skonstruować wykres zarówno kolumnowy, jak i liniowy. Oba wykresy mogą mieć taki sam tytuł.

Gęstość osobników w zależności od temperatury



Wykres kolumnowy (słupkowy)
Za pomocą wykresu kolumnowego można porównać bezwzględne wartości pomiarów.



Wykres liniowy
Za pomocą wykresu liniowego można określić tendencję, z jaką wartość zmiennej zależnej zmienia się pod wpływem zmiennej niezależnej.

2. Wykres kołowy i wykres jednosłupkowy

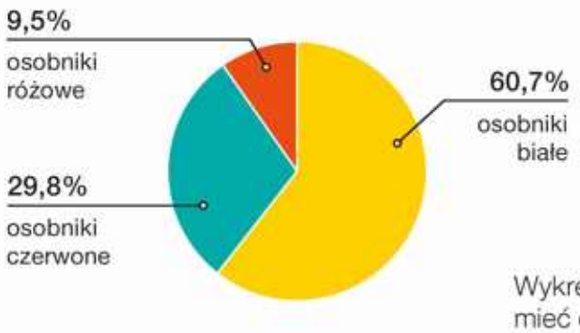
Te rodzaje wykresów służą do przedstawiania procentowego udziału poszczególnych elementów w zbiorze, czyli np. dla danych przedstawionych w tabeli poniżej.

Liczba osobników o różnych kolorach w poszczególnych próbach

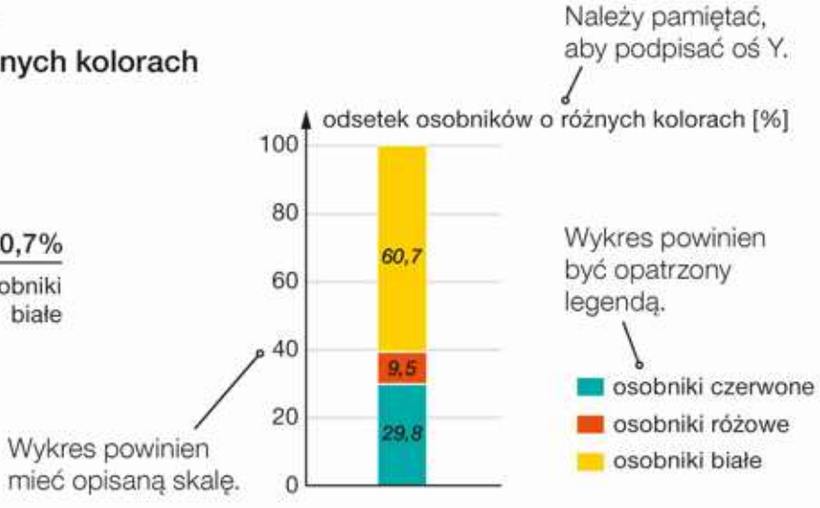
Nr próby	Liczba osobników czerwonych	Liczba osobników różowych	Liczba osobników białych
1.	24	8	85
2.	35	6	53
3.	26	13	35
SUMA	**85**	**27**	**173**
%	29,8	9,5	60,7

Oba rodzaje wykresów (kołowy i jednosłupkowy) przedstawiają te same dane, dlatego mogą mieć taki sam tytuł.

Udział procentowy osobników o różnych kolorach



Wykres kołowy.



Wykres jednosłupkowy.

Współczesne osiągnięcia biologiczne

Biologia jako nauka przeżywa w ostatnich latach prawdziwy rozkwit. Niemal każdego dnia naukowcy dokonują odkryć, które mają znaczny wpływ na jakość naszego życia, m.in. pomagają opracować nowe metody leczenia chorób uznawanych dotychczas za nieuleczalne.



Uzyskanie *in vitro* pierwszej trwałej hodowli ludzkich komórek

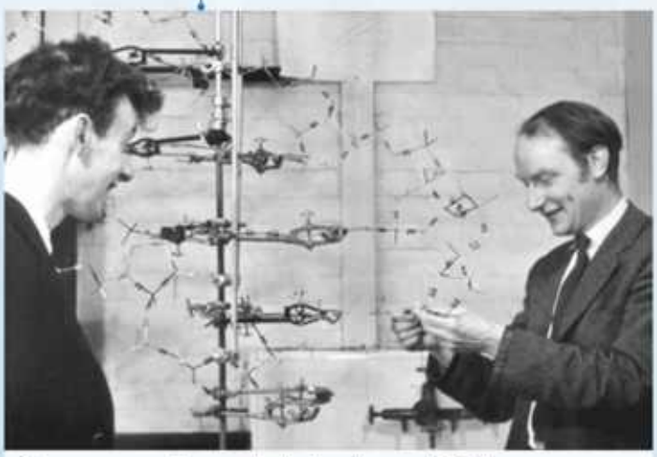
W 1951 r. metodą *in vitro* (poza organizmem) uzyskano pierwszą trwałą hodowlę ludzkich komórek. Stała się ona modelową linią komórkową, którą dotychczas wykorzystano m in. do badań nad szczepionką przeciwko polio i mechanizmem infekcji HIV.



Odkrycie kodu genetycznego

W 1961 r. Marshall Nirenberg [wym. marszl nirenberg] oraz Johann Matthaei [wym. johan matei] odkryli trzy kolejne nukleotydy w DNA kodują konkretny aminokwas w białku. Doświadczenie to stanowiło podstawę do opracowania kodu genetycznego, czyli sposobu zapisu wszystkich aminokwasów budujących białka w DNA.

1951 1953 1963 1977



Opracowanie modelu budowy DNA

W 1953 r. James Watson [wym. dżejms łotson] i Francis Crick [wym. fransis kirk] przedstawili model budowy cząsteczki DNA. Poznanie budowy DNA pozwoliło m.in. zrozumieć mechanizm przekazywania informacji genetycznej.



Opracowanie sposobów sekwencjonowania DNA

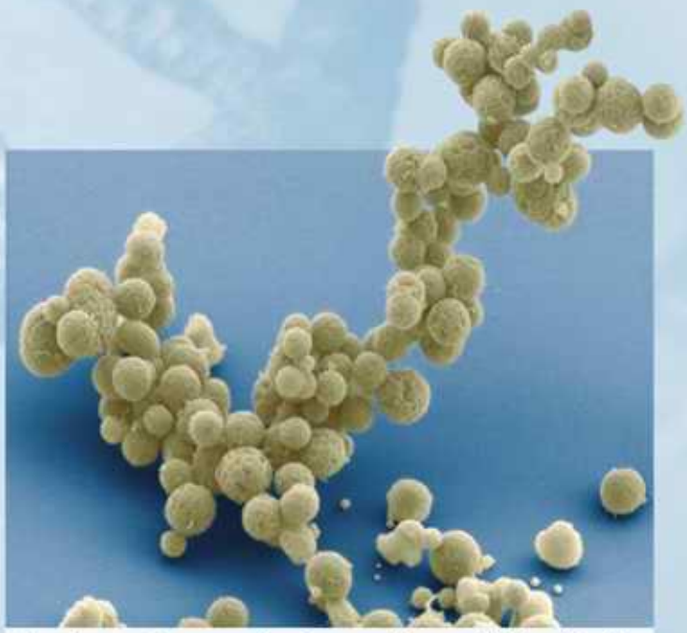
W 1977 r. opracowano dwie metody sekwencjonowania DNA, czyli ustalania, w jakiej kolejności nukleotydy występują w cząsteczce DNA. Dzięki temu można określić sekwencje nukleotydów w poszczególnych genach oraz w całym genomie (materiale genetycznym) organizmu.



1982

Dopuszczenie do stosowania u ludzi insuliny wytworzonej w komórkach bakterii

Od 1982 r. chorzy na cukrzycę mogą stosować insulinę wytworzoną w komórkach bakterii *Escherichia coli*. To pierwszy lek wyprodukowany metodami inżynierii genetycznej.



2010

Synteza pierwszej sztucznej komórki bakterii

W 2010 r. stworzono pierwszą komórkę bakterii z całkowicie sztucznym genomem. Odkrycie to może w przyszłości umożliwić wykorzystanie podobnych „sztucznych komórek" m.in. do wytwarzania nowych szczepionek i leków.



2003

Poznanie sekwencji genomu człowieka

W 2003 r. opublikowano 99% sekwencji nukleotydów występujących w DNA człowieka. Wyniki uzyskane dzięki projektowi wykorzystuje się do analizy sekwencji genów np. w diagnostyce i terapii nowotworów.



2013

Wyhodowanie komórek wątroby

W 2012 r. opracowano pierwszą skuteczną metodę wytwarzania trójwymiarowych fragmentów wątroby. Fragmenty te zachowywały się jak zalążki prawdziwej wątroby, co daje w przyszłości szansę na hodowlę *in vitro* całych narządów.

Samouczek

Jak prawidłowo zaplanować próbę badawczą i próbę kontrolną w doświadczeniu?

Podczas planowania prób badawczej i kontrolnej dla doświadczeń biologicznych należy pamiętać, że:

1. próby kontrolna i badawcza powinny bezpośrednio wynikać z problemu badawczego,
2. próby kontrolna i badawcza powinny różnić się od siebie tylko badanym czynnikiem (jest on zapisany w problemie badawczym),
3. próbę badawczą należy zaprojektować tak, aby jej wyniki pozwoliły udzielić odpowiedzi na pytanie zadane w problemie badawczym,
4. próbę kontrolną należy zaprojektować tak, aby jej wyniki umożliwiły udzielenie odpowiedzi na pytanie, czy zmiany, które zaszły w próbie badawczej, wynikają z wpływu badanego czynnika.

Przykład:

Problem badawczy: Czy obecność grzybów mikoryzowych[1] wpływa na tempo rozwoju siewek sosny?

Aby poprawnie zaplanować próby badawczą i kontrolną, należy najpierw wskazać czynnik, którym obie próby powinny się różnić. W podanym przykładzie są nim grzyby mikoryzowe. Obie próby należy więc zaplanować następująco:

próba kontrolna – siewki sosny niemikoryzowane (bez grzybów mikoryzowych),

próba badawcza – siewki sosny mikoryzowane (z grzybami mikoryzowymi).

Wszystkie pozostałe czynniki w obu próbach powinny być jednakowe.

Dowiedz się więcej

Kontrola negatywna i pozytywna

Dla niektórych badań biologicznych próbę kontrolną można zaplanować w dwojaki sposób – jako próbę kontrolną pozytywną lub próbę kontrolną negatywną. **Próba kontrolna pozytywna** to próba, w której przedmiot badania będzie możliwy do zaobserwowania. Natomiast **próba kontrolna negatywna** to próba, w której nie będzie przedmiotu badania. Zwykle próby te można łatwo zaprojektować dla obserwacji, np. wykrywania obecności jakiegoś związku chemicznego w materiale biologicznym.

Przykład: Wykrywanie skrobi w bulwach ziemniaka

Problem badawczy obserwacji: Czy bulwy ziemniaka zawierają skrobię?

Do każdej próby należy dodać kilka kropli płynu Lugola, który pod wpływem skrobi zabarwi próbkę na ciemnogranatowy kolor. W próbie kontrolnej pozytywnej próbka powinna zawsze się zabarwić, natomiast w próbie kontrolnej negatywnej jej barwa nie powinna ulec zmianie. Dokładny opis tej metody wykrywania skrobi w materiale biologicznym znajduje się na s. 228.



Próba badawcza:
Mieszanina rozdrobnionej bulwy ziemniaka w wodzie destylowanej.



Próba kontrolna pozytywna:
Zawiesina skrobi w wodzie destylowanej.



Próba kontrolna negatywna:
Woda destylowana.

[1] **Mikoryza** – wzajemnie korzystna zależność między grzybem a korzeniami roślin.

Obserwacja

Przykładowa obserwacja

Uczniowie pewnej szkoły wzięli udział w akcji przenoszenia płazów przez ruchliwy odcinek drogi. Przy okazji uczniowie postanowili sprawdzić, ile płazów próbuje przedostać się przez drogę na tym odcinku i do jakich gatunków one należą.

- **Problem badawczy:** Ile płazów próbuje przedostać się przez drogę na określonym odcinku i do jakich gatunków one należą?
- **Postawienie hipotezy:** Z literatury uczniowie dowiedzieli się, że na terenie objętym akcją żyją następujące gatunki płazów:



Żaba trawna
(*Rana temporaria*)



Ropucha szara
(*Bufo bufo*)



Grzebiuszka ziemna
(*Pelobates fuscus*)

- **Hipoteza:** Na badanym odcinku drogi liczba wędrujących płazów jest różna w zależności od gatunku.
- **Weryfikacja hipotezy:** Uczniowie określili obiekt oraz cel badań, miejsce, czas i częstotliwość prowadzenia obserwacji, a także sposób jej prowadzenia i dokumentowania (dane te znajdują się w zamieszczonej poniżej tabeli). Po przeprowadzeniu obserwacji uczniowie zapisali wyniki, a następnie je przeanalizowali. Na podstawie wyników stwierdzili, że migruje najwięcej ropuch szarych, a najmniej grzebiuszek ziemnych. Postawiona hipoteza została potwierdzona.

Prawidłowo zaplanowana obserwacja

Element obserwacji	Obserwacja
Obiekt badań	Przedstawiciele płazów: żaba trawna (*Rana temporaria*), ropucha szara (*Bufo bufo*) i grzebiuszka ziemna (*Pelobates fuscus*).
Cel badań	Określenie gatunków i liczby płazów, które przemieszczają się przez drogę na obserwowanym odcinku.
Miejsce	Ulica Cicha, odcinek o długości 1 km, przecinający rzekę Mokrą i oddzielający łąki (położone po południowej stronie drogi) od małych oczek wodnych (znajdujących się po północnej stronie drogi).
Czas	Termin prowadzenia obserwacji: od 18 marca do 4 kwietnia. Dwa razy w ciągu doby, o godz. 7.00 i 19.00.
Sposób wykonania obserwacji	Od 18 marca do 4 kwietnia zostanie ustawiony płotek z folii, który będzie barierą dla przemieszczających się płazów. Od strony łąki, co 50 m, zostaną wkopane wiadra*, do których będą wpadać płazy wędrujące wzdłuż płotka. Złapane płazy zostaną oznaczone, a następnie przeniesione na drugą stronę drogi i wypuszczone.
Dokumentacja wyników	Zapisywanie danych w formie tabeli, fotografowanie poszczególnych gatunków płazów. Po zakończeniu obserwacji opracowanie wyników – sporządzenie tabeli zbiorczej i wykresów.

* W dnie wiader należy wykonać otwory, tak aby nie zbierała się w nich woda. W każdym z wiader należy umieścić kij, co umożliwi małym ssakom oraz owadom opuszczenie pułapki, oraz gałąź z liśćmi, aby wytworzyć cień.

Doświadczenie

Przykładowe doświadczenie

Uczniowie pewnej szkoły postanowili sprawdzić, czy światło jest niezbędne do prawidłowego wzrostu i rozwoju roślin. W tym celu przeprowadzili doświadczenie opisane poniżej.

- **Problem badawczy:** Wpływ światła na rozwój siewek fasoli.
- **Hipoteza:** Światło jest niezbędne do wzrostu powierzchni blaszki liściowej siewek fasoli.
- **Próba badawcza:** Doniczka z ziemią i czterema nasionami fasoli, ustawiona na parapecie okiennym.
- **Próba kontrolna:** Doniczka z ziemią i czterema nasionami fasoli, ustawiona na parapecie okiennym i przykryta wysokim kartonowym pudełkiem.
- **Przebieg doświadczenia:** Uczniowie do dwóch doniczek wysiali po cztery nasiona fasoli. Obie doniczki umieścili na parapecie okiennym. Jedną z nich przykryli kartonowym pudełkiem. Obie doniczki znajdowały się w miejscu, gdzie panowała taka sama temperatura ok. 20–25°C. Uczniowie pamiętali o jednakowym podlewaniu roślin w doniczkach. Po 14 dniach przeprowadzili obserwację. Zmierzyli długość i szerokość blaszki liściowej każdego liścia, następnie na tej podstawie obliczyli powierzchnię blaszki. Dla każdej rośliny obliczyli też średnią powierzchnię blaszek liściowych jej liści. Następnie obliczyli średnią powierzchnię blaszek liściowych dla wszystkich roślin w próbach. Wyniki zapisali w tabeli.
- **Wynik doświadczenia:**

Wpływ światła na wzrost i rozwój siewek fasoli

Warunki wzrostu roślin	Powierzchnia blaszki liściowej [cm^2]				
	średnia dla rośliny nr 1	średnia dla rośliny nr 2	średnia dla rośliny nr 3	średnia dla rośliny nr 4	średnia próby
Doniczka, która miała dostęp do światła	16,4	17,8	20,1	18,1	**18,1**
Doniczka, która nie miała dostępu do światła	0,1	0,2	0,1	0,3	**0,2**

- **Wniosek:** Światło powoduje większy wzrost powierzchni blaszki liściowej siewek fasoli. Hipoteza została potwierdzona.
- **Wyjaśnienie:** Brak światła hamuje powstawanie zielonego barwnika (chlorofilu), a tym samym uniemożliwia prowadzenie fotosyntezy. Rośliny rozwijające się bez dostępu do światła są pozbawione związków niezbędnych do prawidłowego wzrostu i rozwoju, dlatego ich blaszki liściowe mają mniejszą powierzchnię.

Polecenia kontrolne

1. Ustal etapy badań zgodnych z metodyką naukową, tak aby udzielić odpowiedzi na pytanie: Czy nadziemna część rośliny umieszczonej na parapecie rośnie w kierunku światła?
2. Zaplanuj próby badawczą i kontrolną do doświadczenia, którego problem badawczy brzmi: Czy dodanie do gleby nawozu mineralnego wpływa na tempo rozwoju siewek sosny?

1.2. Obserwacje mikroskopowe

Zwróć uwagę na:
- rodzaje i właściwości mikroskopów,
- różne techniki mikroskopowe,
- sposób przygotowywania preparatu mikroskopowego oraz przeprowadzania obserwacji mikroskopowej.

Obiekty badawcze są bardzo zróżnicowane pod względem wielkości. Część z nich, np. komórki lub organelle komórkowe, jest tak mała, że do ich obserwacji trzeba użyć mikroskopu.

O tym, jakiej wielkości obiekty możemy oglądać przez dany mikroskop, oraz jakiej jakości obraz uzyskamy, decydują dwie cechy mikroskopu: powiększenie oraz zdolność rozdzielcza. **Powiększenie** jest stosunkiem rozmiaru obrazu obiektu do jego rzeczywistej wielkości. Z kolei **zdolność rozdzielcza** to zdolność mikroskopu do uwidaczniania szczegółów. Definiuje się ją jako najmniejszą odległość między dwoma punktami, przy której są one widziane jako oddzielne punkty, a nie jako jeden punkt.

Współcześnie w badaniach biologicznych stosuje się m.in. mikroskopy optyczne i elektronowe.

Mikroskopy optyczne

W mikroskopach optycznych do uzyskania obrazu wykorzystuje się światło. Przechodzi ono przez obserwowany obiekt oraz układ szklanych soczewek, które je załamują. Dzięki temu widziany obraz jest powiększony.

Najlepsze mikroskopy optyczne pozwalają na ok. **1000-krotne** powiększenie obrazu obserwowanych obiektów i mają zdolność rozdzielczą ok. **0,2 µm**. Pozwala to na obserwowanie tak małych obiektów, jak pojedyncza komórka bakterii lub niektóre organelle komórki eukariotycznej.

Dzięki mikroskopom optycznym można obserwować zarówno żywe, jak i martwe komórki. Żywe komórki zachowują naturalne kolory. Pod mikroskopem można obserwować np. ich ruch. Niestety, szczegóły budowy żywych komórek nie są dobrze widoczne z powodu niewielkiego kontrastu. Do obserwacji poszczególnych struktur komórkowych wykorzystuje się więc martwe komórki, które są specjalnie barwione i utrwalone chemicznie.

Szczególnym rodzajem barwników są znaczniki fluorescencyjne. Znaczniki te, oświetlone światłem o określonej długości fali, emitują intensywne światło o fali dłuższej od światła zaabsorbowanego. Tak zabarwione struktury na ciemnym tle ukazują się w jasnych świecących kolorach. Do obserwacji tych struktur wykorzystuje się specjalny rodzaj mikroskopu optycznego – mikroskop fluorescencyjny.

Samouczek

Przeliczanie jednostek długości

Jeśli mikroskop optyczny powiększa obraz 1000-krotnie oznacza to, że obiekt, który na obrazie uzyskanym pod mikroskopem ma wielkość 1 cm, w rzeczywistości mierzy 1000-razy mniej, czyli 0,001 cm, co odpowiada 0,01 mm lub 10 µm.

Przeliczanie jednostek długości:

1 m = 100 cm = 1000 mm
1 mm = 1000 µm = 10^{-3} m
1 µm = 1000 nm = 10^{-6} m
1 nm = 1000 µm = 10^{-9} m

Budowa i zasada działania mikroskopu optycznego

Budowa mikroskopu optycznego

Mikroskop optyczny, zwany również świetlnym, jest wyposażony w elementy układów optycznego i mechanicznego. Układ optyczny służy do oświetlenia preparatu i wytworzenia jego obrazu. Układ mechaniczny umożliwia m.in. przesuwanie części optycznych względem preparatu.

Elementy układu mechanicznego mikroskopu:

Tubus utrzymuje we właściwym położeniu soczewki mikroskopu.

Rewolwer umożliwia zmianę obiektywu, a tym samym wielkości powiększenia.

Stolik jest miejscem, na którym umieszcza się preparat.

Śruba makrometryczna podnosi lub opuszcza stolik względem obiektywu. Służy do odnalezienia obrazu pod najmniejszym powiększeniem.

Śruba mikrometryczna podnosi lub opuszcza stolik względem obiektywu. Służy do ustawienia ostrości obrazu.



Elementy układu optycznego mikroskopu:

Okular zawiera soczewkę, dzięki której uzyskuje się powiększenie obrazu, oraz umożliwia obserwację.

Obiektyw zawiera soczewkę, dzięki której uzyskuje się powiększenie obrazu.

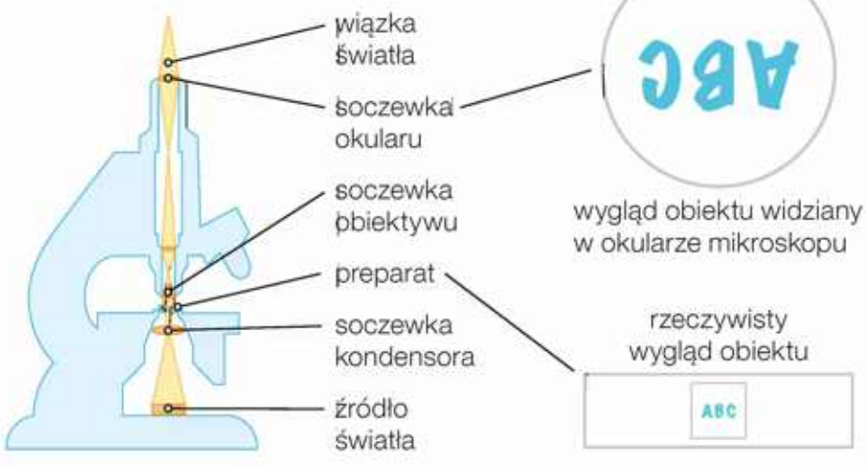
Kondensor skupia wiązkę światła.

Źródło światła zapewnia oświetlenie preparatu.



Zasada działania mikroskopu optycznego

Aby uzyskać obraz w mikroskopie optycznym, wiązkę światła kieruje się na preparat za pomocą soczewek kondensora. Po przejściu światła przez preparat jego obraz zostaje powiększony przez soczewki obiektywu i okularu, a następnie zogniskowany w oku obserwatora.



Jakie cechy ma obraz spod mikroskopu optycznego?

Obraz spod mikroskopu optycznego jest pozorny, powiększony i odwrócony. Właściwość tę można zaobserwować, kiedy napiszemy markerem na szkiełku podstawowym np. litery „ABC". Litery widziane w okularze mikroskopu będą większe i odwrócone.

Samouczek

Obliczanie powiększenia obrazu uzyskanego w mikroskopie optycznym

Aby określić, ilokrotnie obraz widziany pod mikroskopem optycznym jest powiększony w porównaniu do rzeczywistej wielkości obserwowanego obiektu, wystarczy pomnożyć powiększenie obiektywu przez powiększenie okularu.

Przykład:
Powiększenie okularu: 10 x
Powiększenie obiektywu: 40 x
10 x 40 = 400
Obserwowany obraz jest powiększony 400 razy.

powiększenie obserwowanego obiektu = powiększenie okularu × powiększenie obiektywu

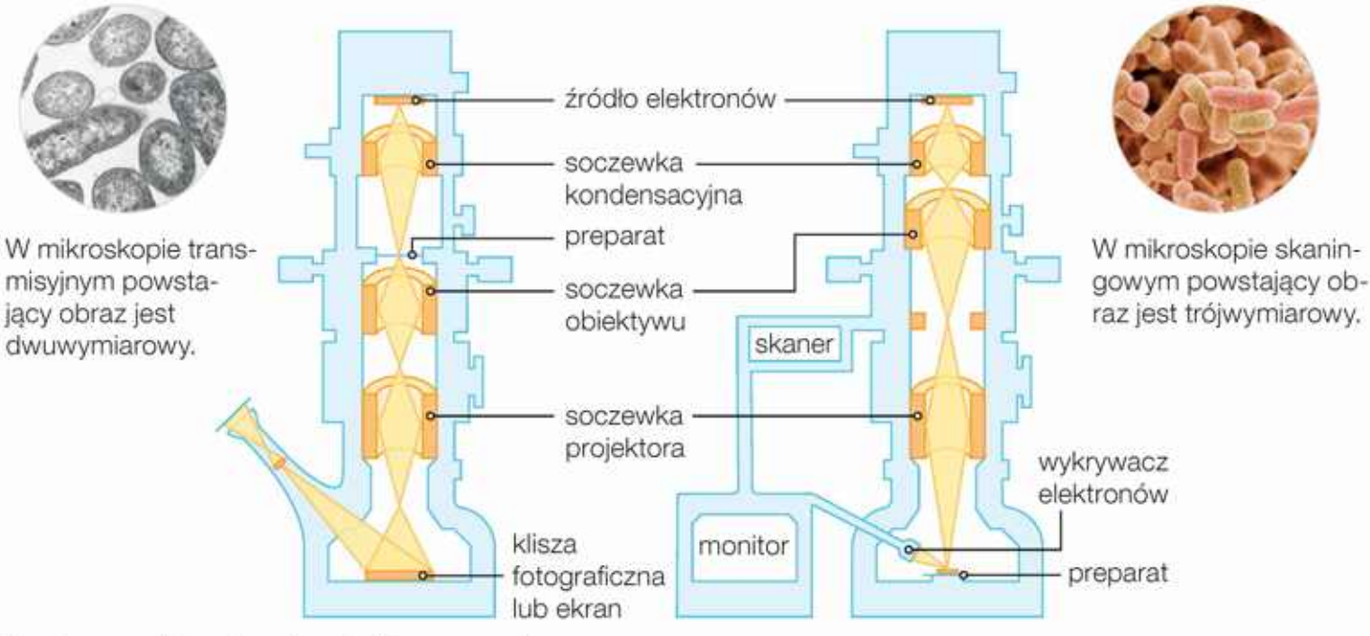
Mikroskopy elektronowe

W mikroskopach elektronowych obraz uzyskuje się przez nakierowanie wiązki elektronów na preparat. Do przyspieszenia i uformowania elektronów w wiązkę używa się soczewek elektromagnetycznych. Obraz utrwala się na kliszy fotograficznej lub zostaje przekazany do kamery, a zatem obserwacji dokonuje się w sposób pośredni. Mikroskopia elektronowa umożliwia obserwację bardzo małych obiektów, np. wirusów, bakterii czy organelli komórkowych. Sposób przygotowywania preparatów powoduje jednak, że oglądane obiekty są martwe.

Mikroskopy elektronowe dzielą się na transmisyjne i skaningowe.

Transmisyjny mikroskop elektronowy (ang. Transmission Electron Microscope – TEM) umożliwia powiększenie obrazu do **1 000 000 razy**, a jego zdolność rozdzielcza wynosi ok. **0,2 nm**. W mikroskopie tym elektrony przenikają przez bardzo cienki preparat, a uzyskany obraz jest dwuwymiarowy. Materiał barwi się związkami metali ciężkich (np. uranu, ołowiu), co pozwala na zwiększenie kontrastu struktur komórki różniących się powinowactwem do jonów tych metali.

W skaningowym mikroskopie elektronowym (ang. Scanning Electron Microscope – SEM) elektrony bombardują powierzchnię preparatu. Aby uzyskać obraz, preparat pokrywa się cienką warstwą metalu (np. złota). Wiązka elektronów uderza w powierzchnię preparatu, co powoduje wybicie elektronów z jonów metalu. Zliczenie rozproszonych lub odbitych elektronów pozwala na otrzymanie obrazu trójwymiarowego. Mikroskopy skaningowe umożliwiają powiększenie obrazu do ok. **100 000 razy**, a ich zdolność rozdzielcza wynosi ok. **5 nm**.

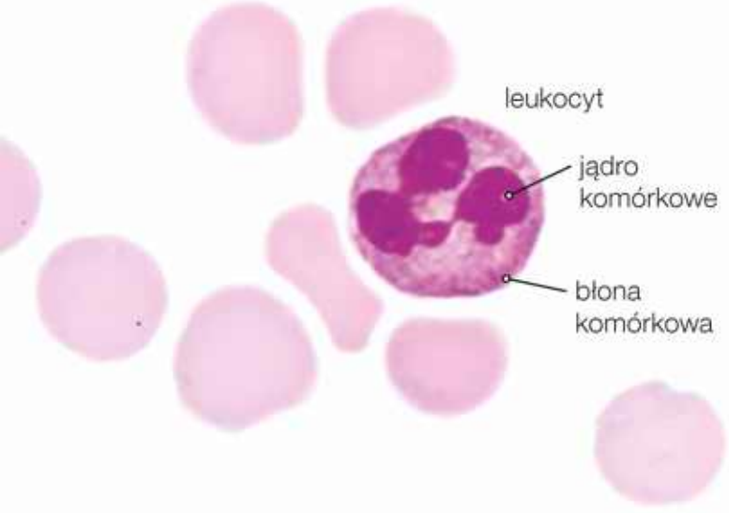


Budowa mikroskopów elektronowych.

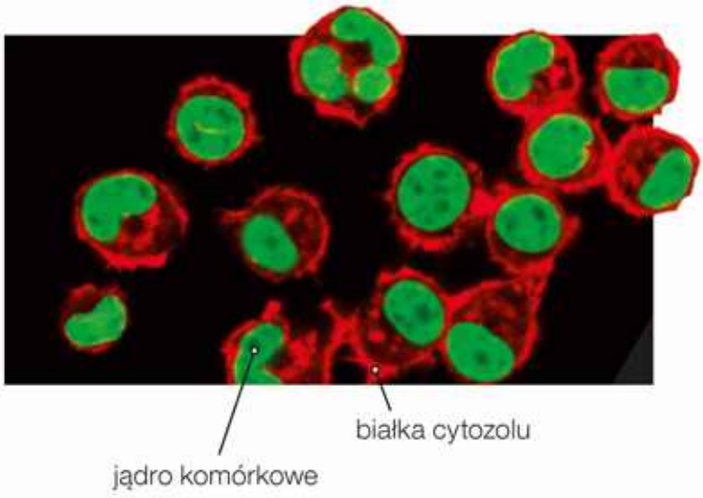
Obserwacja komórek z wykorzystaniem różnych technik mikroskopowych

Dzięki mikroskopom możemy obserwować świat niedostępny dla ludzkiego oka, np. leukocyty – komórki krwi, które biorą udział w reakcji odpornościowej organizmu. W zależności od tego, jaką technikę mikroskopową zastosujemy, uzyskamy inne informacje na temat tych komórek. Informacje te są szczególnie ważne w diagnostyce wielu chorób, w tym chorób nowotworowych krwi.

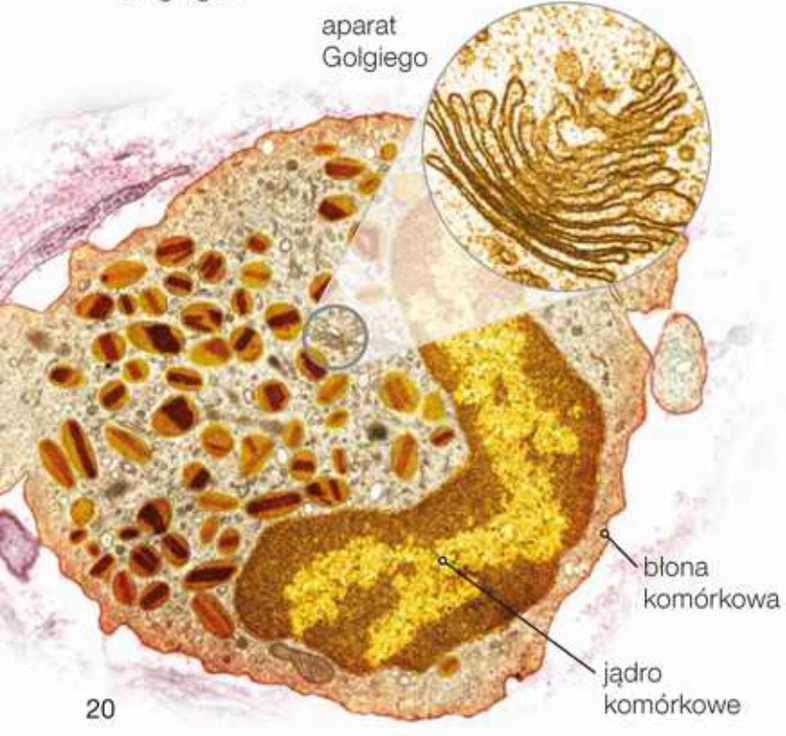
Mikroskopia optyczna umożliwia obserwację kształtów komórek i niektórych ich organelli, np. jądra komórkowego.



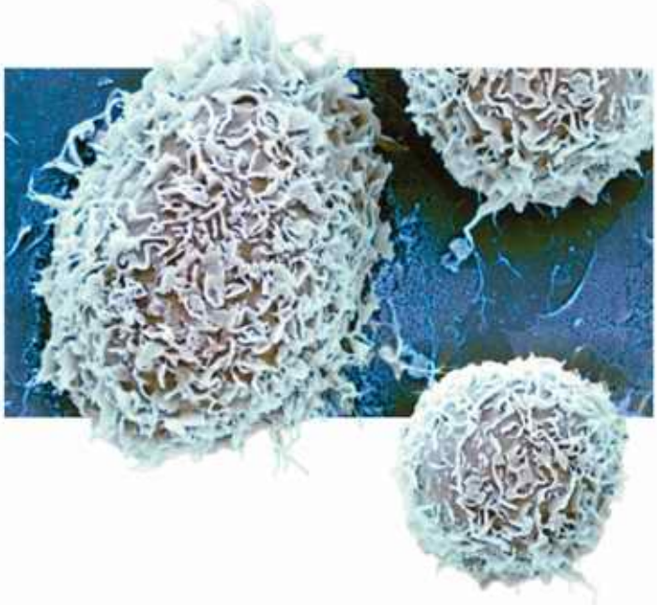
Mikroskopia optyczna fluorescencyjna, dzięki zastosowaniu różnobarwnych znaczników, umożliwia lokalizację wybranych struktur w komórce, np. białek cytozolu, które trudno zobaczyć przy użyciu zwykłej mikroskopii optycznej.



Transmisyjna mikroskopia elektronowa umożliwia najbardziej szczegółową obserwację wnętrza komórki oraz jej organelli, np. aparatów Golgiego.



Skaningowa mikroskopia elektronowa pozwala na uzyskanie trójwymiarowego obrazu powierzchni komórki.



Samouczek

Wykonanie świeżego preparatu mikroskopowego z bulwy ziemniaka i obserwacja ziaren skrobi

Materiały i aparatura: bulwa ziemniaka, woda, roztwór laboratoryjnego alkoholu etylowego, jodyna, pęseta, zakraplacz, skalpel, bibuła laboratoryjna, szkiełko podstawowe, szkiełko nakrywkowe, mikroskop świetlny.

1 Sposób przygotowania preparatu:

1. Nasącz bibułę roztworem alkoholu etylowego i wyczyść nią szkiełko podstawowe. W ten sposób usuniesz tłuszcz z powierzchni szkiełka.
2. Na czyste i suche szkiełko podstawowe nanieś zakraplaczem kroplę wody.
3. Za pomocą skalpela wytnij niewielki, bardzo cienki skrawek wnętrza bulwy ziemniaka.
4. Za pomocą pęsety umieść skrawek w kropli wody.
5. Nasącz kawałek bibuły roztworem alkoholu etylowego i wyczyść nim szkiełko nakrywkowe.
6. Przykryj kroplę wody szkiełkiem nakrywkowym. Zacznij od oparcia jednego brzegu szkiełka nakrywkowego o szkiełko podstawowe, a następnie powoli kładź szkiełko nakrywkowe na kropli wody. W ten sposób unikniesz pojawienia się pod szkiełkiem pęcherzyków powietrza.
7. Za pomocą zakraplacza umieść kroplę jodyny na szkiełku podstawowym tak, aby kropla stykała się z jednym z brzegów szkiełka nakrywkowego. Przyłóż kawałek suchej bibuły do przeciwległego brzegu szkiełka nakrywkowego, tak aby kropla jodyny przedostała się pod szkiełko nakrywkowe.

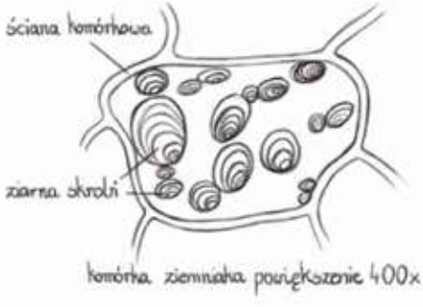
2 Zasady przeprowadzania obserwacji mikroskopowej:

1. Czystą szmatką, np. flanelową, wyczyść części optyczne mikroskopu.
2. Nad stolikiem ustaw obiektyw o najmniejszym powiększeniu.
3. Włącz źródło światła lub – jeśli mikroskop jest wyposażony w lusterko – ustaw lusterko tak, aby otwór w stoliku był dobrze oświetlony.
4. Umieść preparat na stoliku.
5. Za pomocą śruby makrometrycznej zbliż obiektyw do preparatu na odległość kilku milimetrów. Ważne, aby obiektyw nie dotykał preparatu.
6. Patrząc przez okular, ustaw za pomocą śruby mikrometrycznej ostrość obrazu.
7. Aby obejrzeć preparat pod większym powiększeniem, zmień obiektyw, a następnie ustaw ostrość obrazu. Wykorzystaj do tej czynności jedynie śrubę mikrometryczną.
8. Udokumentuj obserwację – wykonaj rysunek lub zrób zdjęcie.
9. Po zakończeniu obserwacji ustaw ponownie nad stolikiem obiektyw o najmniejszym powiększeniu, wyłącz źródło światła i usuń preparat ze stolika.

Dokumentacja obserwacji mikroskopowej

Jak wykonać rysunek obrazu spod mikroskopu?

Rysunek wykonuj ołówkiem. Nie musisz rysować wszystkiego, co widzisz – narysuj jedną lub kilka wybranych struktur. Opatrz rysunek tytułem wyjaśniającym, co stanowiło obiekt obserwacji. Dołącz informację o zastosowanym powiększeniu.



Jak zrobić zdjęcie obrazu spod mikroskopu?

Niektóre mikroskopy są wyposażone w specjalny aparat fotograficzny. Jednak do tego celu możesz również wykorzystać dowolny aparat, np. ten ze smartfona. Przybliż obiektyw aparatu do okularu, a następnie zrób zdjęcie.



Biologia w **medycynie**

Histopatologia, czyli mikroskopy w medycynie

Histopatologia to badanie mikroskopowe tkanki pobranej od pacjenta, np. fragmentu usuniętego chirurgicznie nowotworu. Dzięki badaniu histopatologicznemu można dokładnie ocenić zmiany, jakie zaszły w tkance pod wpływem choroby, a następnie postawić właściwą diagnozę oraz ustalić dalsze etapy terapii. Badania histopatologiczne są często wspomagane technikami biologii molekularnej. Należy do nich hybrydyzacja z sondami fluorescencyjnymi, która polega na użyciu specjalnie oznakowanych fluorescencyjnie cząsteczek DNA, łączących się specyficznie z określonymi sekwencjami DNA, np. z sekwencją obecną jedynie w uszkodzonym nowotworowo DNA. Do obserwacji znakowanych fluorescencyjnie sond wykorzystuje się mikroskopy fluorescencyjne.

Etapy badania histopatologicznego

1. Utrwalony i odwodniony fragment tkanki zatapia się w ciekłej parafinie. Po zastygnięciu parafiny powstaje bloczek, który w środku zawiera badany materiał.



2. Bloczek parafinowy kroi się na cienkie plastry za pomocą specjalnego urządzenia – mikrotomu. Plastry parafiny wraz z badaną tkanką umieszcza się na szkiełkach podstawowych.



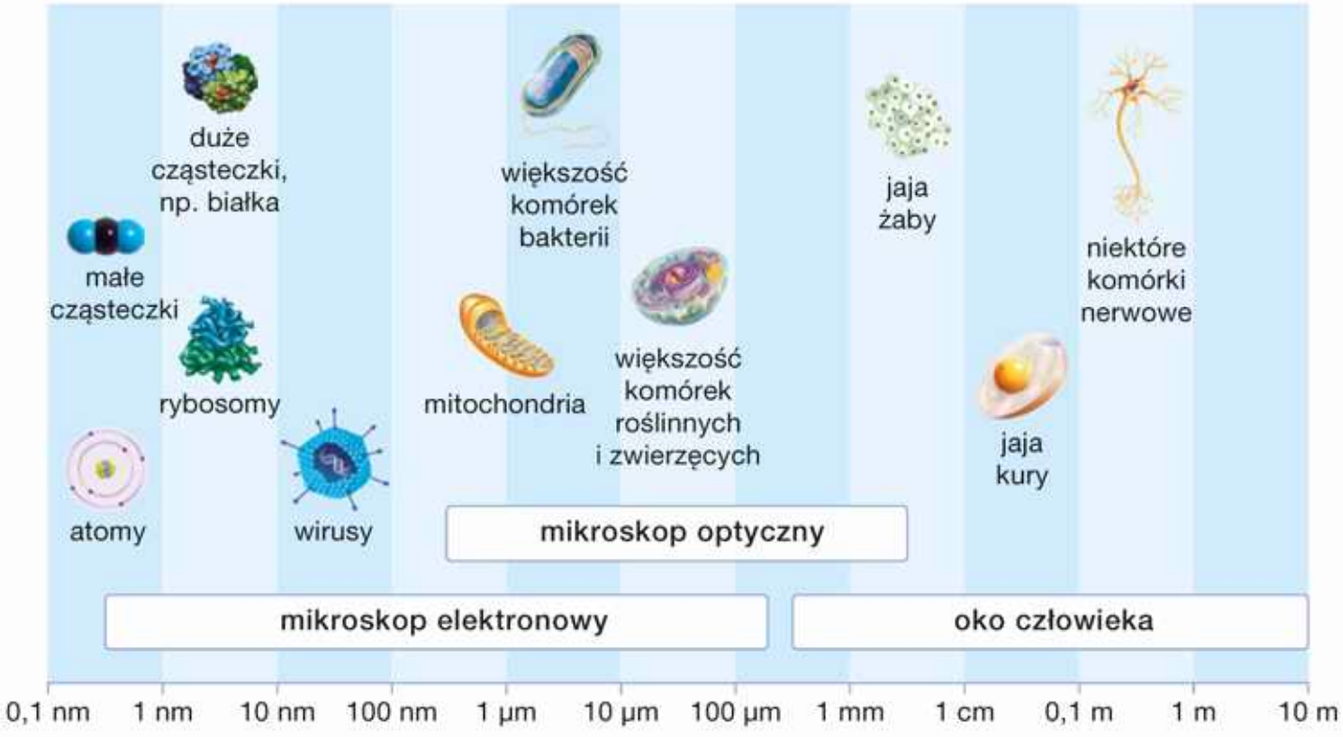
3. Materiał na szkiełkach podstawowych barwi się w celu uwidocznienia wybranych struktur komórkowych.



4. Wybarwiony materiał obserwuje się pod mikroskopem, a następnie analizuje.



Możliwości obserwacji obiektów o różnych wymiarach



Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij, czym jest zdolność rozdzielcza mikroskopu.
2. Porównaj mikroskop optyczny z mikroskopami elektronowymi. Przerysuj tabelę do zeszytu, a następnie ją uzupełnij.

Cechy	Mikroskop optyczny	Transmisyjny mikroskop elektronowy	Skaningowy mikroskop elektronowy
Maksymalne powiększenie obrazu	?	?	?
Zdolność rozdzielcza mikroskopu	?	?	?
Rodzaj obserwowanych komórek (żywe/martwe)	?	?	?
Sposób obserwacji (bezpośredni/pośredni)	?	?	?
Rodzaj soczewek	?	?	?

3. Określ, którego mikroskopu (świetlnego, fluorescencyjnego, TEM czy SEM) użyjesz, aby uzyskać poniższe informacje. Uzasadnij swój wybór.
   a) Określenie liczby cząsteczek DNA w komórce bakterii.
   b) Uzyskanie trójwymiarowego obrazu powierzchni pyłku mniszka lekarskiego.
   c) Określenie liczby krwinek czerwonych w próbce krwi pacjenta.
   d) Ustalenie lokalizacji białek cytoszkieletu w komórce nabłonka.
   e) Zaobserwowanie układu tylakoidów w chloroplaście.

Podsumowanie

1 Metody poznawania świata

Obserwacja – metoda prowadzenia badań, w której badacz nie wpływa na obserwowany organizm czy proces, a jedynie określa stan faktyczny. Obserwacja może stanowić niezależną metodę badawczą lub być elementem doświadczenia.

Doświadczenie – metoda prowadzenia badań, w której badacz celowo w kontrolowanych warunkach zmienia jeden z czynników wpływających na przedmiot doświadczenia.

2 Rodzaje prób

Rodzaje prób w doświadczeniu biologicznym	
Próba badawcza	**Próba kontrolna**
Próba, w której przedmiot badań jest poddany działaniu czynnika wymienionego w problemie badawczym.	Próba, w której przedmiot badań nie jest poddany działaniu czynnika wymienionego w problemie badawczym. Służy do określenia, czy badany w doświadczeniu czynnik wpływa na wyniki uzyskane w próbie badawczej.

3 Etapy badań biologicznych

Etap badania	Czynności wykonywane na danym etapie
Obserwacja	Zaobserwowanie przez badacza nieznanego organizmu czy niewytłumaczonego procesu.
Sformułowanie problemu badawczego	Określenie celu badania. Problem badawczy przyjmuje postać zdania pytającego, na które badacz chce znaleźć odpowiedź, lub równoważnika zdania.
Postawienie hipotezy	Udzielenie przewidywanej, niekoniecznie prawdziwej odpowiedzi na pytanie sformułowane w problemie badawczym. Hipoteza ma formę zdania oznajmującego twierdzącego lub przeczącego.
Weryfikacja hipotezy	Sprawdzenie prawdziwości hipotezy za pomocą obserwacji lub doświadczenia. Etap ten obejmuje: • określenie sposobu, w jaki badacz będzie sprawdzał hipotezę, • przeprowadzenie badań, • zebranie wyników i ich opis, • analizę wyników.
Sformułowanie wniosku	Określenie, czy hipoteza została potwierdzona, czy odrzucona.

4 Cechy mikroskopów

Powiększenie – stosunek rozmiaru obrazu obiektu do jego rzeczywistej wielkości.

Zdolność rozdzielcza – zdolność mikroskopu do uwidaczniania szczegółów. Jest to najmniejsza odległość między dwoma punktami, przy której są one widoczne jako oddzielne punkty.

5 Porównanie rodzajów mikroskopów

Cecha	Mikroskop optyczny	Skaningowy mikroskop elektronowy	Transmisyjny mikroskop elektronowy
Maksymalne powiększenie obrazu	ok. 1000 razy	ok. 100 000 razy	ok. 1 000 000 razy
Zdolność rozdzielcza	0,2 μm	5 nm	0,2 nm
Możliwość obserwacji żywych obiektów	tak	nie	nie
Rodzaje preparatów	preparaty trwałe i nietrwałe (świeże)	preparaty pokryte cienką warstwą metalu, np. złota	preparaty utrwalone za pomocą odpowiednich środków chemicznych
Obraz	dwuwymiarowy	trójwymiarowy	dwuwymiarowy
Soczewki	szklane	elektromagnetyczne	elektromagnetyczne

6 Podstawowe jednostki stosowane w mikroskopii

- **mikrometr (μm)**
  $1\ \mu m = 10^{-6}\ m$
- **nanometr (nm)**
  $1\ nm = 10^{-9}\ m$

7 Etapy przygotowywania świeżego preparatu mikroskopowego

1. Wyczyść szkiełko podstawowe.
2. Na szkiełko podstawowe nanieś kroplę wody.
3. Umieść obiekt obserwacji w kropli wody.
5. Wyczyść szkiełko nakrywkowe.
6. Przykryj kroplę wody szkiełkiem nakrywkowym.

8 Etapy przeprowadzania obserwacji mikroskopowej

1. Wyczyść części optyczne mikroskopu.
2. Ustaw obiektyw o najmniejszym powiększeniu.
3. Włącz źródło światła.
4. Umieść preparat na stoliku.
5. Za pomocą śruby makrometrycznej zbliż obiektyw do preparatu.
6. Za pomocą śruby mikrometrycznej ustaw ostrość obrazu.
7. Aby obejrzeć preparat pod większym powiększeniem, zmień obiektyw, a następnie ustaw ostrość obrazu za pomocą śruby mikrometrycznej.
8. Udokumentuj obserwację – wykonaj rysunek lub zrób zdjęcie.
9. Po zakończeniu obserwacji ustaw ponownie nad stolikiem obiektyw o najmniejszym powiększeniu, wyłącz źródło światła i usuń preparat ze stolika.

Sposób na zadania

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Uczniowie mieli zaprojektować i przeprowadzić doświadczenie, które pozwoli im sprawdzić, czy podlewanie nasion pieprzycy siewnej wodą z wyciągiem z czosnku wpływa na kiełkowanie i rozwój siewek. W tym celu przygotowali dwie próby – badawczą i kontrolną. Próbę badawczą stanowiła szalka z watą, na którą uczniowie wysiali nasiona pieprzycy siewnej. Szalkę tę ustawili na parapecie pracowni biologicznej i podlewali ją przez kilka dni wodą zmieszaną z wyciągiem z czosnku. Przygotowali także próbę kontrolną. Następnie przez kilka dni sprawdzali, kiedy nasiona w obu szalkach wykiełkowały i w jakim tempie następuje rozwój siewek.

a) Sformułuj hipotezę do opisanego doświadczenia.

b) Opisz, jak powinna wyglądać próba kontrolna w opisanym doświadczeniu.

c) Podaj dwa parametry, które mogą stanowić zmienne zależne w tym doświadczeniu.

Wskazówki

Podpunkt a)

1. Przypomnij sobie, jakie są etapy doświadczenia biologicznego. Informacje na ten temat znajdziesz na s. 7 podręcznika.
2. Zastanów się, jakich informacji potrzebujesz do tego, aby prawidłowo sformułować hipotezę. Odszukaj w tekście zadania cel badania.
3. Przypomnij sobie, w jaki sposób formułuje się hipotezę w doświadczeniu biologicznym. Informacje na ten temat możesz odnaleźć na s. 7 podręcznika.

Podpunkt b)

1. Przypomnij sobie, czym powinny różnić się od siebie próby badawcza i kontrolna. Informacje te możesz odnaleźć w podręczniku na s. 6 oraz na s. 14 we fragmencie **Jak prawidłowo zaplanować próbę badawczą i próbę kontrolną?**.
2. Odszukaj w tekście informacje o tym, w jaki sposób uczniowie przygotowali próbę badawczą i wskaż czynnik, którym powinna się od niej różnić próba kontrolna.
3. Przy ustalaniu próby kontrolnej pamiętaj, aby różniła się od próby badawczej tylko jednym czynnikiem.

Podpunkt c)

1. Przypomnij sobie, czym jest zmienna zależna. Informacje na ten temat znajdziesz na s. 10 podręcznika we fragmencie **Jak wykonać dokumentację badań biologicznych?**.
2. Odszukaj w treści zadania informacje na temat parametrów, na które uczniowie będą zwracać uwagę podczas porównywania obu prób.
3. Pamiętaj, że zmienna zależna powinna być parametrem mierzalnym. Podczas formułowania odpowiedzi zastanów się, czy podane przez Ciebie parametry będzie można zmierzyć, a wyniki przedstawić na wykresie.

Zadania powtórzeniowe

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Wieloletnie obserwacje prowadzone w Popradzkim Parku Krajobrazowym pozwoliły stwierdzić, jakie gatunki ryb z rodziny karpiowatych występują w płynących przez jego teren dużych rzekach – Popradzie i Dunajcu – oraz w mniejszych od nich ciekach – ich dopływach i małych górskich potokach. Gatunki te zostały wymienione w poniższej tabeli. Liczba plusów obrazuje częstość występowania poszczególnych gatunków w wodach Popradzkiego Parku Krajobrazowego: +++ – gatunek liczny, ++ – gatunek średnio liczny, + – gatunek rzadki.

Częstość występowania wybranych ryb z rodziny karpiowatych w Popradzkim Parku Krajobrazowym

Rodzaj cieku / Gatunek	Poprad	Dunajec	Większe dopływy Popradu i Dunajca	Małe górskie potoki
strzebla potokowa	+	+	+++	+
kleń	+++	+++	+	
jelec	++	+	+	
brzanka	++	++	+++	+
brzana	+++	++		
świnka	++	+		
ukleja	+++	+	+	

Na podstawie: J. Staszkiewicz (red.), *Przyroda Popradzkiego Parku Krajobrazowego*, Stary Sącz 2000, s. 253.

a) Na podstawie przedstawionych wyników obserwacji sformułuj wniosek dotyczący wpływu wielkości cieku na liczbę występujących w nim gatunków ryb.

b) Określ, które stwierdzenia dotyczące wyników przedstawionych obserwacji są prawdziwe. Zaznacz P, jeśli stwierdzenie jest prawdziwe, albo F – jeśli jest fałszywe.

1.	W Popradzkim Parku Krajobrazowym najpowszechniej występującą rybą z rodziny karpiowatych jest ukleja.	P	F
2.	Lepsze warunki do rozwoju strzebli potokowej występują w mniejszych rzekach niż w Dunajcu.	P	F
3.	W Popradzkim Parku Krajobrazowym brzanka najliczniej występuje w małych górskich potokach.	P	F

2 Niektóre gatunki bakterii naturalnie występujących w jelicie człowieka potrafią syntezować niezbędne dla naszego organizmu witaminy. Zbadano syntezę witamin przez dwa gatunki bakterii – *Escherichia coli* i *Alcaligenes faecalis*. Bakterie były hodowane przez 48 godzin w temperaturze 36°C. Wyniki zestawiono w poniższej tabeli.

Gatunek	Ilość syntezowanych witamin w mg na 1 g suchej masy			
	biotyna	ryboflawina	tiamina	kwas nikotynowy
Escherichia coli	2,3	106	115	62
Alcaligenes faecalis	0,5	78	132	77

Na podstawie: W.J.H. Kunicki-Goldfinger, *Życie bakterii*, Warszawa 2008, s. 471.

Na podstawie danych z tabeli narysuj wykres słupkowy porównujący ilości kwasu nikotynowego syntetyzowanego przez *E. coli* i *A. faecalis*.

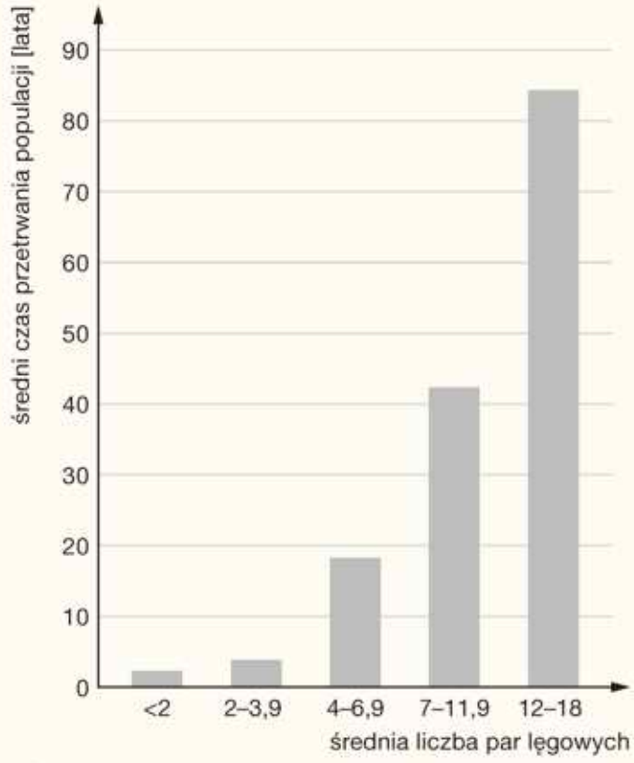
3 W nasionach łubinu po wykiełkowaniu są widoczne dwa liścienie. Przygotowano 20 wykiełkowanych nasion łubinu i podzielono je na dwie próby po 10 nasion:
I próba: nasiona pozostawione bez zmian,
II próba: nasiona, z których usunięto liścienie.
Obie próby pozostawiono na tydzień w naczyniach z wodą, w pomieszczeniu, gdzie panuje stała temperatura 25°C i jednakowe warunki świetlne. Po upływie wyznaczonego czasu zmierzono długość wszystkich siewek i dla każdej z prób obliczono średnią.

a) Spośród podanych propozycji wybierz dwa prawidłowo sformułowane problemy badawcze i dwie prawidłowo sformułowane hipotezy. Wpisz odpowiednie numery w wyznaczone miejsca.

1. Liścienie są niezbędne do rozwoju siewek łubinu.
2. Czy liścienie mają znaczenie dla rozwoju siewek łubinu?
3. Liścienie nie mają wpływu na rozwój siewek łubinu.
4. Badania nad rolą liścieni łubinu.
5. Wpływ liścieni na rozwój siewek łubinu.

b) Wskaż zmienną zależną w opisanym doświadczeniu.

4 Na wysepkach u wybrzeży Wielkiej Brytanii przez kilkadziesiąt lat prowadzono obserwacje ptaków lęgowych. Wyniki tych obserwacji przedstawia poniższy wykres.



Na podstawie: J. Weiner, *Życie i ewolucja biosfery*, Warszawa 2012, s. 482–483.

a) Na podstawie wykresu sformułuj problem badawczy do obserwacji.

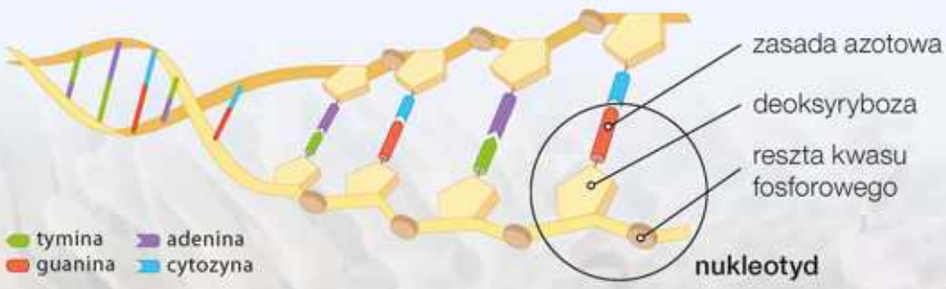
b) Oceń, czy na podstawie przedstawionych wyników obserwacji można sformułować wnioski podane w tabeli. Zaznacz T (tak), jeśli wniosek wynika z obserwacji, albo N (nie) – jeśli z nich nie wynika.

1.	Wraz ze wzrostem liczebności populacji rośnie średni czas jej przetrwania.	T	N
2.	Różnica w tempie wymierania między populacjami z jedną parą lęgową i trzema parami lęgowymi jest mniejsza niż różnica w tempie wymierania między populacjami z sześcioma i siedmioma parami lęgowymi.	T	N
3.	Populacja, w której jest sześć par lęgowych, ma dwukrotnie większe tempo wymierania niż populacja, w której jest dwanaście par lęgowych.	T	N

2. Chemiczne podstawy życia

To było w szkole podstawowej!

- ☑ **Woda** – transportuje substancje, wraz z nią są usuwane szkodliwe i niepotrzebne związki, utrzymuje prawidłową temperaturę ciała.
- ☑ **Sole mineralne** – pełnią funkcję budulcową i są źródłem pierwiastków, które regulują pracę organizmu.
- ☑ **Cukry** – dostarczają energii, są materiałem zapasowym i budulcowym organizmów.
- ☑ **Białka** – budują organizmy, są materiałem zapasowym, regulują pracę organizmu.
- ☑ **Tłuszcze** – są materiałem zapasowym, stanowią warstwę ochronną, dostarczają energii.
- ☑ **Kwasy nukleinowe** – DNA jest nośnikiem informacji genetycznej, RNA bierze udział w syntezie białek.



Budowa DNA.

2.1. Skład chemiczny organizmów

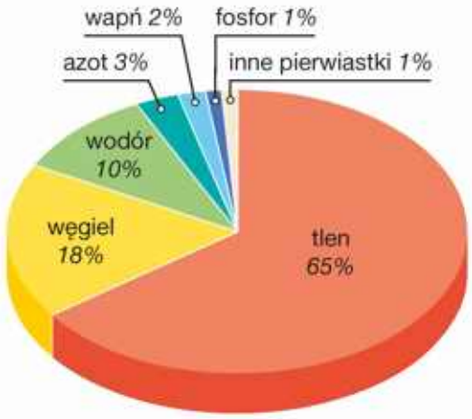
Zwróć uwagę na:
- rolę makro- i mikroelementów w funkcjonowaniu organizmów,
- związek między właściwościami fizykochemicznymi wody a jej znaczeniem dla organizmów.

Organizmy są zbudowane z pierwiastków chemicznych, których atomy tworzą jony lub cząsteczki związków chemicznych – nieorganicznych i organicznych. Do głównych związków nieorganicznych należą woda i sole mineralne. Z kolei związki organiczne są związkami węgla, które w warunkach naturalnych powstają wyłącznie w organizmach.

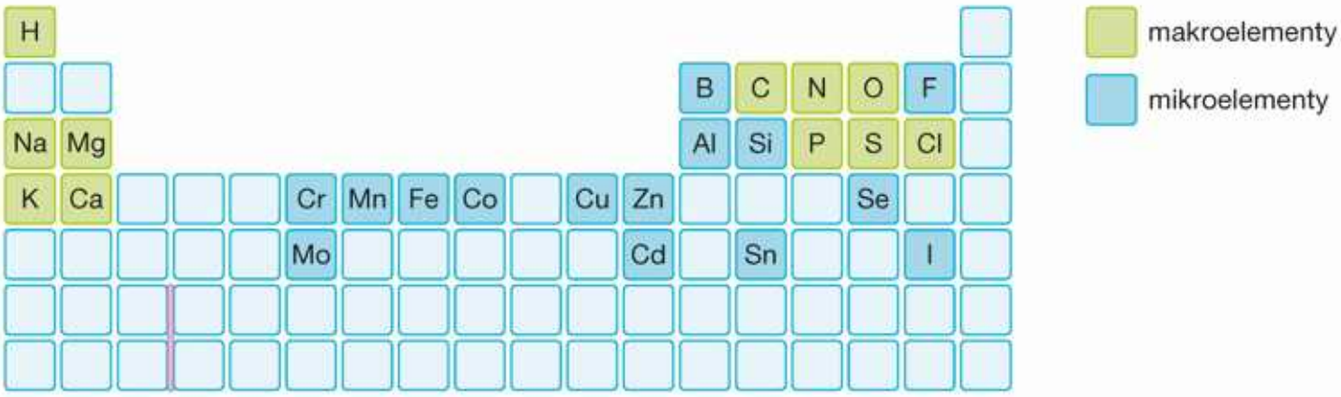
Pierwiastki chemiczne

W skład organizmów wchodzi ponad 20 pierwiastków chemicznych. Wyróżniamy wśród nich **mikroelementy**, których zawartość w suchej masie[1] komórek wynosi poniżej 0,01%, i **makroelementy**, których zawartość w suchej masie komórek wynosi 0,01% lub więcej. Sześć spośród makroelementów: węgiel (C), wodór (H), tlen (O), azot (N), siarkę (S) i fosfor (P), nazywamy **pierwiastkami biogennymi**, ponieważ są one głównymi składnikami związków organicznych budujących wszystkie organizmy.

Pierwiastkiem biogennym o kluczowym znaczeniu dla istnienia życia na Ziemi jest **węgiel**. Jego atomy mogą tworzyć między sobą stabilne wiązania, dzięki czemu powstają **szkielety węglowe**, czyli podstawowe elementy strukturalne związków organicznych. Atomy węgla mogą również tworzyć stabilne wiązania z atomami pozostałych pierwiastków biogennych, głównie z atomami **wodoru**, **tlenu** i **azotu**, przy czym azot występuje głównie w białkach i kwasach nukleinowych. **Siarka** i **fosfor** występują w organizmach w znacznie mniejszej ilości niż inne pierwiastki biogenne. Siarka jest składnikiem niektórych aminokwasów budujących białka. Z kolei fosfor wchodzi w skład m.in. nukleotydów, kwasów nukleinowych oraz fosfolipidów i fosfoprotein.



Średnia procentowa zawartość pierwiastków chemicznych w organizmach.



Pierwiastki chemiczne występujące w organizmie człowieka.

[1] **Sucha masa** – masa organizmów lub ich części po wysuszeniu (odparowaniu wody), wyrażona w jednostkach masy, np. w gramach (g).

Znaczenie wybranych makro- i mikroelementów w organizmach

	Nazwa i symbol pierwiastka	Główna forma występowania pierwiastka	Wybrane funkcje pierwiastka w organizmie
Makroelementy	wapń (Ca)	• Ca^{2+} • $CaCO_3$	• Jest niezbędny do funkcjonowania komórek nerwowych i mięśniowych. • Bierze udział w procesie krzepnięcia krwi. • Jest składnikiem ściany komórkowej u roślin. • Jest składnikiem szkieletów zwierząt.
	magnez (Mg)	• Mg^{2+} • związki organiczne	• Jest aktywatorem wielu enzymów. • Uczestniczy w składaniu podjednostek rybosomów. • Jest składnikiem chlorofilu.
	potas (K)	• K^+	• Bierze udział w przewodzeniu impulsów nerwowych. • Jest ważnym składnikiem płynów ustrojowych. • U roślin jest aktywatorem wielu enzymów oraz wpływa na stopień uwodnienia komórek.
	sód (Na)	• Na^+	• Bierze udział w przewodzeniu impulsów nerwowych. • Jest ważnym składnikiem płynów ustrojowych.
	chlor (Cl)	• Cl^-	• Odpowiada za równowagę wodno-mineralną. • Wchodzi w skład kwasu solnego – jednego z głównych składników soku żołądkowego.
Mikroelementy	żelazo (Fe)	• związki organiczne	• Jest składnikiem białek złożonych, m.in. transportujących tlen (hemoglobina) lub magazynujących go (mioglobina). • Wchodzi w skład wielu enzymów, m.in. biorących udział w fotosyntezie i oddychaniu tlenowym.
	jod (I)	• związki organiczne	• Stanowi składnik hormonów tarczycy.
	miedź (Cu)	• związki organiczne	• Jest składnikiem wielu enzymów. • Stanowi składnik hemocyjaniny – barwnika, który u wielu bezkręgowców pełni funkcję analogiczną do hemoglobiny.
	kobalt (Co)	• związki organiczne	• Jest składnikiem witaminy B_{12}, która uczestniczy w wytwarzaniu elementów krwi oraz w biosyntezie kwasów nukleinowych i węglowodanów.
	fluor (F)	• sole nieorganiczne	• Wchodzi w skład szkliwa zębów.

Oddziaływania chemiczne

Między atomami i cząsteczkami substancji chemicznych występują różnego rodzaju oddziaływania chemiczne. Należą do nich:

- **wiązania chemiczne**, które łączą atomy w cząsteczki pierwiastków lub związków chemicznych,
- **oddziaływania międzycząsteczkowe**, które powodują przyciąganie albo odpychanie wolnych atomów lub cząsteczek.

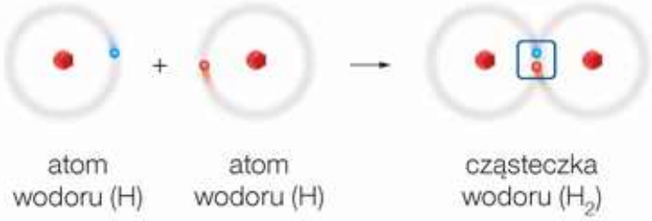
Oddziaływania chemiczne mogą być **silne** (wiązania chemiczne) lub **słabe** (oddziaływania międzycząsteczkowe). Siła oddziaływań zależy od tego, ile energii trzeba dostarczyć, żeby je zlikwidować, np. rozerwać wiązanie chemiczne.

Wiązania chemiczne

Atomy pierwiastków chemicznych łączą się ze sobą za pomocą wiązań chemicznych. Powstają wówczas cząsteczki pierwiastków chemicznych (np. H_2) lub związków chemicznych (np. H_2O). W tworzeniu wiązań chemicznych uczestniczą **elektrony walencyjne** atomu, czyli elektrony znajdujące się na jego zewnętrznej powłoce elektronowej. Rodzaj wiązania chemicznego zależy od **elektroujemności** atomów wchodzących w skład cząsteczki, czyli od ich zdolności do przyciągania elektronów. Do wiązań chemicznych zaliczamy:

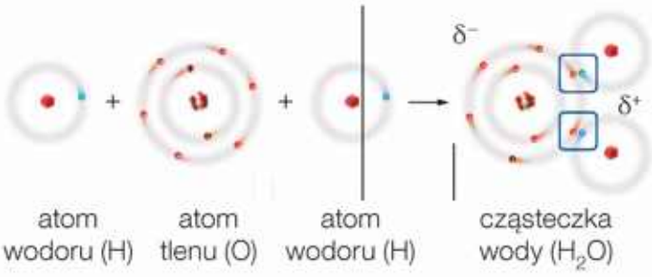
- wiązania kowalencyjne,
- wiązania jonowe.

Wiązanie kowalencyjne powstaje w wyniku utworzenia **wspólnych par elektronowych** przez atomy tworzące cząsteczkę. Jeśli atomy mają taką samą elektroujemność (ΔE[1] = 0), tworzy się **wiązanie niespolaryzowane**, w którym wspólna para elektronowa należy w jednakowym stopniu do obu atomów.



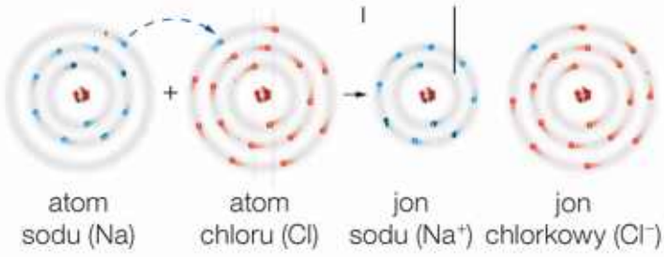
Wiązanie kowalencyjne występuje np. w cząsteczce wodoru.

Jeśli atomy nieznacznie różnią się elektroujemnością ($0 < \Delta E \leq 1{,}7$), tworzy się **wiązanie spolaryzowane**, w którym wspólna para elektronowa jest przesunięta w stronę jądra atomu o większej elektroujemności. Dzięki temu cząsteczki niektórych związków chemicznych zawierające takie wiązanie zyskują **charakter polarny** (dwubiegunowy). Na atomie, który silniej przyciąga wspólną parę elektronową, gromadzi się wówczas cząstkowy ładunek ujemny cząsteczki oznaczany symbolem δ^- (delta minus). Natomiast na atomie przyciągającym słabiej – cząstkowy ładunek dodatni oznaczany symbolem δ^+ (delta plus). Tak zbudowaną cząsteczkę nazywamy **dipolem elektrycznym**.



Wiązania kowalencyjne spolaryzowane występują np. w cząsteczce wody.

Wiązanie jonowe powstaje między atomami pierwiastków chemicznych znacznie różniących się elektroujemnością ($\Delta E > 1{,}7$). Elektrony walencyjne jednego z atomów są wówczas tak silnie przyciągane przez drugi atom (bardziej elektroujemny), że zostają oderwane i przejęte przez jego zewnętrzną powłokę elektronową. W ten sposób atom przejmujący elektrony ma nadmiar elektronów i staje się **jonem ujemnym** (anionem), a atom oddający elektrony staje się **jonem dodatnim** (kationem). Przyciąganie się różnoimiennie naładowanych jonów powoduje powstanie wiązania jonowego.



Wiązania jonowe występują np. w kryształach chlorku sodu.

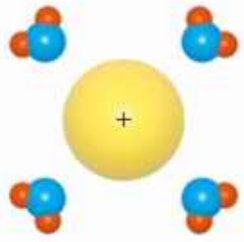
Oddziaływania międzycząsteczkowe

Do oddziaływań międzycząsteczkowych zaliczamy:

- oddziaływania dipol-dipol i jon-dipol,
- wiązania wodorowe,
- siły van der Waalsa,
- oddziaływania hydrofobowe.

Większość z tych oddziaływań może występować również w dużych cząsteczkach organicznych, głównie w białkach i kwasach nukleinowych, gdzie utrzymują odpowiednią strukturę przestrzenną związków.

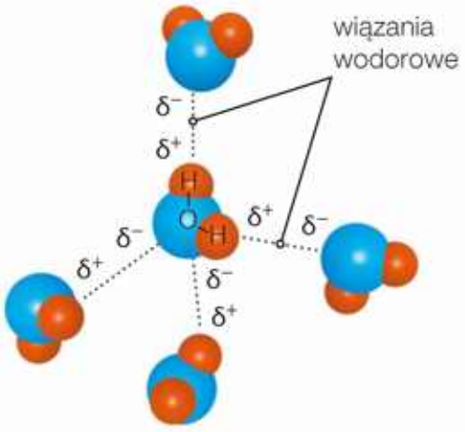
Oddziaływania dipol-dipol powstają między cząsteczkami **związków polarnych**. Polegają one na przyciąganiu się różnoimiennych biegunów dipoli sąsiadujących ze sobą cząsteczek. Oddziaływania **jon-dipol** powstają między **jonami** a cząsteczkami **związków polarnych**.



Oddziaływania jon-dipol występują np. między dodatnio naładowanymi jonami sodu a biegunami δ^- cząsteczek wody.

[1] **ΔE** (delta E) – różnica elektroujemności między atomami tworzącymi cząsteczkę.

Wiązania wodorowe powstają między **atomem wodoru** obdarzonym dodatnim ładunkiem cząstkowym δ^+ a atomem innego pierwiastka silnie elektroujemnego – najczęściej **tlenu** lub **azotu**. Wiązania wodorowe są znacznie słabsze od wiązań kowalencyjnych. Zwykle jednak występują w dużej liczbie, co sprawia, że decydują o właściwościach wielu związków chemicznych.



Wiązania wodorowe powstają np. między cząsteczkami wody.

Siły van der Waalsa występują między **cząsteczkami niepolarnymi**. Są rodzajem oddziaływań, które polegają na elektrostatycznym przyciąganiu się **chwilowych dipoli** powstających na skutek ruchów elektronów w obojętnych atomach. Oddziaływania te są znacznie słabsze od wiązań wodorowych. Dlatego dopiero duża ich liczba ma istotny wpływ na kształtowanie się struktury dużych cząsteczek.

Czy wiesz, że...

Siły van der Waalsa umożliwiają gekonom chodzenie np. po szybach. Oddziaływania te powstają między włoskami pokrywającymi łapy gekonów a podłożem.



Oddziaływania hydrofobowe powstają wtedy, gdy **w środowisku wodnym** znajdą się cząsteczki, które **nie są dipolami**. Należą do nich m.in. cząsteczki tłuszczów, które układają się w środowisku wodnym tak, aby ich kontakt z wodą był jak najmniejszy. Oddziaływania hydrofobowe mają zasadnicze znaczenie podczas tworzenia się błon biologicznych.

Związki chemiczne

Wytwarzanie wiązań chemicznych między atomami dwóch lub więcej pierwiastków prowadzi do powstawania związków chemicznych. Zwyczajowo dzieli się je na dwie grupy:

- **związki nieorganiczne**, które najczęściej nie zawierają w swojej budowie węgla. Do wyjątków należą m.in. dwutlenek węgla (CO_2), kwas węglowy (H_2CO_3) i jego sole;
- **związki organiczne**, których podstawowym składnikiem jest węgiel. Ich cząsteczki mają na ogół duże rozmiary i złożoną budowę.

Związki nieorganiczne

Do najważniejszych związków nieorganicznych występujących w organizmach należą woda i sole mineralne.

Woda

Woda stanowi środowisko życia wielu organizmów. Jest ona substancją **bezbarwną** i **przezroczystą**, dlatego światło słoneczne może przez nią przenikać nawet do głębokości 400 m. Umożliwia to funkcjonowanie organizmów fotosyntetyzujących, które produkują tlen i pokarm dla kolejnych poziomów troficznych zbiorników wodnych.

Woda jest również głównym związkiem nieorganicznym wchodzącym w skład organizmów. Jej średnia zawartość w organizmach wynosi 60–70%, jednak u niektórych, np. chełbi modrej, dochodzi nawet do 98%. Substancja ta nie reaguje z większością związków organicznych, ale jest **doskonałym rozpuszczalnikiem związków polarnych**. Dlatego tworzy idealne środowisko do przebiegu reakcji chemicznych.

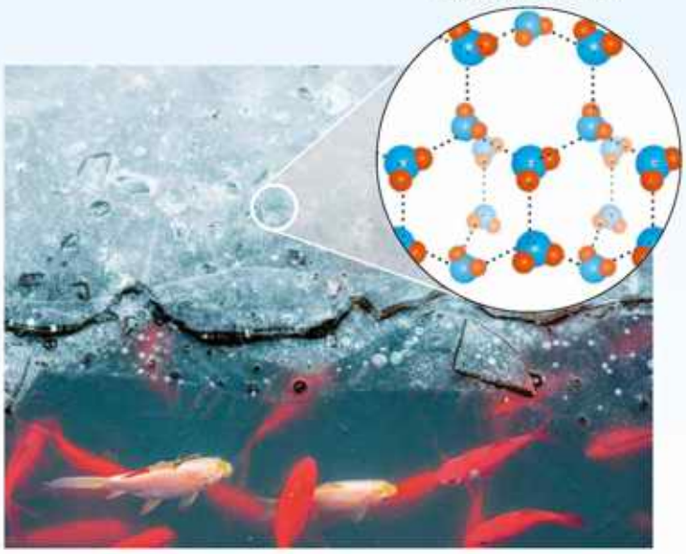
Niezwykłe właściwości wody

Cząsteczka wody składa się z atomu tlenu połączonego wiązaniami kowalencyjnymi spolaryzowanymi z dwoma atomami wodoru. Wiązania O–H tworzą kąt 104,5°, co powoduje rozdział różnoimiennych ładunków cząstkowych: δ^+ i δ^- na dwa bieguny cząsteczki. Woda jest więc dipolem elektrycznym. Polarna budowa cząsteczek wody umożliwia powstawanie między nimi wiązań wodorowych. Mają one bezpośredni wpływ na właściwości wody.



Budowa cząsteczki wody.

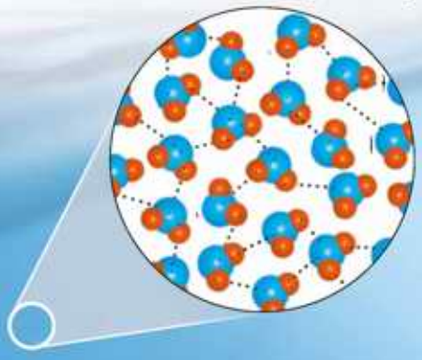
Struktura lodu



Gęstość mniejsza w stanie stałym niż w stanie ciekłym

Woda ma największą gęstość w temperaturze 4°C. Wraz ze spadkiem temperatury jej gęstość maleje, a objętość rośnie, co jest spowodowane zwiększaniem się odległości między cząsteczkami wody w wyniku powstawania regularnie rozmieszczonych wiązań wodorowych. W rezultacie lód jest lżejszy od wody i utrzymuje się na jej powierzchni, a głębsze warstwy wody pozostają niezamarznięte. Umożliwia to organizmom wodnym przetrwanie zimy.

Struktura wody ciekłej



Gęstość większa niż gęstość powietrza

Jeśli woda jest w stanie ciekłym, jej cząsteczki leżą blisko siebie, ponieważ są połączone krótkimi, choć nieregularnie rozmieszczonymi wiązaniami wodorowymi. W efekcie gęstość wody jest większa niż gęstość powietrza, co umożliwia utrzymywanie się w wodzie nawet tak dużych organizmów, jak np. walenie.

Wysokie ciepło właściwe

Woda ma najwyższe ciepło właściwe spośród wszystkich znanych substancji. Oznacza to, że aby podnieść temperaturę wody, należy dostarczyć jej znaczną ilość ciepła, natomiast aby obniżyć jej temperaturę, trzeba dużą ilość ciepła odebrać. Dzięki temu woda zawarta w organizmie chroni go przed nagłymi zmianami temperatury otoczenia. Zapewnia również stabilne warunki życia organizmom wodnym.



Krew przepływająca przez naczynia krwionośne jest magazynem ciepła w organizmie, ponieważ składa się głównie z wody.

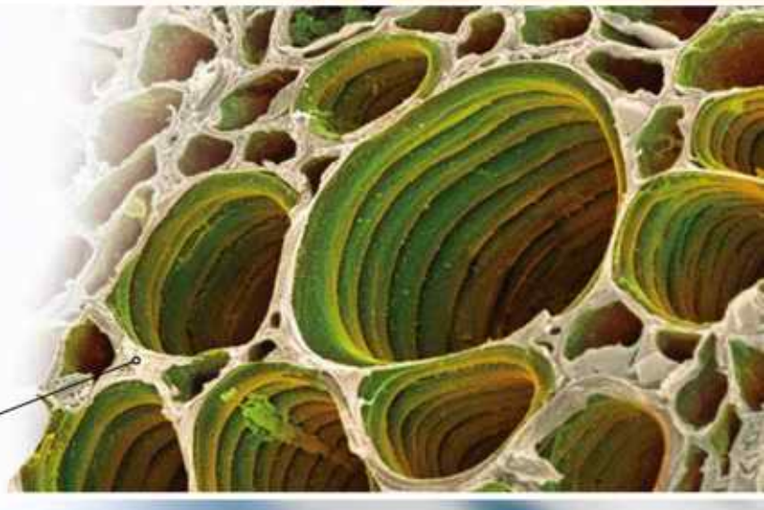
Wysokie ciepło parowania

Woda ma wysokie ciepło parowania, co oznacza, że trzeba dostarczyć znaczną ilość energii, aby zmienić jej stan skupienia z ciekłego na gazowy. Dzięki temu woda pełni funkcję termoregulacyjną. Na przykład pot wydzielany przez niektóre ssaki odbiera ciepło z organizmu, a następnie paruje, umożliwiając w ten sposób obniżenie temperatury ciała.



Spójność i przyleganie

Wiązania wodorowe powodują dużą spójność (kohezję) wody, czyli odporność słupa wody na rozerwanie pod wpływem sił rozciągających. Razem z innymi rodzajami oddziaływań międzycząsteczkowych warunkują również jej dobre przyleganie (adhezję) do powierzchni naładowanych elektrycznie. Dzięki temu woda może przemieszczać się w górę w cienkich rurkach (kapilarach), np. w naczyniach roślin.



Zdrewniałe ściany naczyń mają ładunek ujemny, co umożliwia przyleganie wody do ich powierzchni.

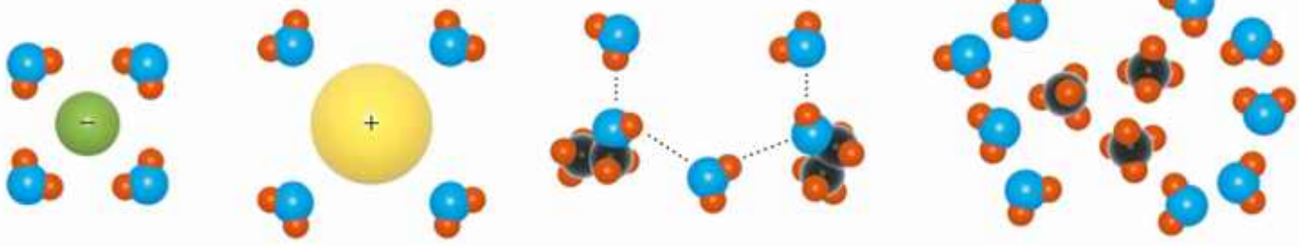
Wysokie napięcie powierzchniowe

Przyciąganie się cząsteczek wody na granicy z powietrzem jest dużo silniejsze niż w głębi cieczy. Dzięki temu na powierzchni wody powstaje cienka, sprężysta błonka, na której mogą się utrzymywać małe organizmy, np. niektóre owady.



Substancje hydrofilowe i hydrofobowe

Zgodnie z zasadą „podobne rozpuszcza się w podobnym", woda jest doskonałym rozpuszczalnikiem substancji o budowie polarnej lub jonowej. Nazywamy je substancjami hydrofilowymi i mówimy, że mają duże powinowactwo do wody. Substancje hydrofobowe, o małym powinowactwie do wody, mają cząsteczki niepolarne, są więc nierozpuszczalne w wodzie.



Substancje o charakterze jonowym (np. NaCl) są hydrofilowe i dobrze rozpuszczają się w wodzie. Każdy z powstałych jonów otacza się cząsteczkami wody zwróconymi w jego stronę biegunami o przeciwnym ładunku elektrycznym.

Substancje o charakterze polarnym (np. alkohole lub cukry proste) są hydrofilowe i dobrze rozpuszczają się w wodzie. Tworzą one z cząsteczkami wody wiązania wodorowe.

Substancje o charakterze niepolarnym (np. węglowodory lub tłuszcze) są hydrofobowe i nie rozpuszczają się w wodzie. Skupiają się w kuliste zespoły, co zapewnia im najmniejszą powierzchnię, a tym samym najmniejszy kontakt z wodą.

Sole mineralne

Sole mineralne występują w organizmach w postaci rozpuszczalnych w wodzie **jonów** lub nierozpuszczalnych **kryształów**. Pełnią one funkcje zarówno fizjologiczne, jak i budulcowe. Sole mineralne:

- regulują stan uwodnienia komórek, np. jony wapnia i magnezu zmniejszają płynność cytozolu, podczas gdy jony sodu i potasu ją zwiększają,
- aktywują enzymy, które przyspieszają przebieg reakcji biochemicznych,
- wpływają na procesy wymiany wody i innych substancji między komórką a jej otoczeniem,
- warunkują prawidłowy przebieg większości procesów fizjologicznych, np. powstawania i przewodzenia impulsów nerwowych,
- stanowią fizjologiczne układy buforowe[1] (np. bufor węglanowy), co zapewnia utrzymanie pH płynów ustrojowych na stałym poziomie.

Płyny ustrojowe w organizmach zawierają tyle samo jonów dodatnich (kationów) i ujemnych (anionów). Szczególnie liczne są kationy wapnia (Ca^{2+}), magnezu (Mg^{2+}), sodu (Na^{+}) i potasu (K^{+}). Wśród anionów istotne znaczenie mają: jony chlorkowe (Cl^{-}), wodorowęglanowe (HCO_3^{-}) i diwodorofosforanowe(V) ($H_2PO_4^{-}$). Część soli mineralnych, głównie węglany i fosforany wapnia, występuje w stanie stałym jako budulec szkieletów wewnętrznych i zewnętrznych zwierząt.

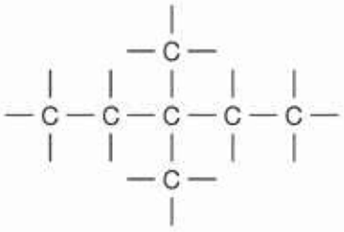


Z węglanu wapnia są zbudowane m.in. szkielety ślimaków (muszle) i koralowców.

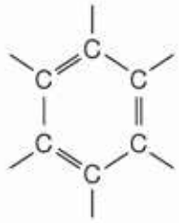
[1] **Układy buforowe** – mieszaniny substancji, które przyjmują lub oddają nadmiar jonów wodorowych, co przeciwdziała zmianom pH środowiska.

Związki organiczne

Związki organiczne są **związkami węgla**. Atomy węgla w tych związkach są zawsze czterowartościowe i mogą się bezpośrednio ze sobą łączyć. W ten sposób powstają **szkielety węglowe**, czyli proste lub rozgałęzione łańcuchy, oraz pierścienie. Oprócz atomów węgla w skład związków organicznych wchodzą atomy innych pierwiastków, głównie pierwiastków biogennych. Za reaktywność określonego związku organicznego, czyli zdolność do udziału w reakcjach chemicznych, odpowiadają jego **grupy funkcyjne**[1].



Szkielet węglowy w postaci łańcucha (rozgałęzionego).



Szkielet węglowy w postaci pierścienia.

Najważniejsze związki organiczne występujące w organizmach to:

- sacharydy (cukry),
- lipidy (tłuszczowce),
- białka,
- kwasy nukleinowe.

Niektóre związki organiczne powstają w wyniku **polimeryzacji**, czyli łączenia się prostych związków organicznych (monomerów) w długie łańcuchy (polimery). Reakcje polimeryzacji zachodzące w organizmach należą do reakcji **kondensacji**, w wyniku których, oprócz złożonego związku organicznego, powstają również cząsteczki wody. W efekcie reakcji polimeryzacji powstają często związki o szczególnie dużych cząsteczkach. Należą do nich polisacharydy, białka i kwas deoksyrybonukleinowy (DNA). Zwykle są one zbudowane z ponad tysiąca atomów, dlatego nazywamy je **makrocząsteczkami**. Makrocząsteczki charakteryzują się skomplikowaną budową przestrzenną.

Wybrane grupy funkcyjne występujące w związkach organicznych

Grupa funkcyjna		Wzór chemiczny	Grupa związków organicznych
hydroksylowa		–OH	• alkohole, np. alkohol etylowy • sacharydy, np. glukoza
karbonylowa	aldehydowa	–CHO	• aldehydy, np. aldehyd octowy • sacharydy – aldozy, np. glukoza
	ketonowa	$>C=O$	• ketony, np. aceton • sacharydy – ketozy, np. fruktoza
karboksylowa		–COOH (niezjonizowana) $-COO^-$ (zjonizowana)	• kwasy karboksylowe, np. kwas palmitynowy • aminokwasy, np. alanina
aminowa		$-NH_2$ (niezjonizowana) $-NH_3^+$ (zjonizowana)	• aminokwasy, np. alanina • zasady azotowe, np. guanina

[1] **Grupa funkcyjna** – część cząsteczki składająca się z atomu lub grupy atomów, które wykazują charakterystyczne właściwości chemiczne.

Polecenia kontrolne

1. Określ znaczenie pierwiastków biogennych dla funkcjonowania organizmów.
2. Podaj dwie właściwości wody, które pozwalają na przetrwanie organizmów wodnych w okresie zimy.
3. Określ, z jakiej właściwości wody korzysta maratończyk, gdy polewa ciało wodą podczas biegu. Odpowiedź uzasadnij.
4. Wyjaśnij znaczenie sił adhezji i kohezji w funkcjonowaniu roślin.

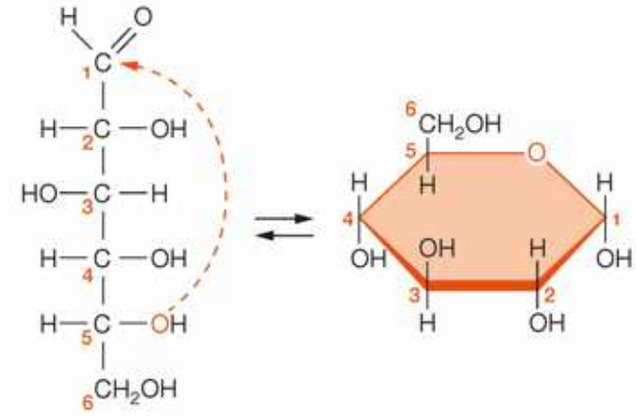
2.2. Budowa i funkcje sacharydów

Zwróć uwagę na:
- poszczególne grupy sacharydów,
- związek między właściwościami sacharydów a ich znaczeniem dla organizmów.

Sacharydy, nazywane też cukrami lub węglowodanami, powstają głównie w procesie fotosyntezy, przeprowadzanym przez organizmy autotroficzne. Wszystkie są zbudowane z węgla (C), wodoru (H) i tlenu (O), choć w skład niektórych z nich wchodzą również inne pierwiastki, np. azot (N). Ze względu na budowę cząsteczek sacharydy dzielimy na: **monosacharydy**, **oligosacharydy** i **polisacharydy**.

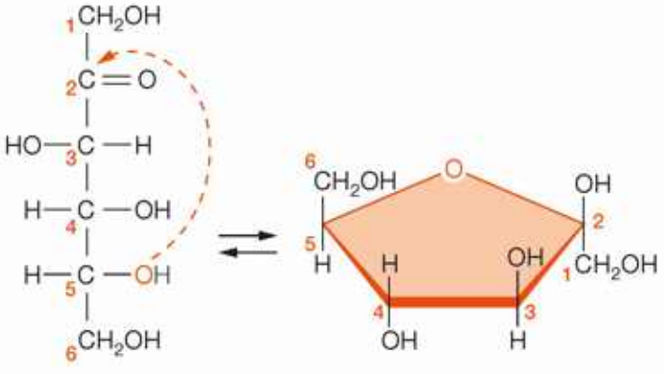
Monosacharydy

Monosacharydy (cukry proste, jednocukry) są związkami o słodkim smaku, dobrze rozpuszczalnymi w wodzie. Zawierają w cząsteczkach od trzech do ośmiu atomów węgla, dlatego nazywamy je kolejno: **triozami** (C3), **tetrozami** (C4), **pentozami** (C5), **heksozami** (C6) itd. Każdy z cukrów prostych ma kilka **grup hydroksylowych** (−OH) i jedną grupę **karbonylową**: **aldehydową** (−CHO) lub **ketonową** (−CO−). Monosacharydy zawierające grupę aldehydową nazywamy **aldozami**, natomiast zawierające grupę ketonową – **ketozami**. Niektóre monosacharydy, głównie pentozy i heksozy, mogą występować w roztworach w dwóch postaciach – łańcuchowej i pierścieniowej, które wzajemnie w siebie przechodzą.



postać łańcuchowa — postać pierścieniowa

Zamknięcie łańcucha glukozy (aldozy) w pierścień polega na utworzeniu mostka tlenowego między atomami C_1 i C_5 cząsteczki cukru.

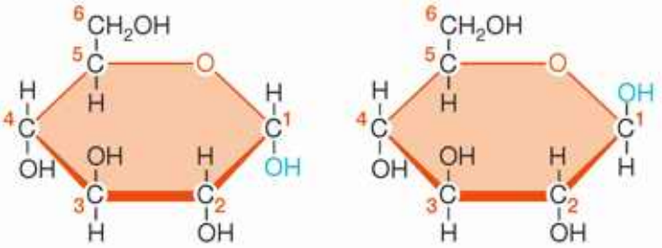


postać łańcuchowa — postać pierścieniowa

Zamknięcie łańcucha fruktozy (ketozy) w pierścień polega na utworzeniu mostka tlenowego między atomami C_2 i C_5 cząsteczki cukru.

Formy monosacharydów

Monosacharydy pierścieniowe mogą występować w dwóch formach, które różnią się od siebie rozmieszczeniem podstawników −H i −OH przy atomie węgla C_1 w przypadku aldoz lub C_2 w przypadku ketoz. Formę z podstawnikiem −OH skierowanym we wzorze chemicznym do dołu nazywamy anomerem α, natomiast do góry – anomerem β.



anomer α glukozy — anomer β glukozy

Funkcje biologiczne wybranych monosacharydów

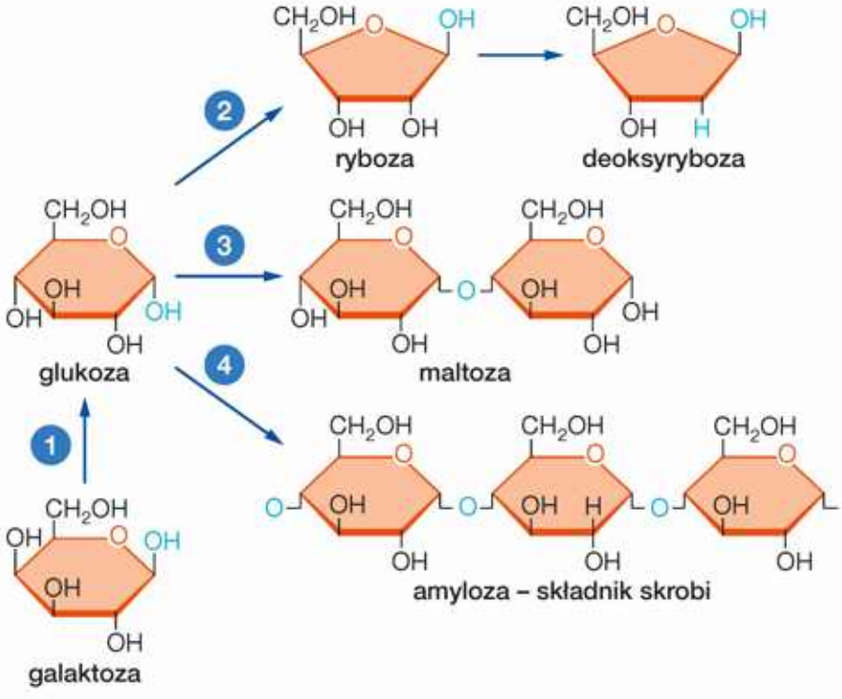
Przykłady monosacharydów	Funkcje biologiczne
Triozy (C3)	
Aldehyd 3-fosfoglicerynowy	• Jest produktem pośrednim oddychania komórkowego. • Jest produktem ostatecznym fotosyntezy.
Pentozy (C5)	
Ryboza	• Wchodzi w skład kwasu rybonukleinowego (RNA), który uczestniczy w odczytywaniu informacji genetycznej organizmów i syntezie białka oraz jest nośnikiem informacji genetycznej u niektórych wirusów. • Jest składnikiem wolnych rybonukleotydów, które są przenośnikami energii (np. ATP), i elektronów (np. NAD^+) w komórkach.
Deoksyryboza	• Wchodzi w skład kwasu deoksyrybonukleinowego (DNA), który jest nośnikiem informacji genetycznej u organizmów i wielu wirusów.
Heksozy (C6)	
Glukoza	• Jest podstawowym substratem w oddychaniu komórkowym. • Jest monomerem wielu oligosacharydów i polisacharydów. • Jest formą transportową cukrów u zwierząt.
Fruktoza	• Pełni funkcję źródła energii, ponieważ łatwo przekształca się w glukozę. • Wchodzi w skład wielu oligosacharydów i polisacharydów.
Galaktoza	• Jest elementem budulcowym disacharydu laktozy. • Wchodzi w skład niektórych polisacharydów.

Przemiany glukozy

Glukoza jest podstawowym źródłem energii dla prawie wszystkich form życia. Dlatego inne monosacharydy, takie jak fruktoza i galaktoza, są w organizmach przekształcane w glukozę lub jej pochodne. Ponadto glukoza może być wykorzystywana do syntezy innych sacharydów.

Glukoza w organizmach:

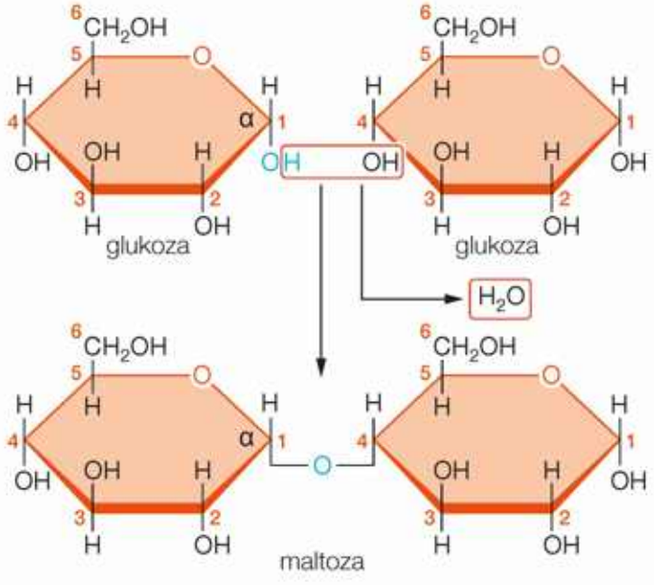
1. jest produktem przemian innych monosacharydów, np. galaktozy,
2. jest substratem do syntezy innych monosacharydów, np. rybozy, która stanowi substrat do syntezy deoksyrybozy,
3. jest substratem do syntezy disacharydów, np. maltozy,
4. jest substratem do syntezy polisacharydów, np. skrobi.



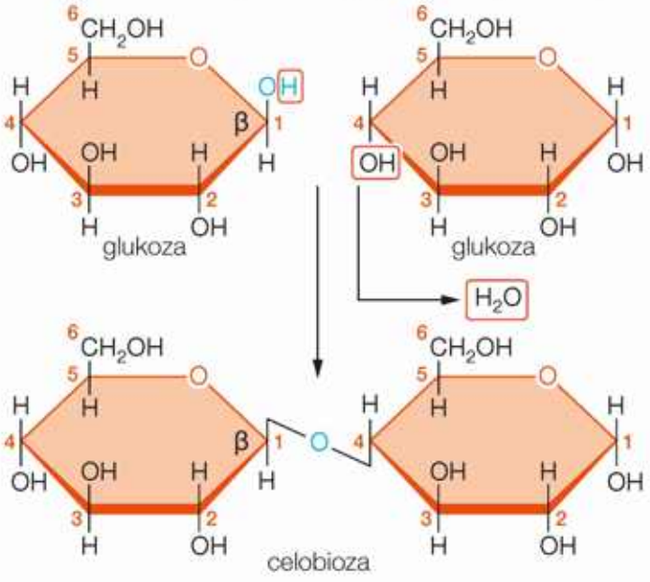
Oligosacharydy

Oligosacharydy powstają przez połączenie się od dwóch do dziesięciu cząsteczek cukrów prostych **wiązaniem O-glikozydowym**[1]. Wiązanie to może powstawać między różnymi atomami węgla. Najczęściej występuje **wiązanie 1,4-glikozydowe**, które tworzy się między pierwszym atomem węgla (C_1) jednej cząsteczki a czwartym atomem węgla (C_4) następnej cząsteczki. W zależności od formy anomerycznej monocukrów tworzących wiązanie wyróżniamy **wiązania α-** (alfa) **i β-glikozydowe** (beta-glikozydowe). Pierwsze z nich są łatwo rozkładane przez wszystkie organizmy, natomiast drugie są rozkładane tylko przez nieliczne z nich.

Powstawanie wiązania 1,4-α-glikozydowego



Powstawanie wiązania 1,4-β-glikozydowego



Disacharydy

Do oligosacharydów należą **disacharydy** (dwucukry), które są produktami kondensacji dwóch cząsteczek cukrów prostych. Ich właściwości fizykochemiczne są podobne do właściwości monosacharydów. Wśród dwucukrów największe znaczenie mają: **sacharoza** (cukier buraczany, cukier trzcinowy), **laktoza** (cukier mlekowy) i **maltoza** (cukier słodowy). Oligosacharydy o dłuższych łańcuchach łączą się często z białkami lub lipidami, w wyniku czego tworzą się związki wchodzące w skład błon komórkowych. Determinują one grupy krwi, odgrywają też kluczową rolę w rozpoznawaniu się komórek.

Budowa wybranych disacharydów i ich funkcje w organizmach

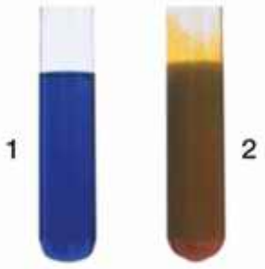
Przykłady disacharydów	Budowa	Funkcje biologiczne
Sacharoza	Jest zbudowana z jednej cząsteczki glukozy i jednej cząsteczki fruktozy, połączonych wiązaniem 1,2-α-glikozydowym.	• Jest formą transportową cukrów u roślin. • Występuje w korzeniu buraka cukrowego i łodydze trzciny cukrowej – stanowi substancję zapasową.
Laktoza	Jest zbudowana z jednej cząsteczki glukozy i jednej cząsteczki galaktozy, połączonych wiązaniem 1,4-α-glikozydowym.	• Wchodzi w skład mleka ssaków – pełni funkcję odżywczą.
Maltoza	Jest zbudowana z dwóch cząsteczek glukozy, połączonych wiązaniem 1,4-α-glikozydowym.	• Powstaje w wyniku trawienia skrobi i glikogenu. • Występuje w nektarze i pyłku niektórych roślin – wabi zwierzęta zapylające.

[1] **Wiązanie O-glikozydowe** – wiązanie między atomami węgla należącymi do różnych cząsteczek monocukrów za pośrednictwem tlenu (mostka tlenowego).

Cukry redukujące

Cukry redukujące zawierają w cząsteczkach wolną grupę aldehydową. Można je odróżnić od innych cukrów m.in. za pomocą próby Fehlinga. Polega ona na utlenianiu aldoz za pomocą $Cu(OH)_2$ do odpowiednich kwasów organicznych. Jednocześnie zachodzi redukcja $Cu(OH)_2$ o niebieskiej barwie do Cu_2O o ceglastoczerwonej barwie (patrz s. 153, *Reakcje utlenienia-redukcji*). Cukry, które nie zawierają w cząsteczkach wolnej grupy aldehydowej, nie dają pozytywnego wyniku próby Fehlinga, dlatego ich roztwór po dodaniu $Cu(OH)_2$ nie zmienia barwy.

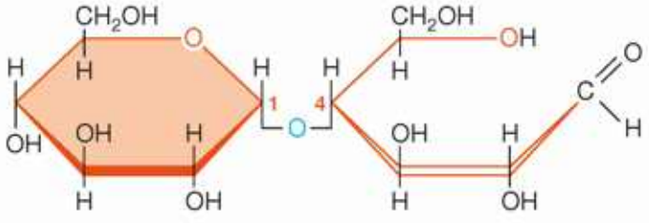
Aldozy nazywamy cukrami redukującymi, ponieważ mają zdolność redukowania związków miedzi zgodnie z równaniem reakcji chemicznej:



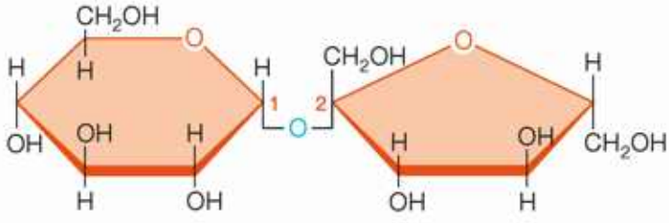
Próba Fehlinga:
1 – wynik negatywny
2 – wynik pozytywny



Do cukrów redukujących zaliczamy wszystkie monosacharydy, łącznie z fruktozą, która należy do ketoz. Fruktoza ma bowiem zdolność łatwego przekształcania się w glukozę. Cukrami redukującymi są również maltoza i laktoza, ponieważ drugi z ich pierścieni ma wolny anomeryczny atom węgla C_1 i w roztworach wodnych może się otwierać z wytworzeniem grupy aldehydowej. Właściwości redukujących nie ma sacharoza, której pierścienie się nie otwierają, ponieważ w obu z nich anomeryczne atomy węgla C_1 i C_2 są zablokowane przez wytworzone wiązanie 1,2-α-glikozydowe.



Drugi pierścień maltozy się otwiera.



Pierścienie sacharozy się nie otwierają.

Polisacharydy

Polisacharydy (wielocukry) powstają na skutek łączenia się wielu cząsteczek cukrów prostych w jedną długą cząsteczkę. Związki te nie rozpuszczają się w wodzie, ale mogą być rozkładane za pomocą enzymów. Nie wykazują również właściwości redukujących, jednak można je wykryć w materiale biologicznym innymi metodami. Na przykład **skrobię** – wielocukier zapasowy – wykrywa się za pomocą **jodyny** (alkoholowego roztworu jodu) lub **płynu Lugola** (roztworu jodu w jodku potasu). Pod wpływem jodu skrobia barwi się na granatowy kolor.



Ziarna skrobi w ziarniakach jęczmienia (obraz spod SEM).

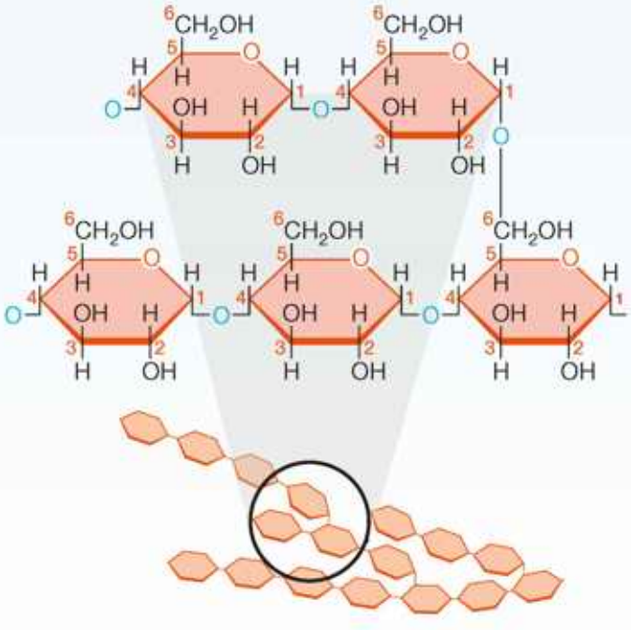
Polisacharydy

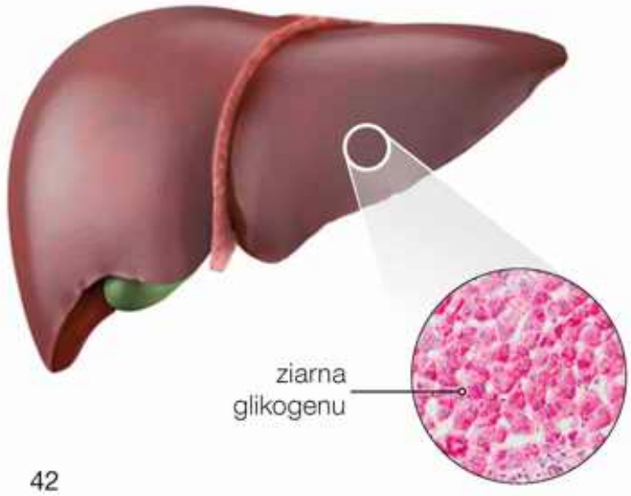
Do polisacharydów najbardziej rozpowszechnionych w przyrodzie należą: glikogen, skrobia, celuloza i chityna. Są one nierozpuszczalne w wodzie, dlatego pełnią w organizmach funkcję zapasową oraz budulcową.

Polisacharydy o funkcji zapasowej

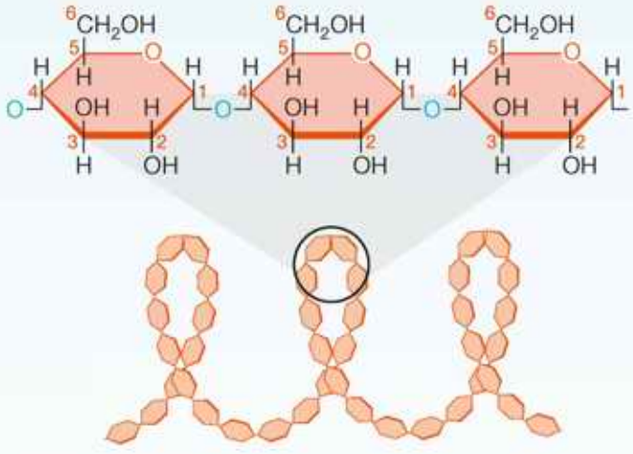
Do cukrów pełniących w organizmach funkcję zapasową należą glikogen i skrobia. Składają się one z cząsteczek glukozy połączonych głównie wiązaniami 1,4-α-glikozydowymi. Wiązania te są łatwo rozkładane przez enzym amylazę, który występuje u większości organizmów. Z tego powodu oba cukry mogą w razie potrzeby zostać rozłożone do cząsteczek glukozy i wykorzystane przez organizm jako źródło energii.

Glikogen jest materiałem zapasowym zwierząt i grzybów. W organizmie człowieka gromadzi się głównie w wątrobie oraz w mięśniach. Cukier ten jest zbudowany z około 100 tys. reszt glukozy. Reszty glukozy w łańcuchu głównym glikogenu są połączone wiązaniami 1,4-α-glikozydowymi. Co ok. 8–12 reszt glukozowych łańcuch się rozgałęzia dzięki powstawaniu wiązań 1,6-α-glikozydowych.





Skrobia jest materiałem zapasowym roślin i niektórych protistów. Cukier ten składa się z dwóch frakcji: amylozy i amylopektyny.
Amyloza stanowi ok. 20% masy skrobi i jest prostym łańcuchem zbudowanym z kilkuset reszt glukozy połączonych wiązaniami 1,4-α-glikozydowymi. Łańcuch ten tworzy spiralne skręty.



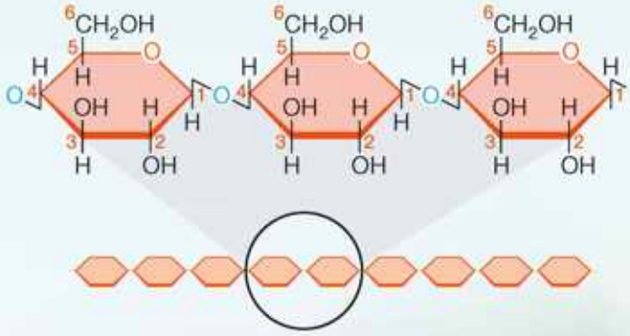
Amylopektyna stanowi ok. 80% masy skrobi i jest zbudowana z kilku tysięcy reszt glukozy. Budowa amylopektyny jest bardzo podobna do budowy glikogenu, ale rozgałęzienia łańcucha głównego tworzą się co ok. 25 reszt glukozowych.



Polisacharydy o funkcji budulcowej

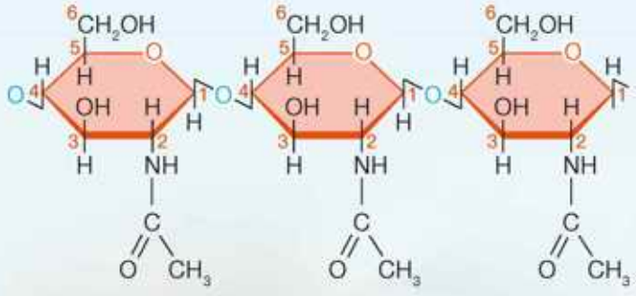
Cukrami o funkcji budulcowej są celuloza i chityna. Składają się one z cząsteczek cukrów prostych połączonych wiązaniami 1,4-β-glikozydowymi. Wiązania te są rozkładane przez nieliczne organizmy.

Celuloza jest głównym składnikiem ściany komórkowej w komórkach roślin i niektórych protistów. Składa się z kilku tysięcy reszt glukozy połączonych wiązaniami 1,4-β-glikozydowymi. Pomiędzy łańcuchami celulozy tworzą się liczne wiązania wodorowe, dzięki czemu powstają grubsze włókna – mikrofibryle. Celulozę rozkładają jedynie niektóre mikroorganizmy, np. bakterie i protisty żyjące w przewodach pokarmowych przeżuwaczy oraz termitów.





Chityna jest głównym składnikiem szkieletów zewnętrznych stawonogów oraz ściany komórkowej w komórkach grzybów. Składa się z kilku tysięcy reszt N–acetyloglukozaminy (aminowej pochodnej glukozy) połączonych wiązaniami 1,4-β-glikozydowymi. Chityna jest rozkładana jedynie przez niektóre mikroorganizmy.





Hialuronian nie tylko na zmarszczki

Biologia w **medycynie**

Hialuronian (kwas hialuronowy) jest polisacharydem, którego cząsteczki mają ujemny ładunek elektryczny. Dzięki temu wiążą bardzo dużą ilość wody. W organizmie hialuronian występuje głównie w skórze. Zapewnia odpowiedni stopień jej uwodnienia, a tym samym odporność na odkształcenia pod wpływem np. sił rozciągających. Duża ilość hialuronianu występuje również w tkance chrzęstnej stawów. Wiązanie wody przez ten związek umożliwia amortyzację wstrząsów, które powstają podczas ruchu. Z kolei obecność hialuronianu w gałce ocznej pozwala na swobodne przechodzenie przez nią fal świetlnych. Hialuronian jest szeroko stosowany w medycynie. Po raz pierwszy wykorzystano go w połowie ubiegłego wieku w okulistyce – podczas operacji siatkówki. Od tamtej pory znalazł szereg innych zastosowań: w reumatologii i ortopedii poprawia kondycję stawów, a w dermatologii przyspiesza leczenie ciężkich ran oparzeniowych oraz uszkodzeń skóry po przebytej radioterapii. W dermatologii estetycznej służy głównie do wypełniania zmarszczek, które powstają w wyniku starzenia się skóry.



Amortyzacja wstrząsów powstających podczas ruchu jest możliwa dzięki dużej zawartości hialuronianu w chrząstkach stawowych.

Obserwacja

Wykrywanie cukrów redukujących w soku z winogron

- **Problem badawczy:** Czy w soku z winogron znajdują się cukry redukujące?
- **Hipoteza:** W soku z winogron znajdują się cukry redukujące.
- **Przebieg obserwacji**

  Próba badawcza – Probówka A – zawierająca sok z winogron i odczynniki Fehlinga (I i II).

  Próba kontrolna – Probówka B – zawierająca roztwór glukozy o stężeniu 10% i odczynniki Fehlinga (I i II).

  Do probówki A wlej ok. 2 cm^3 soku z winogron, dodaj zbliżoną ilość odczynnika Fehlinga (I i II), a następnie probówkę podgrzej nad palnikiem.

  Do probówki B wlej ok. 2 cm^3 roztworu glukozy, dodaj zbliżoną ilość odczynnika Fehlinga (I i II), a następnie probówkę podgrzej nad palnikiem.
- **Wynik obserwacji:** Zaobserwuj zmiany zabarwienia roztworów i wytrącenie się osadu.
- **Wniosek:** Sformułuj wniosek.
- **Wyjaśnienie:** Odczynnik Fehlinga I to wodny roztwór $CuSO_4$, a odczynnik Fehlinga II – roztwór NaOH i winianu sodowopotasowego. Po zmieszaniu obu odczynników Fehlinga powstaje nietrwały $Cu(OH)_2$ o niebieskiej barwie, który pozwala wykryć obecność cukrów zawierających wolną grupę aldehydową. Podczas reakcji z odczynnikami Fehlinga glukoza ma formę łańcuchową, więc jej wolna grupa aldehydowa redukuje $Cu(OH)_2$ do Cu_2O, co powoduje wytrącenie się ceglastoczerwonego osadu Cu_2O.

Polecenia kontrolne

1. Podaj trzy funkcje glukozy w organizmach.
2. Określ, czy za pomocą próby Fehlinga można odróżnić roztwór glukozy od roztworu maltozy. Odpowiedź uzasadnij.
3. Określ, dlaczego skrobia i celuloza pełnią w organizmach odmienne funkcje. Odpowiedź uzasadnij poprzez odniesienie się do budowy obu cukrów.
4. Zaproponuj sposób, który umożliwi wykrycie skrobi w ziarniakach zbóż.

2.3. Budowa i funkcje lipidów

Zwróć uwagę na:
- związek między budową a właściwościami lipidów,
- funkcje lipidów w organizmach.

Lipidy (tłuszczowce) stanowią główny składnik błon biologicznych wszystkich organizmów. Dzięki wysokiej zasobności w energię pełnią w organizmach funkcję substancji zapasowych. U zwierząt warstwy tkanki tłuszczowej zapewniają również termoizolację oraz ochraniają narządy wewnętrzne.

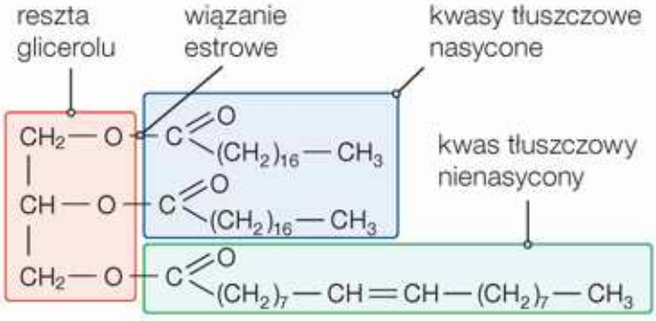
Budowa i rodzaje lipidów

Lipidy (tłuszczowce) składają się zwykle z węgla (C), wodoru (H) i tlenu (O). Niektóre z nich mogą zawierać również azot (N) i fosfor (P). Ze względu na niepolarną budowę cząsteczek lipidy należą do związków **hydrofobowych**, czyli nierozpuszczalnych w wodzie. Rozpuszczają się natomiast w rozpuszczalnikach niepolarnych, np. w benzynie. Gęstość lipidów jest mniejsza od gęstości wody. Dlatego związki te tworzą na jej powierzchni oddzielną warstwę. Ze względu na budowę cząsteczki lipidy dzielimy na **proste**, **złożone** oraz **izoprenowe**.

Podział lipidów ze względu na budowę cząsteczki		
proste	**złożone**	**izoprenowe**
• tłuszcze właściwe • woski	• fosfolipidy • glikolipidy	• steroidy • karotenoidy

Lipidy proste

Pod względem chemicznym lipidy proste są **estrami**, czyli produktami reakcji alkoholu z kwasem karboksylowym. W **tłuszczach właściwych** (triglicerydach) alkoholem jest **glicerol**, który ma trzy grupy hydroksylowe. Oznacza to, że jedna cząsteczka glicerolu może utworzyć **wiązania estrowe** z trzema cząsteczkami kwasów. Kwasy karboksylowe wchodzące w skład tłuszczów właściwych nazywamy **kwasami tłuszczowymi**. Są one zbudowane z długich łańcuchów węglowodorowych i z jednej grupy karboksylowej. Kwasy tłuszczowe mogą być **nasycone**, jeśli między atomami węgla nie ma wiązań podwójnych, lub **nienasycone**, jeżeli zawierają co najmniej jedno takie wiązanie. Proporcje kwasów tłuszczowych nasyconych i nienasyconych w cząsteczkach tłuszczów wpływają na ich stan skupienia. W tłuszczach stałych przeważają nasycone kwasy tłuszczowe, a w ciekłych – nienasycone. Zwierzęta wytwarzają zwykle tłuszcze stałe, a rośliny – tłuszcze ciekłe.



Budowa cząsteczki tłuszczu właściwego.

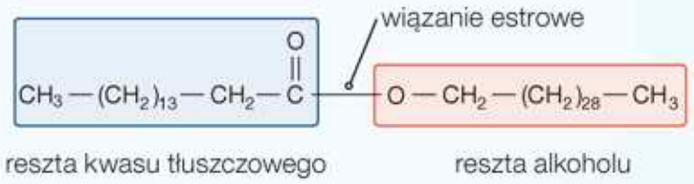
W organizmach zwierząt tłuszcze właściwe znajdują się głównie pod skórą oraz otaczają niektóre narządy wewnętrzne. Ich podstawowe funkcje to:

- **funkcja zapasowa** – tłuszcze są bardzo zasobne w energię, dlatego są magazynowane w tkance tłuszczowej i zużywane podczas głodu lub wysiłku fizycznego;
- **funkcja termoizolacyjna** – chronią przed nadmierną utratą ciepła oraz umożliwiają efektywne wytwarzanie ciepła;
- **funkcja ochronna** – chronią przed urazami mechanicznymi.

U roślin tłuszcze właściwe występują głównie w nasionach. Są one źródłem energii i związków budulcowych dla rozwijającego się zarodka oraz młodej rośliny.

Lipidy proste – woski

Woski są **estrami** kwasów tłuszczowych oraz alkoholi zawierających w cząsteczce jedną grupę hydroksylową. Pełnią one w organizmach różnorodne funkcje, głównie ochronne i budulcowe.



wzór chemiczny wosku pszczelego



Woski pokrywają pióra ptaków i sierść ssaków. U ptaków tworzą na powierzchni piór nieprzemakalną powłokę. Warstwa wosków jest szczególnie gruba na piórach ptaków wodnych. Podobną funkcję pełnią woski pokrywające sierść ssaków. Należy do nich np. lanolina – wosk wełny owczej.



Wosk zwany spermacetem znajduje się w głowie kaszalotów. Temperatura topnienia spermacetu wynosi 29°C. Kiedy kaszalot nurkuje, spadek temperatury powoduje zmianę stanu skupienia spermacetu z ciekłego na stały, co zmniejsza siłę wyporu i ułatwia zanurzanie. Podczas wynurzania następuje odwrotny proces – pod wpływem wyższej temperatury spermacet się topi, co zwiększa siłę wyporu i ułatwia wynurzanie się kaszalota.



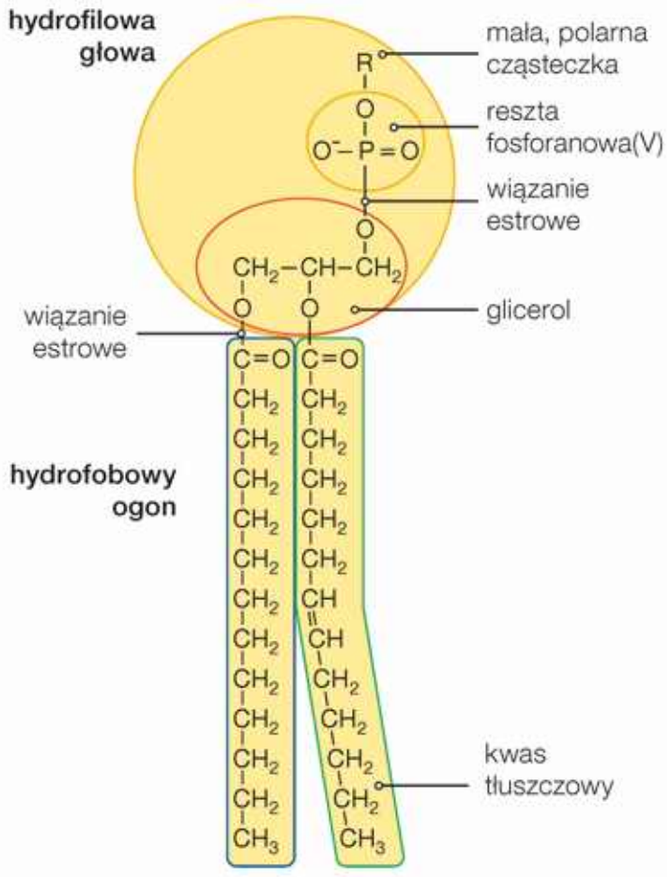
Woski wchodzą w skład kutykuli – warstwy lipidowej pokrywającej nadziemne organy roślin, m.in. łodygi i liście. Kutykula zabezpiecza rośliny przed nadmiernym wyparowywaniem wody. U niektórych roślin, np. kaktusów, na powierzchni kutykuli występuje dodatkowa warstwa wosków, która odbija promienie słoneczne i chroni rośliny przed przegrzaniem.



Wosk pszczeli jest produkowany przez samice pszczół. Służy do budowy plastrów, w których są składane jaja i gromadzone zapasy pokarmu – miodu oraz pyłku.

Lipidy złożone

Lipidy złożone są **estrami** alkoholi, m.in. glicerolu, oraz kwasów tłuszczowych. W ich skład wchodzą również inne związki. W zależności od charakteru chemicznego tych związków lipidy złożone dzielimy na **fosfolipidy** i **glikolipidy**. W fosfolipidach glicerolowych jedna z trzech grup hydroksylowych glicerolu jest połączona z resztą **kwasu fosforowego(V)**. Z nią wiąże się zwykle niewielka cząsteczka nietłuszczowa o polarnej budowie, np. cholina. W glikolipidach składnikiem nietłuszczowym jest cząsteczka **cukru**, np. glukozy lub galaktozy. Taka budowa cząsteczek lipidów złożonych powoduje, że mają one dwa końce o różnym powinowactwie do wody. Niepolarne łańcuchy kwasów tłuszczowych, tzw. **ogony**, są **hydrofobowe**, a przeciwne końce cząsteczek, tzw. **głowy**, są **hydrofilowe**. Z tego powodu tłuszcze złożone, które znajdą się w środowisku wodnym, zbliżają się do siebie hydrofobowymi ogonami i tworzą duże skupienia. Lipidy złożone są podstawowymi składnikami błon biologicznych.



Budowa fosfolipidu.

Dwuwarstwa fosfolipidowa

Hydrofilowo-hydrofobowy charakter cząsteczek fosfolipidów powoduje, że w roztworach wodnych tworzą one spontanicznie dwuwarstwę lipidową, czyli błonę zbudowaną z dwóch równoległych warstw lipidowych (monowarstw). Powstawanie błony jest wymuszone oddziaływaniami hydrofobowymi, które powstają między ogonami lipidów znajdujących się w wodzie. Zbliżają się one do siebie i układają obok oraz naprzeciw. Unikają w ten sposób kontaktu z polarnym rozpuszczalnikiem. Z kolei hydrofilowe głowy zwracają się w stronę środowiska wodnego, a między nimi i cząsteczkami wody wytwarzają się oddziaływania dipol-dipol oraz wiązania wodorowe.



Fosfolipid jest zbudowany z hydrofilowej głowy i hydrofobowego ogona.

Dwuwarstwa lipidowa powstaje dzięki spontanicznemu układaniu się cząsteczek fosfolipidów w sposób, który uniemożliwia kontakt ogonów z wodą.

Dwuwarstwa się zamyka i tworzy pęcherzyk. W ten sposób kontakt z wodą mają wyłącznie hydrofilowe głowy zewnętrznej i wewnętrznej części pęcherzyka.

Lipidy izoprenowe

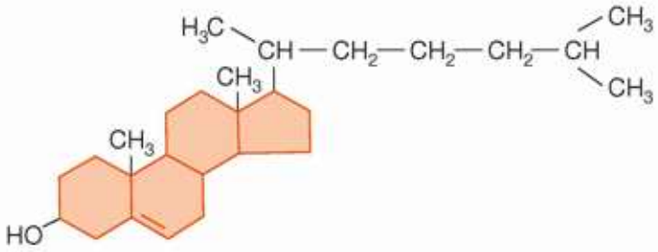
Lipidy izoprenowe **nie są estrami**, ale zaliczamy je do tłuszczowców ze względu na hydrofobowość cząsteczek oraz dobrą rozpuszczalność w rozpuszczalnikach niepolarnych. Lipidy te są bardzo zróżnicowaną grupą związków, zarówno pod względem struktury, jak i pełnionych funkcji biologicznych. Zaliczamy do nich m.in. **karotenoidy** oraz **steroidy**.

Karotenoidy

Karotenoidy to barwne związki, które dzielimy na czerwone i pomarańczowe **karoteny** oraz żółte **ksantofile**. Są one produkowane w komórkach roślin, gdzie pełnią ważne funkcje fizjologiczne. Karotenoidy biorą udział w fotosyntezie jako **barwniki pomocnicze** towarzyszące chlorofilom. Chronią również związki chemiczne wchodzące w skład chloroplastów przed szkodliwym działaniem reaktywnych form tlenu[1], które powstają podczas fotosyntezy. Ich zawartość w liściach jest bardzo duża, choć zwykle są maskowane przez zielony chlorofil. Karotenoidy pełnią również wiele funkcji związanych z interakcjami między roślinami a innymi organizmami.

Steroidy

Steroidy są związkami o złożonej pierścieniowej budowie i płaskich cząsteczkach. Głównym steroidem zwierzęcym jest **cholesterol**, który występuje m.in. w **błonach komórek**, gdzie odpowiada za ich usztywnianie, oraz w **osłonkach włókien nerwowych**. Osłonki te zapewniają szybkie rozchodzenie się impulsu nerwowego. Cholesterol jest również substancją wyjściową do syntezy wielu ważnych związków, m.in.: **soli żółciowych**, **hormonów steroidowych** i **witaminy D**. Steroidy występują także w komórkach roślinnych. Podobnie jak u zwierząt są one budulcem błon komórek oraz pełnią funkcję hormonów.

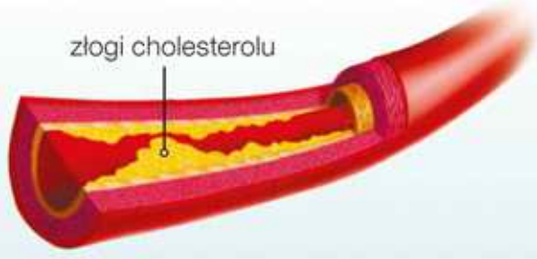


Cholesterol składa się z czterech płaskich pierścieni. Dzięki temu łatwo wnika między fosfo- i glikolipidy błon biologicznych.

Dwie twarze cholesterolu

Biologia w **medycynie**

Z jednej strony cholesterol jest związkiem niezbędnym do prawidłowego funkcjonowania organizmu człowieka. Stanowi m.in. substrat do syntezy tak ważnych związków jak hormony steroidowe czy witamina D. Z drugiej strony coraz więcej ludzi choruje na choroby układu krążenia. Niektóre z nich są spowodowane nieprawidłową gospodarką lipidową. Przykładem takiej choroby jest arterioskleroza, w której przebiegu nadmiar cholesterolu odkłada się na wewnętrznej powierzchni ścian naczyń wieńcowych. Naczynia te zaopatrują mięsień sercowy w tlen i substancje odżywcze. Złogi cholesterolu blokują dopływ krwi do mięśnia sercowego, czego skutkiem może być jego zawał.



Zatkane tętnice wieńcowe blokują przepływ krwi do mięśnia sercowego, co powoduje jego niedotlenienie.

[1] **Reaktywne formy tlenu (ROS)** – atomy tlenu lub związki chemiczne zawierające tlen, które charakteryzują się dużą reaktywnością, czyli zdolnością do udziału w reakcjach chemicznych. Utleniają wiele substancji potrzebnych komórce, dlatego są szkodliwe dla organizmów.

Wybrane funkcje lipidów izoprenowych

Wiele lipidów izoprenowych wytwarzanych przez rośliny wpływa na inne organizmy, m.in. na zwierzęta.

- **Karotenoidy** znajdują się m.in. w płatkach kwiatów oraz w owocach. Dzięki intensywnym barwom przywabiają zwierzęta, które przenoszą pyłek i rozsiewają nasiona.
- **Steroidy** zabezpieczają rośliny przed zgryzaniem, gdyż nadają im gorzki smak lub są substancjami toksycznymi. Ciekawym przykładem są fitoekdyzony – steroidy wytwarzane przez rośliny, których budowa chemiczna jest zbliżona do budowy ekdyzonu – hormonu linienia wytwarzanego przez owady. Ekdyzon reguluje cykl życiowy owadów i odpowiada za ich przeobrażanie się. Roślinne fitoekdyzony poprzez chemiczne podobieństwo do hormonu owadów przyspieszają przekształcanie się liściożernych larw w postaci dorosłe, które odżywiają się nektarem kwiatów.



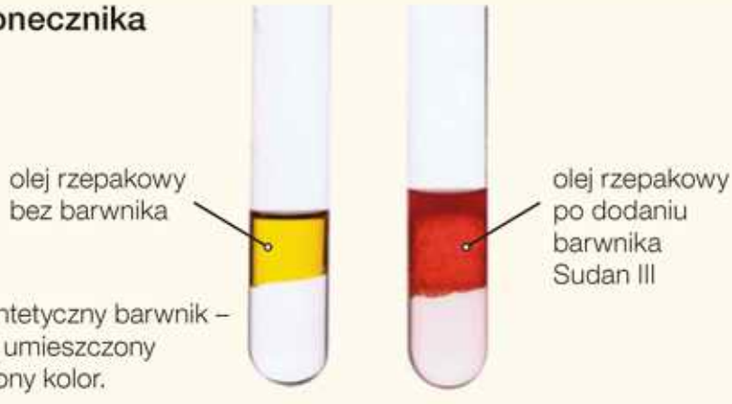
Larwy motyli, zwane również gąsienicami, wygryzają blaszki liściowe, co prowadzi do obumierania roślin.



Dorosłe osobniki motyli odżywiają się nektarem kwiatów, a przy okazji przenoszą ziarna pyłku.

Obserwacja lipidów w nasionach słonecznika

W jednej probówce umieść rozgniecione nasiona słonecznika (próba badawcza), a w drugiej – kroplę oleju roślinnego (próba kontrolna). Następnie dodaj do nich kilka kropli odczynnika Sudan III. Napisz, co zaobserwowałeś.



W próbie kontrolnej syntetyczny barwnik – Sudan III barwi tłuszcz umieszczony w probówce na czerwony kolor.

Obserwacja

Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij, dlaczego zwierzęta magazynują tłuszcze właściwe.
2. Porównaj budowę lipidów prostych i złożonych.
3. Wyjaśnij, dlaczego fosfolipidy tworzą w środowisku wodnym zamknięte pęcherzyki.
4. Wykaż związek między budową fosfolipidów i glikolipidów a ich ułożeniem w błonach komórkowych.
5. Podaj trzy funkcje cholesterolu w organizmach zwierzęcych.
6. Wyjaśnij, na czym polegają funkcje lipidów izoprenowych.

2.4. Aminokwasy. Budowa i funkcje białek

Zwróć uwagę na:
- budowę i poziomy struktury białek,
- funkcje białek w organizmie,
- białka proste i złożone,
- wpływ czynników fizykochemicznych na białko.

Białka są głównym składnikiem budulcowym komórek i tkanek oraz odgrywają kluczową rolę w ich metabolizmie. Choć największe z nich osiągają olbrzymie rozmiary, wszystkie białka składają się z niewielkich cząsteczek, zwanych aminokwasami.

Aminokwasy

Aminokwasy są zbudowane z węgla (C), wodoru (H), tlenu (O) i azotu (N). W skład niektórych z nich wchodzi również siarka (S), a wyjątkowo – inne pierwiastki. Cechą charakterystyczną aminokwasów jest obecność dwóch grup funkcyjnych – **zasadowej grupy aminowej** ($-NH_2$) oraz **kwasowej grupy karboksylowej** ($-COOH$). Dotychczas poznano około 300 różnych aminokwasów. Wśród nich wyróżnia się:

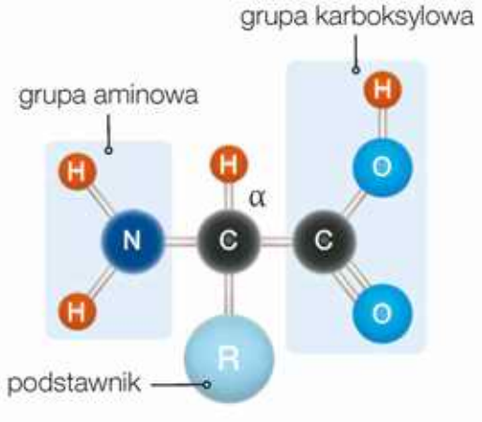
- **aminokwasy białkowe**, które w odpowiednich warunkach mogą się ze sobą łączyć; z takich połączeń tworzą się peptydy lub białka; do tej grupy należy 20 aminokwasów,
- **aminokwasy niebiałkowe**, które nie wchodzą w skład białek; do tej grupy należą pozostałe aminokwasy.

Aminokwasy niebiałkowe, mimo że nie wchodzą w skład białek, pełnią w organizmach ważne funkcje. Na przykład ornityna i cytrulina uczestniczą w wytwarzaniu mocznika, a kwas γ-aminomasłowy (kwas gamma-aminomasłowy, w skrócie GABA) jest neuroprzekaźnikiem w układzie nerwowym.

Każdy aminokwas ma określoną nazwę chemiczną, a często również nazwę zwyczajową. Nazwa zwyczajowa aminokwasu pochodzi zwykle od nazwy materiału, z którego wyizolowano go po raz pierwszy, np. aminokwas białkowy – asparaginę wyizolowano ze szparagów o łacińskiej nazwie *Asparagus*. Aminokwasy mają również trzyliterowe kody, które są skrótami ich angielskich nazw – kod asparaginy to Asn. Pochodzi on od angielskiej nazwy aminokwasu – „asparagine".

Budowa aminokwasów białkowych

Wszystkie aminokwasy białkowe mają wspólną cechę budowy – ich grupa aminowa jest połączona z atomem węgla, który znajduje się bezpośrednio przy grupie karboksylowej. Taki atom węgla nazywamy atomem **węgla α** (alfa), a aminokwasy zbudowane w ten sposób – **α-aminokwasami**. Z atomem węgla α są również połączone atom wodoru oraz **podstawnik**, określany symbolem R. Podstawnik może być pojedynczym atomem wodoru, łańcuchem lub pierścieniem. W obrębie podstawnika mogą się znajdować dodatkowe grupy funkcyjne, m.in. grupy karboksylowe, aminowe lub tiolowe (–SH).



W α-aminokwasie centralnie usytuowany atom węgla α jest połączony kowalencyjnie z grupami aminową i karboksylową oraz z atomem wodoru i podstawnikiem.

Właściwości aminokwasów białkowych

Właściwości aminokwasów białkowych wynikają z ich budowy chemicznej, a konkretnie z obecności dwóch grup funkcyjnych oraz podstawnika.

Grupy funkcyjne nadają aminokwasom charakter kwasowo-zasadowy

Aminokwasy są związkami kwasowo-zasadowymi, ponieważ mają zarówno grupę karboksylową, jak i grupę aminową. Grupa karboksylowa ma charakter kwasowy, co oznacza, że może oddawać proton (H^+), a grupa aminowa ma charakter zasadowy, co oznacza, że może przyjmować proton (H^+). Dzięki temu, w zależności od pH środowiska, aminokwasy mogą tworzyć trzy rodzaje jonów:

- **jony obojnacze**, w których obie grupy – karboksylowa i aminowa – są zjonizowane,
- **kationy**, w których tylko grupa aminowa jest zjonizowana,
- **aniony**, w których tylko grupa karboksylowa jest zjonizowana.

Zarówno cytozol komórki, jak i płyny ustrojowe mają odczyn zbliżony do obojętnego, dlatego większość wolnych aminokwasów występuje w nich w formie jonów obojnaczych. Jony te pełnią m.in. **funkcję buforującą** – utrzymują stałe pH środowiska. Kiedy ulega ono zakwaszeniu, jony obojnacze przechodzą w kationy, a kiedy alkalizacji – w aniony.

Podstawniki nadają aminokwasom charakterystyczne właściwości

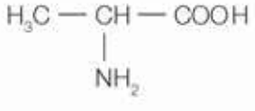
Każdy z 20 rodzajów aminokwasów białkowych ma inne właściwości, które wynikają z odmiennej budowy chemicznej podstawników. W obrębie podstawników mogą się znajdować np. dodatkowe grupy karboksylowe lub aminowe, które nadają aminokwasom odpowiednio charakter **kwasowy** lub **zasadowy**. Struktura podstawnika ma również wpływ na rozpuszczalność danego aminokwasu w wodzie, dlatego związki te możemy podzielić na rozpuszczalne w wodzie, czyli **hydrofilowe** i nierozpuszczalne w wodzie, czyli **hydrofobowe**.

Dowiedz się więcej

Jak określić postać jonową aminokwasu?

Aby określić, w jakiej postaci jonowej występuje dany aminokwas w roztworze o określonym pH, musisz skorzystać z tablicy aminokwasów białkowych (patrz s. 230–231). Zostały w niej podane wartości punktu izoelektrycznego (pI) aminokwasów. Są to wartości pH środowiska, przy których dany aminokwas występuje w postaci jonu obojnaczego. W środowisku o pH niższym niż pI aminokwas występuje w formie kationowej, a w środowisku o pH wyższym niż pI – w formie anionowej. Poniżej przedstawiono mechanizm tworzenia jonów na przykładzie alaniny (pI = 6,11).

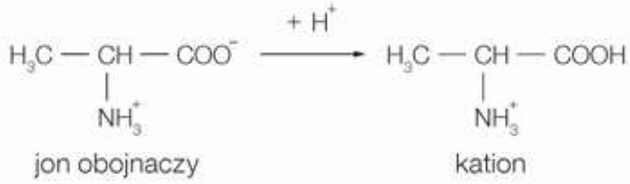
- W stanie bezwodnym – krystalicznym, alanina ma postać obojętnej cząsteczki.



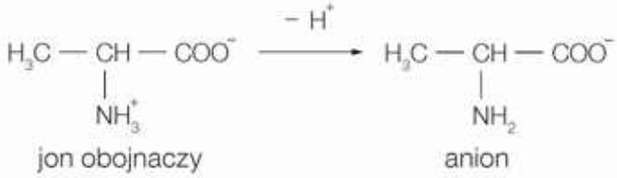
- W pH = 6,11 alanina ma postać jonu obojnaczego.



- W pH < 6,11 alanina ma postać kationu.



- W pH > 6,11 alanina ma postać anionu.



Dowiedz się więcej

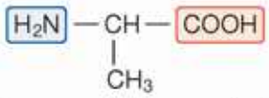
Rodzaje aminokwasów

Ze względu na budowę i właściwości podstawników, aminokwasy możemy podzielić na obojętne, kwasowe i zasadowe oraz na hydrofilowe i hydrofobowe.

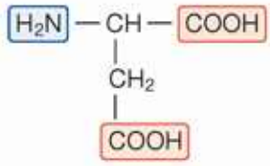
Aminokwasy obojętne, kwasowe i zasadowe

Aminokwasy różnią się od siebie ładunkiem elektrycznym, o którym decyduje głównie liczba grup karboksylowych i aminowych znajdujących się w ich cząsteczkach.

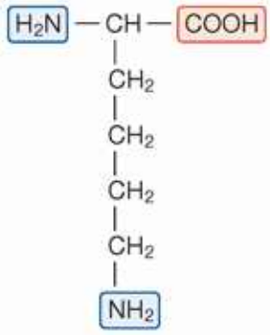
- **Aminokwasy obojętne** mają jedną grupę karboksylową i jedną grupę aminową. Należy do nich większość aminokwasów białkowych. W warunkach fizjologicznych związki te występują w postaci jonów obojnaczych, których ładunki dodatnie i ujemne się równoważą.
- **Aminokwasy kwasowe** mają dodatkowe grupy karboksylowe zlokalizowane w obrębie podstawnika. Należą do nich kwas asparaginowy i kwas glutaminowy. W warunkach fizjologicznych aminokwasy te występują w postaci anionów, są więc naładowane ujemnie.
- **Aminokwasy zasadowe** mają dodatkowe grupy aminowe zlokalizowane w obrębie podstawnika. Należą do nich: lizyna, histydyna i arginina. W warunkach fizjologicznych aminokwasy zasadowe są naładowane dodatnio.



Alanina – aminokwas obojętny.



Kwas asparaginowy – aminokwas kwasowy.



Lizyna – aminokwas zasadowy.

Aminokwasy hydrofilowe i hydrofobowe

Aminokwasy różnią się od siebie powinowactwem do wody. Część z nich ma cząsteczki **polarne** o właściwościach **hydrofilowych**, a część – cząsteczki niepolarne o właściwościach **hydrofobowych**. Żeby odróżnić od siebie obie grupy związków, należy przeanalizować budowę ich podstawników. Aminokwasy hydrofobowe mają zwykle podstawniki zbudowane wyłącznie z węgla i wodoru. Oprócz związków z podstawnikami węglowodorowymi, do grupy aminokwasów hydrofobowych należą jeszcze tryptofan oraz metionina. Wszystkie pozostałe aminokwasy mają właściwości hydrofilowe.

Rodzaje aminokwasów	
hydrofilowe	**hydrofobowe**
• cysteina • seryna • kwas asparaginowy • kwas glutaminowy • glutamina • asparagina • lizyna • histydyna • arginina • tyrozyna • treonina	• glicyna • alanina • walina • fenyloalanina • leucyna • izoleucyna • prolina • tryptofan • metionina

Czerwonym kolorem oznaczono aminokwasy kwasowe, a niebieskim – aminokwasy zasadowe.

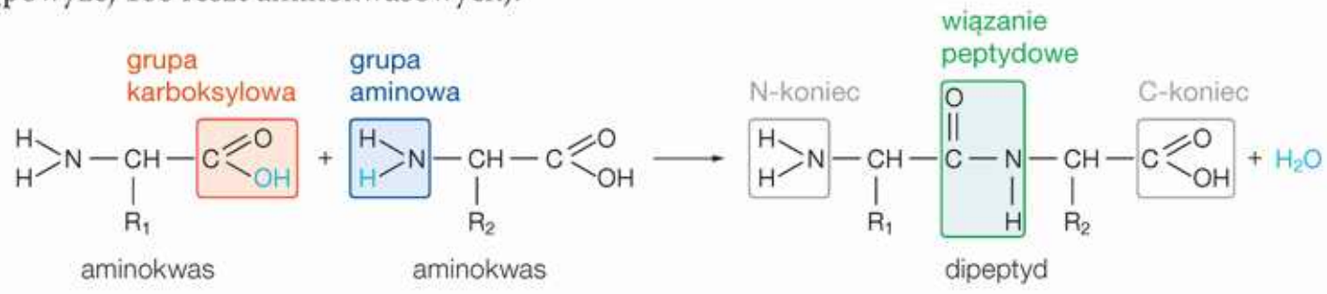
Wiązania peptydowe

Aminokwasy białkowe mogą się ze sobą łączyć **wiązaniami peptydowymi**, które należą do wiązań kowalencyjnych. W powstawaniu tych wiązań uczestniczy **grupa karboksylowa** jednego aminokwasu oraz **grupa aminowa** drugiego aminokwasu. W wyniku reakcji chemicznej powstaje łańcuch peptydowy. Na jednym jego końcu (N) znajduje się wolna grupa aminowa, a na drugim (C) – wolna grupa karboksylowa.

Tworzenie wiązań peptydowych wymaga nakładu energii i odbywa się na **rybosomach**. W zależności od tego, z ilu aminokwasów składa się łańcuch, wyróżnia się umownie:

- **peptydy**, zawierające od 2 do 50 aminokwasów,
- **białka** (polipeptydy), zawierające ponad 50 aminokwasów.

Uwaga: W wielu źródłach jest stosowany podział, w którym wyróżnia się oligopeptydy (2–10 reszt aminokwasowych), polipeptydy (11–100 reszt aminokwasowych) oraz białka (powyżej 100 reszt aminokwasowych).



Synteza łańcucha peptydowego jest reakcją kondensacji, podczas której powstają również cząsteczki wody.

Wykrywanie wiązań peptydowych – reakcja biuretowa

- **Problem badawczy:** Sformułuj problem badawczy.
- **Hipoteza:** Postaw hipotezę.
- **Przebieg doświadczenia**

  Próba badawcza – Probówka A – zawierająca roztwór białka jaja kurzego, roztwór NaOH o stężeniu 10%, roztwór $CuSO_4$ o stężeniu 1%.

  Próba kontrolna – Probówka B – zawierająca wodę destylowaną, roztwór NaOH o stężeniu 10%, roztwór $CuSO_4$ o stężeniu 1%.

  Przygotuj roztwór białka jaja kurzego. W tym celu rozcieńcz białko wodą destylowaną w proporcji 1:19.

  Do probówki A wlej ok. 2 cm^3 roztworu białka jaja kurzego, dodaj taką samą objętość roztworu NaOH o stężeniu 10% i kilka kropli roztworu $CuSO_4$ o stężeniu 1%.

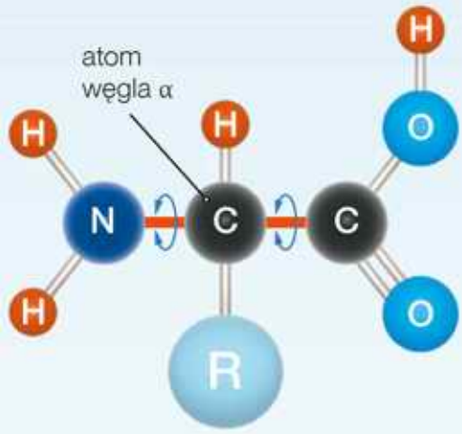
  Do probówki B wlej ok. 2 cm^3 wody destylowanej, dodaj taką samą objętość roztworu NaOH o stężeniu 10% i kilka kropli roztworu $CuSO_4$ o stężeniu 1%.
- **Wynik doświadczenia:** Zwróć uwagę na zmianę zabarwienia roztworu w jednej z probówek.
- **Wniosek:** Sformułuj wniosek.

Obserwacja

- **Wyjaśnienie:** Reakcja biuretowa jest charakterystyczna dla związków zawierających w cząsteczce co najmniej dwa wiązania peptydowe. W obecności tych związków roztwór zmienia barwę z niebieskiej, wynikającej z obecności jonów miedzi Cu^{2+}, na fioletową, wynikającą z powstawania związków kompleksowych białek z jonami miedzi(II). Intensywność barwy w reakcji biuretowej jest proporcjonalna do liczby wiązań peptydowych.

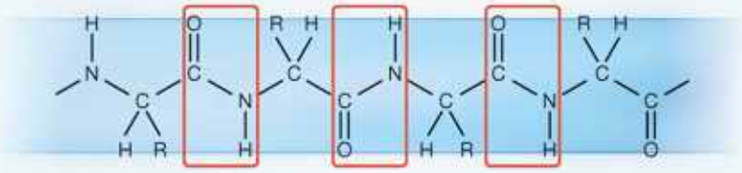
Poziomy organizacji białek

Wiązania peptydowe między kolejnymi aminokwasami w łańcuchu polipeptydowym są sztywne i płaskie. Jednak pomiędzy nimi znajdują się atomy węgla α, które tworzą wiązania (oznaczone na rysunku czerwonym kolorem), umożliwiające obroty łańcucha i jego swobodne układanie się w przestrzeni. Dzięki temu cząsteczki białek mogą przyjmować różne formy przestrzenne.



Struktura pierwszorzędowa

Struktura pierwszorzędowa zależy od liczby i kolejności (sekwencji) aminokwasów występujących w łańcuchu polipeptydowym. Informacja o liczbie i kolejności tych aminokwasów jest zapisana w materiale genetycznym. Strukturę pierwszorzędową utrzymują **wiązania peptydowe** (wiązania kowalencyjne) między sąsiadującymi aminokwasami, oznaczone na rysunku czerwonym kolorem.

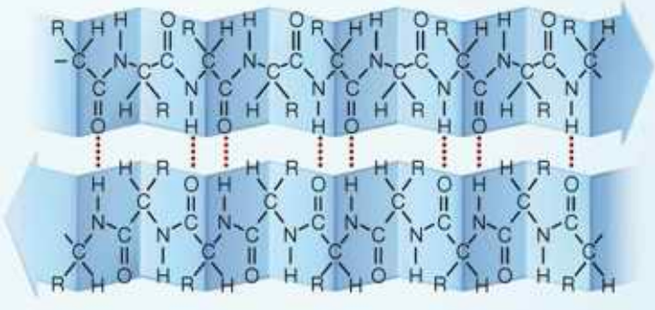


Struktura drugorzędowa

Strukturę drugorzędową stanowią łańcuchy polipeptydowe sfałdowane przestrzennie w α-helisę lub β-harmonijkę. Struktura ta powstaje na skutek wytwarzania się **wiązań wodorowych** (oznaczonych na rysunkach czerwonym kolorem) między atomami wodoru grup N–H a atomami tlenu grup C=O, które wchodzą w skład wiązań peptydowych.



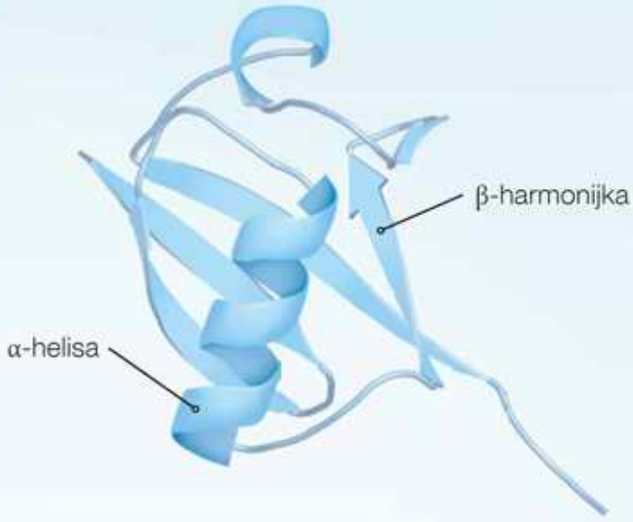
Struktura α-helisy powstaje przez prawoskrętne zwinięcie łańcucha polipeptydowego wokół osi. Co cztery aminokwasy grupy C=O i N–H układają się w odległości umożliwiającej powstanie wiązania wodorowego. Przykładem białka, w którym przeważa struktura α-helisy, jest keratyna.



Struktura β-harmonijki powstaje przez ułożenie łańcucha polipeptydowego na płaszczyźnie. Wiązania wodorowe znajdują się wówczas między grupami C=O i N–H oddalonymi od siebie w łańcuchu. Struktura tego typu występuje przeważnie w białkach zbudowanych z aminokwasów o niewielkich podstawnikach, np. w fibroinie wytwarzanej przez motyle nocne – jedwabniki.

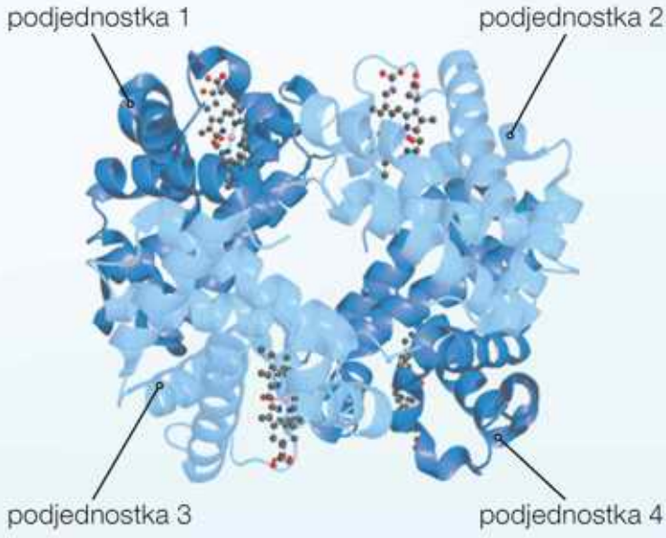
Struktura trzeciorzędowa

Struktura trzeciorzędowa powstaje w wyniku pofałdowania łańcucha polipeptydowego o strukturze drugorzędowej. Utrzymuje się ona dzięki **oddziaływaniom** występującym **między podstawnikami aminokwasów**. Każde białko charakteryzuje się właściwą sobie strukturą trzeciorzędową, która określa jego kształt i odpowiada za aktywność. Zniszczenie tej struktury powoduje utratę właściwości białka. Większość białek jest zbudowana zarówno z odcinków α-helisy, jak i β-harmonijki. Przykładem takiego związku jest ubikwityna. Opis funkcji, którą ubikwityna pełni w komórkach, znajduje się na s. 167.



Struktura czwartorzędowa

Struktura czwartorzędowa występuje w białkach zbudowanych z dwóch lub większej liczby podjednostek, czyli łańcuchów polipeptydowych o określonej strukturze trzeciorzędowej. Utrzymuje się ona dzięki **oddziaływaniom** występującym **między podstawnikami aminokwasów należących do oddzielnych łańcuchów polipeptydowych**. Przykładem białka o strukturze czwartorzędowej jest hemoglobina.

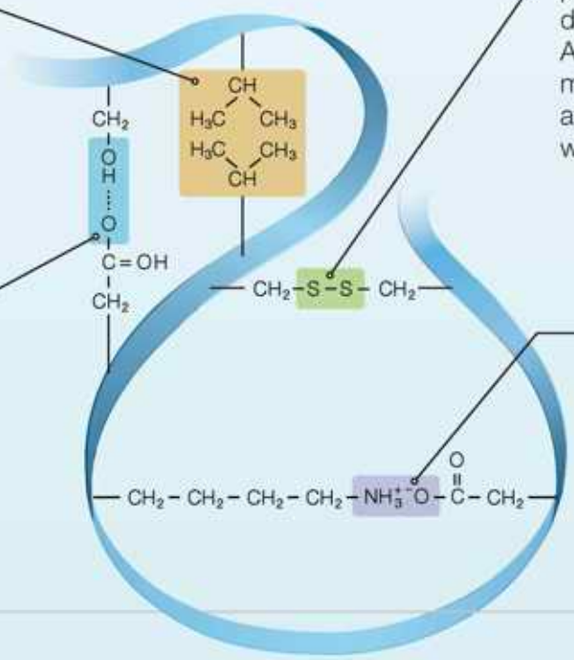


Rodzaje oddziaływań utrzymujących trzecio- i czwartorzędową strukturę białka

Struktury przestrzenne trzeciego i czwartego rzędu są stabilizowane przez: oddziaływania hydrofobowe, mostki dwusiarczkowe, wiązania jonowe, wiązania wodorowe oraz siły van der Waalsa.

Oddziaływania hydrofobowe powstają między podstawnikami aminokwasów hydrofobowych. Podstawniki te unikają kontaktu ze środowiskiem wodnym, dlatego spontanicznie zbliżają się do siebie i układają wewnątrz cząsteczki białka.

Wiązania wodorowe powstają między atomem wodoru jednego aminokwasu polarnego a atomem tlenu lub azotu innego aminokwasu polarnego.



Mostki dwusiarczkowe powstają między grupami –SH dwóch cząsteczek cysteiny. Atomy wodoru tych grup mogą się odłączać, a między atomami siarki tworzy się wiązanie kowalencyjne.

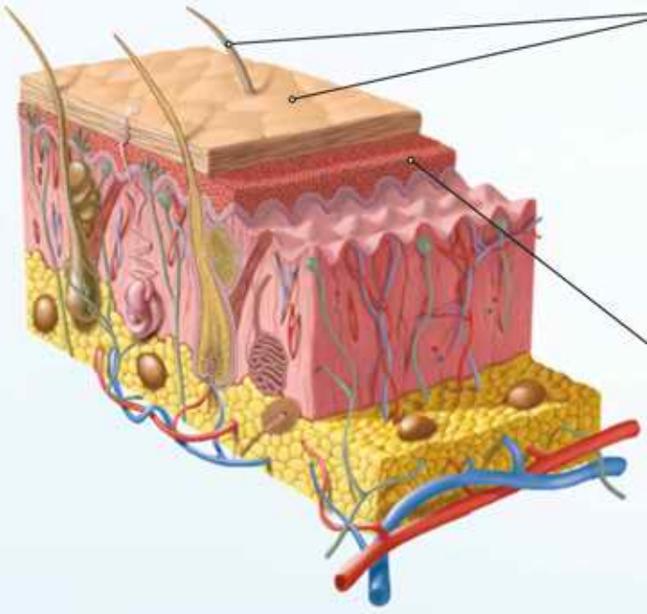
Wiązania jonowe powstają między grupami aminowymi aminokwasów zasadowych a grupami karboksylowymi aminokwasów kwasowych.

Wybrane białka organizmu człowieka

Białka ze względu na skład chemiczny można podzielić na białka proste, zbudowane wyłącznie z aminokwasów, oraz białka złożone, które oprócz aminokwasów zawierają również część niebiałkową. Białka wchodzą w skład komórek oraz substancji międzykomórkowej, gdzie pełnią różne funkcje, m.in. strukturalną, enzymatyczną, transportującą lub magazynującą.

Białka proste	Białka złożone
• są zbudowane wyłącznie z aminokwasów • przykłady: histony, keratyny, albuminy, globuliny	• są zbudowane z aminokwasów i części niebiałkowej • przykłady: mioglobina, fibrynogen, hemoglobina, kolagen

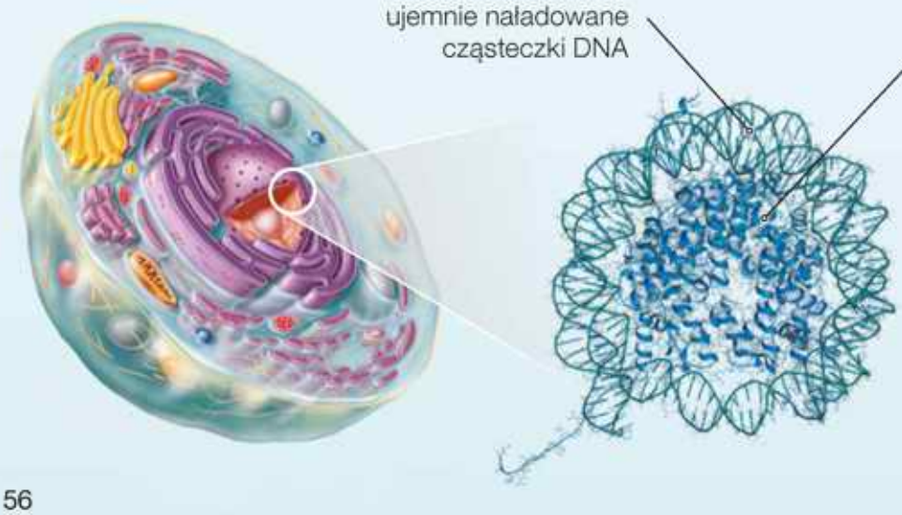




Keratyny to białka proste. Są składnikami skóry, włosów i paznokci. Dzięki dużej odporności na działanie czynników chemicznych i fizycznych pełnią funkcję ochronną.



Kolagen jest białkiem złożonym należącym do glikoprotein. W jego skład oprócz aminokwasów wchodzą reszty cukrowe. Kolagen jest składnikiem substancji międzykomórkowej tkanek łącznych, budujących m.in. skórę, kości i chrząstki. Dzięki dużej odporności na rozerwanie nadaje on tkankom wytrzymałość mechaniczną.

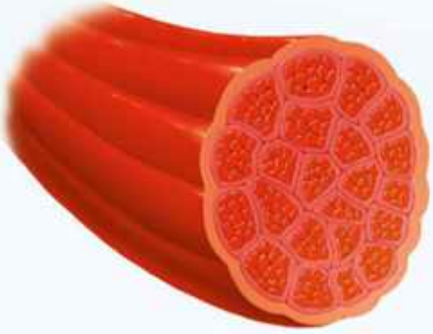


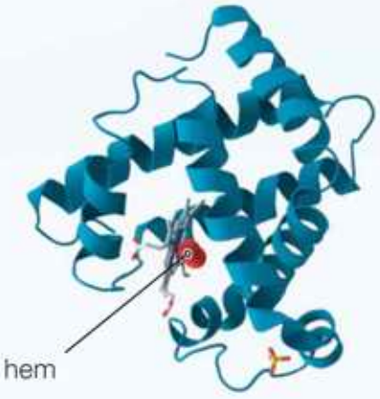
Histony są białkami prostymi. Występują w jądrze komórkowym, gdzie wraz z DNA tworzą chromatynę. Histony należą do białek zasadowych o dodatnim ładunku elektrycznym. Dzięki temu tworzą wiązania jonowe z ujemnie naładowanymi cząsteczkami DNA.





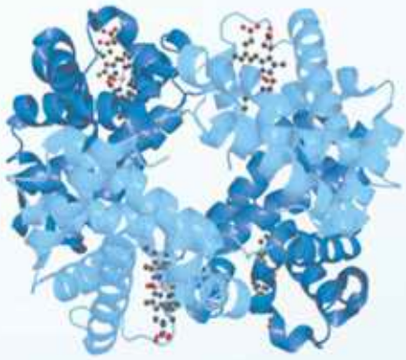
Fibrynogen jest białkiem złożonym należącym do glikoprotein. W jego skład oprócz aminokwasów wchodzą reszty cukrowe. Fibrynogen jest również składnikiem osocza krwi. Powstaje z niego fibryna, która uczestniczy w procesie krzepnięcia krwi.



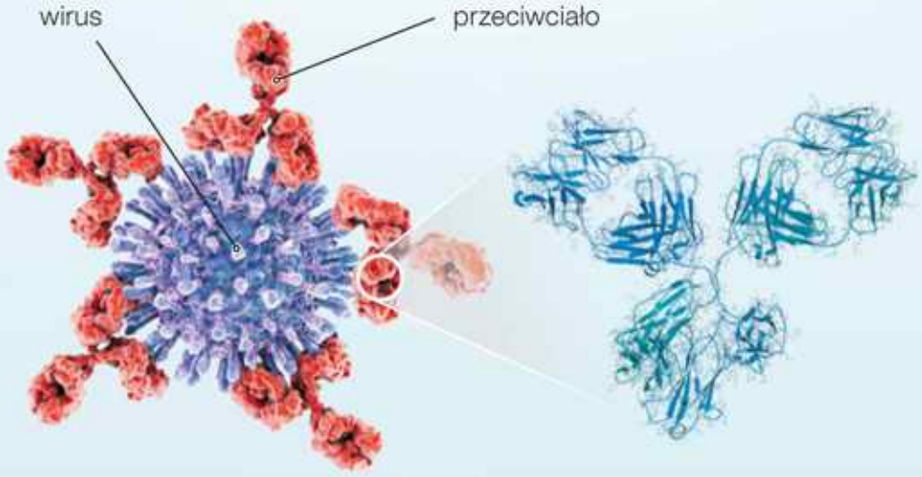


Mioglobina to białko złożone należące do hemoprotein. W jej skład oprócz aminokwasów wchodzi cząsteczka czerwonego barwnika – hemu. Mioglobina występuje w mięśniach. Jej funkcją jest magazynowanie tlenu.





Hemoglobina to białko złożone należące do hemoprotein. W jej skład oprócz aminokwasów wchodzą cząsteczki czerwonego barwnika – hemu. Hemoglobina występuje w erytrocytach i odpowiada za transport tlenu w organizmie.



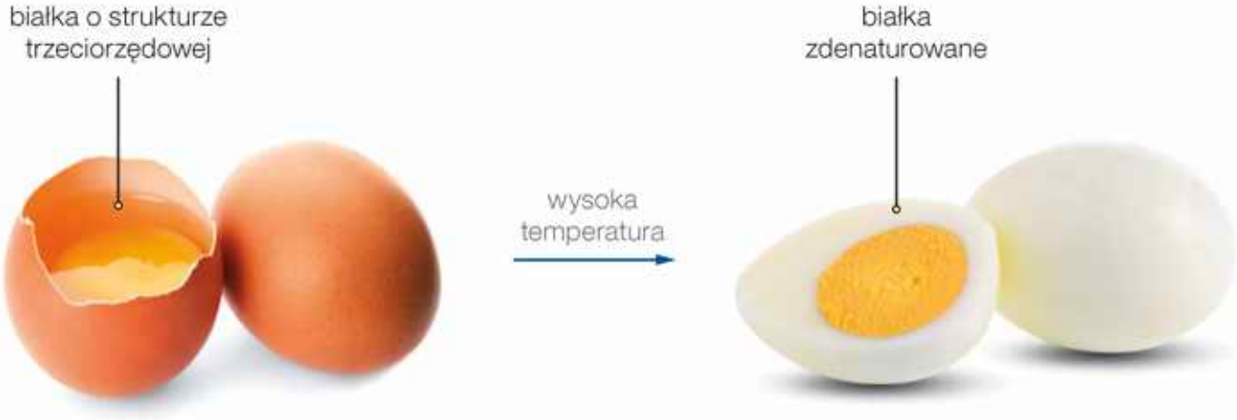
Globuliny są białkami prostymi. Do globulin należą m.in. przeciwciała występujące w osoczu krwi. Przeciwciała biorą udział w procesach odpornościowych organizmu.

Wpływ wybranych czynników fizykochemicznych na białka

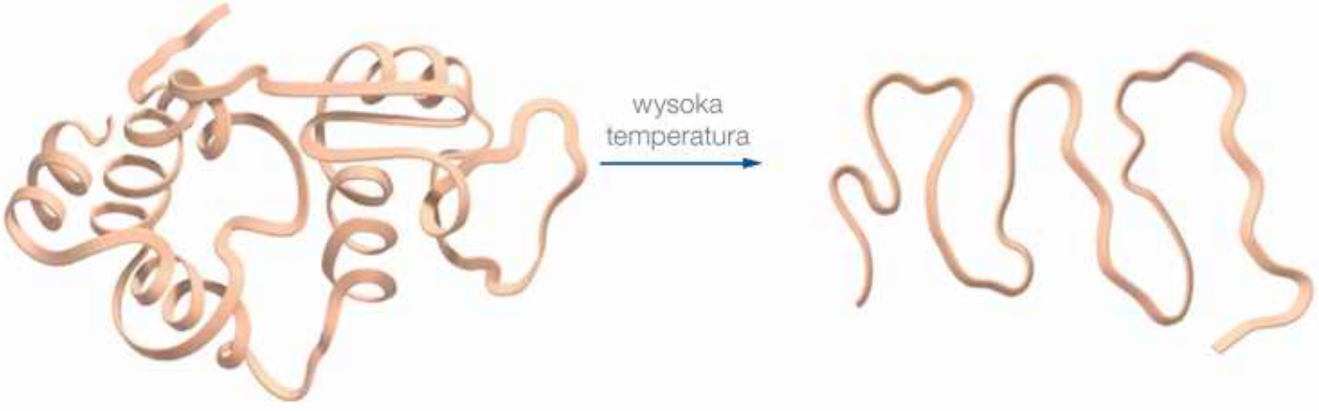
Większość białek rozpuszcza się w wodzie i tworzy z nią **roztwór koloidalny**. W takim roztworze cząsteczki białka są otoczone cząsteczkami wody. Otoczka wodna zapobiega agregacji białek, czyli ich łączeniu się w większe grupy i wytrącaniu z roztworu w postaci osadu. Po dodaniu soli metali lekkich, np. NaCl, do roztworu białka zachodzi **koagulacja** białka, zwana **wysalaniem**. Polega ona na odwodnieniu białka i jego agregacji (łączeniu się), co skutkuje powstaniem osadu. Wysalanie jest procesem **odwracalnym**, gdyż nie narusza struktury przestrzennej białek. Osad białka po dodaniu wody rozpuszcza się i przechodzi ponownie w koloid. Do naruszenia struktury białek, czyli **denaturacji**, dochodzi pod wpływem **czynników fizycznych** (np. temperatury powyżej 40°C) lub **chemicznych** (np. stężonych kwasów i zasad, alkoholi lub soli metali ciężkich). Zostają wtedy zerwane wiązania stabilizujące strukturę przestrzenną białek (II, III i IV-rzędową), a białko traci właściwości biologiczne. Denaturacja może być nieodwracalna lub odwracalna – kiedy czynnik denaturujący zostanie usunięty, wiele białek ulega **renaturacji**, czyli wraca do formy wyjściowej.

Denaturacja białka

Białka obecne w surowych jajkach charakteryzują się strukturą trzeciorzędową i są aktywne metabolicznie. Podczas gotowania lub smażenia jajek zachodzi denaturacja, która polega na rozfałdowaniu białek. Zniszczeniu ulega wówczas struktura trzeciorzędowa, a często również drugorzędowa. Rozfałdowane białka są nieaktywne metabolicznie.



Model struktury białka. **Model struktury białka po denaturacji.**



Doświadczenie

Badanie wpływu różnych substancji i wysokiej temperatury na mieszaninę białka z wodą

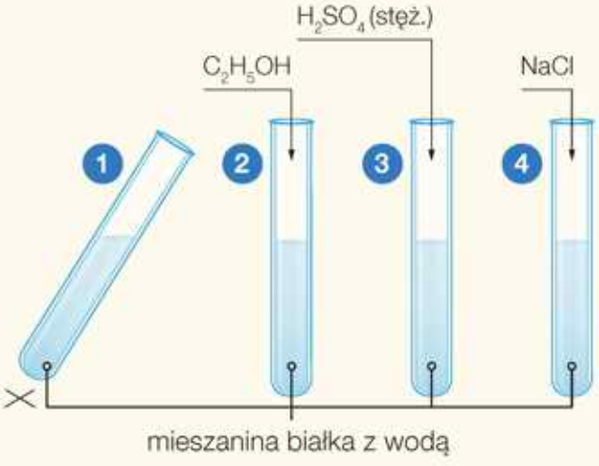
- **Problem badawczy:** Sformułuj problem badawczy.
- **Hipoteza:** Postaw hipotezę.
- **Przebieg doświadczenia**

Próba badawcza: Cztery probówki (1–4) zawierające roztwór białka jaja kurzego; pierwsza probówka podgrzana w płomieniu palnika; do trzech pozostałych dodane odpowiednio: alkohol etylowy, kwas siarkowy(VI) oraz chlorek sodu.

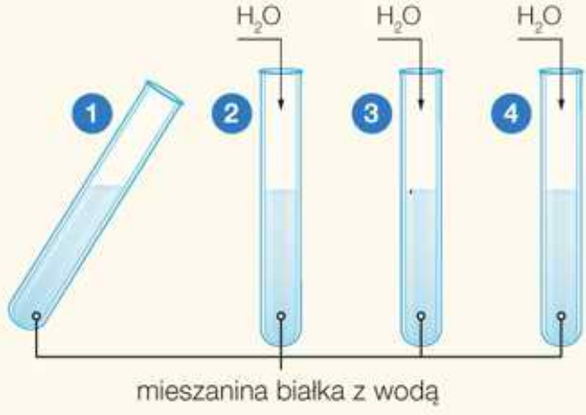
Próba kontrolna: Cztery probówki (1–4) zawierające roztwór białka jaja kurzego; pierwsza probówka pozostawiona w temperaturze pokojowej; do trzech pozostałych dodana woda destylowana. Objętość wody destylowanej dodanej do każdej probówki w próbach kontrolnych powinna odpowiadać objętości odczynnika dodanego w analogicznej próbie badawczej.

Przygotuj próby badawcze zgodnie z przedstawionym rysunkiem. Do czterech probówek wlej po ok. 3 cm^3 mieszaniny białka jaja z wodą. Probówkę 1. ogrzej w płomieniu palnika. Do pozostałych probówek dodaj po kilka kropli roztworów: do probówki 2. – etanolu, 3. – stężonego kwasu siarkowego(VI), 4. – stężonego chlorku sodu (soli kuchennej). Po kilku minutach do każdej probówki dodaj po ok. 10 cm^3 wody destylowanej i wymieszaj ich zawartość. W podobny sposób przygotuj próby kontrolne. Jednak zamiast ogrzewania próbówki 1. – pozostaw ją w temperaturze pokojowej. Do probówek 2.–4. zamiast kolejnych odczynników (etanolu, stężonego kwasu siarkowego(VI), stężonego chlorku sodu) nalej taką samą objętość wody destylowanej.

Sposób przygotowania prób badawczych



Sposób przygotowania prób kontrolnych



- **Wynik doświadczenia:** Zaobserwuj zmiany, które zaszły w próbach badawczych po poddaniu ich działaniu temperatury oraz związków chemicznych. Następnie zaobserwuj zmiany, które zaszły po dodaniu do każdej próby 10 cm^3 wody destylowanej.
- **Wniosek:** Sformułuj wniosek.
- **Wyjaśnienie:** Pod wpływem wysokiej temperatury, alkoholi i stężonych kwasów zachodzi denaturacja (ścinanie się) białka. Natomiast pod wpływem chlorku sodu zachodzi wysalanie białka, czyli jego wytrącanie się z roztworu. Pod wpływem wody osad wysolonego białka się rozpuszcza, a zdenaturowanego – nie.

Samouczek

Jak korzystać z tablic aminokwasów białkowych?

Tablice aminokwasów białkowych zawierają ważne informacje, które mogą być przydatne podczas wykonywania zadań. Poniżej przedstawiono fragment takiej tablicy*.

Nazwy aminokwasów są zwykle używane w opisach.

Wzory półstrukturalne aminokwasów określają ich budowę chemiczną.

Kody to trzyliterowe skróty angielskich nazw aminokwasów. Są one stosowane do zapisywania sekwencji łańcuchów peptydowych.

pI (punkty izoelektryczne) aminokwasów są to wartości pH roztworu, w których aminokwasy występują w postaci jonów obojnaczych.

Wybrane aminokwasy białkowe

nazwa aminokwasu	wzór	kod	pI
Glicyna	H_2N-CH_2-COOH	Gly	6,06
Alanina	$H_2N-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{\vert}{CH}}-COOH$	Ala	6,11
Cysteina	$H_2N-\underset{\displaystyle CH_2-SH}{\underset{\vert}{CH}}-COOH$	Cys	5,05
Seryna	$H_2N-\underset{\displaystyle CH_2-OH}{\underset{\vert}{CH}}-COOH$	Ser	5,68

* Wzory i nazwy wszystkich aminokwasów białkowych znajdują się na s. 230 i 231.

Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij, jaki wpływ na właściwości aminokwasów mają podstawniki.
2. Uzasadnij, że białka są związkami o szczególnym znaczeniu dla organizmów.
3. Porównaj strukturę trzeciorzędową i czwartorzędową białek.
4. W komórkach organizmów występuje tripeptyd – glutation o następującym wzorze półstrukturalnym:

$$H_2N-\underset{\displaystyle COOH}{\underset{\vert}{\overset{\displaystyle H}{\overset{\vert}{C}}}}-CH_2-CH_2-CO-NH-\underset{\displaystyle CH_2-SH}{\underset{\vert}{\overset{\displaystyle H}{\overset{\vert}{C}}}}-CO-NH-CH_2-COOH$$

a. We wzorze glutationu zaznacz i podpisz wiązania peptydowe. Wykorzystaj informacje zamieszczone na s. 230 i 231.

b. Zapisz sekwencję glutationu przy użyciu trzyliterowych kodów aminokwasów.

2.5. Budowa i funkcje nukleotydów oraz kwasów nukleinowych

Zwróć uwagę na:
- budowę i funkcje nukleotydów,
- budowę kwasów nukleinowych oraz ich rolę w procesach dziedziczenia.

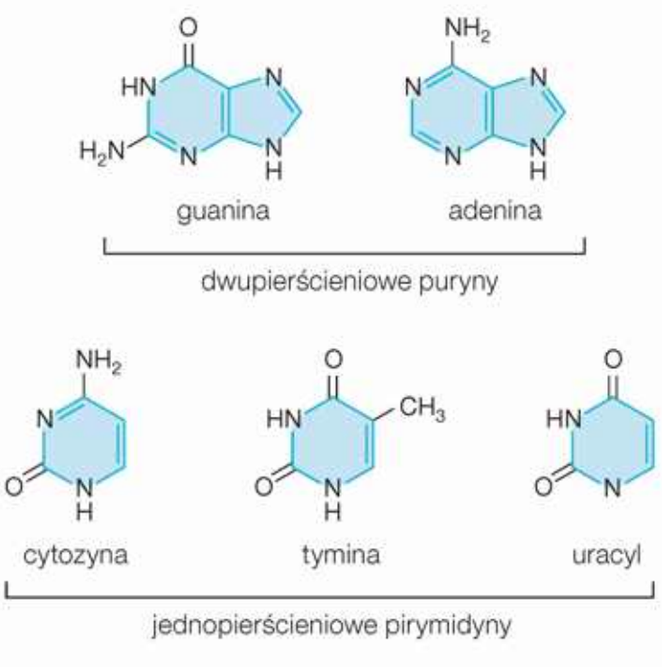
W organizmach występują dwa kwasy nukleinowe – kwas deoksyrybonukleinowy (DNA) oraz kwas rybonukleinowy (RNA). DNA jest nośnikiem informacji genetycznej u wszystkich organizmów oraz części wirusów. U pozostałych wirusów materiałem genetycznym jest RNA. Jednak główną funkcją RNA jest udział w odczytywaniu informacji genetycznej zawartej w DNA, m.in. poprzez udział w syntezie białek. Oba kwasy nukleinowe – DNA i RNA – są polimerami zbudowanymi z monomerów, które nazywamy nukleotydami.

Budowa i funkcje nukleotydów

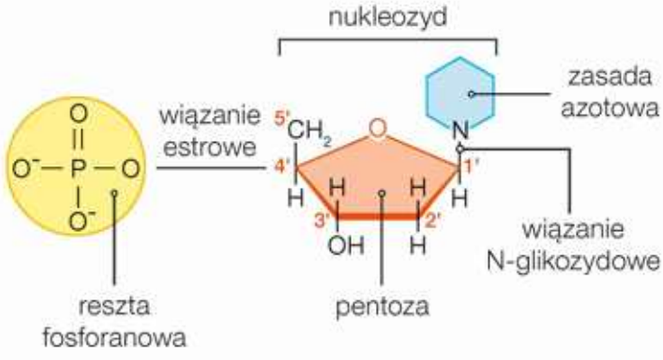
W skład nukleotydów wchodzi pięć pierwiastków chemicznych: węgiel (C), wodór (H), tlen (O), azot (N) i fosfor (P). Każdy nukleotyd jest zbudowany z następujących elementów:

- pięciowęglowego cukru – **rybozy** lub **deoksyrybozy**,
- jednej z pięciu **zasad azotowych**: guaniny (G), adeniny (A), cytozyny (C), tyminy (T) lub uracylu (U),
- od jednej do trzech reszt **fosforanowych(V)**.

Połączenie pięciowęglowego cukru z zasadą azotową nazywamy **nukleozydem**. Można więc powiedzieć, że nukleotyd składa się z nukleozydu oraz od jednej do trzech reszt fosforanowych(V).



Budowa zasad azotowych.

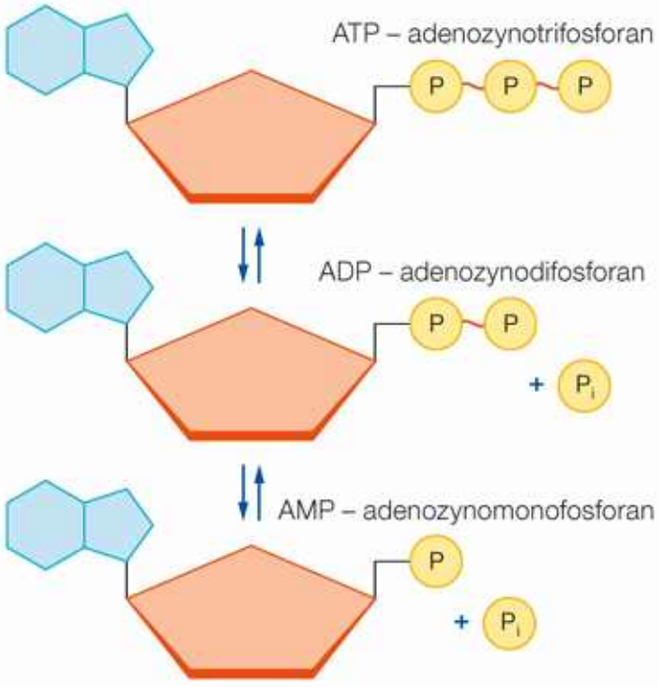


Budowa nukleotydu.

Rodzaje nukleotydów

W zależności od rodzaju cukru i zasad azotowych nukleotydy dzielimy na **rybonukleotydy** i **deoksyrybonukleotydy**. Rybonukleotydy zawierają w swoim składzie **rybozę** oraz jedną z czterech zasad azotowych: guaninę, adeninę, cytozynę lub **uracyl**. Oznacza się je za pomocą trzyliterowych skrótów, np. adenozynotrifosforan to ATP. Z kolei deoksyrybonukleotydy zawierają **deoksyrybozę** oraz jedną z czterech zasad azotowych: guaninę, adeninę, cytozynę lub **tyminę**. Oznacza się je czteroliterowymi skrótami, np. deoksyadenozynotrifosforan to dATP.

W zależności od liczby reszt fosforanowych(V) nukleotydy dzielimy na: **trifosforany**, **difosforany** i **monofosforany nukleozydów**.



Tri-, di- i monofosforany nukleozydów.

Mogą one wzajemnie w siebie przechodzić dzięki przyłączaniu lub odłączaniu reszt fosforanowych(V). Część z nich może tworzyć również formy pierścieniowe (cykliczne).

Funkcje nukleotydów

Nukleotydy wchodzą w skład **kwasów nukleinowych – DNA i RNA**. Mogą również występować w komórkach w stanie wolnym i pełnić wiele ważnych funkcji.

Wolne nukleotydy są:

- nośnikami energii chemicznej w komórkach (głównie ATP),
- aktywatorami różnych związków, m.in. enzymów.

Dinukleotydy

W komórkach, oprócz nukleotydów wolnych i budujących kwasy nukleinowe, występują również dinukleotydy. Cząsteczki dinukleotydów są zbudowane z dwóch połączonych ze sobą nukleotydów. W ich skład mogą wchodzić również inne elementy budulcowe, które są pochodnymi witamin z grupy B. Dinukleotydy pełnią funkcję **przenośników elektronów** w procesach metabolicznych.

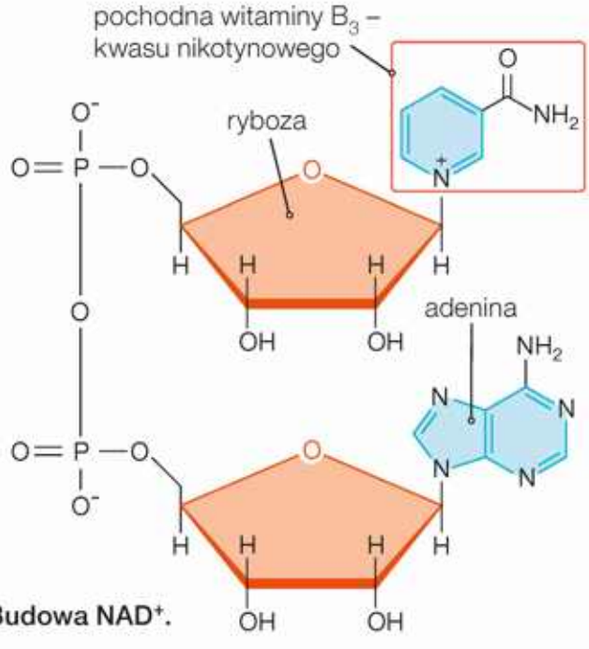
Do dinukleotydów należą:

- dinukleotyd nikotynoamidoadeninowy, w skrócie NAD^+ – jest zbudowany z dwóch nukleotydów, z których jeden zawiera pochodną kwasu nikotynowego (witaminy B_3),
- fosforan dinukleotydu nikotynoamidoadeninowego, w skrócie $NADP^+$ – oprócz elementów budujących NAD^+ zawiera dodatkową resztę fosforanową(V),
- dinukleotyd flawinoadeninowy, w skrócie FAD – oprócz dwóch nukleotydów występuje w nim pochodna ryboflawiny (witaminy B_2).

Dowiedz się więcej

Dinukleotydy a witaminy

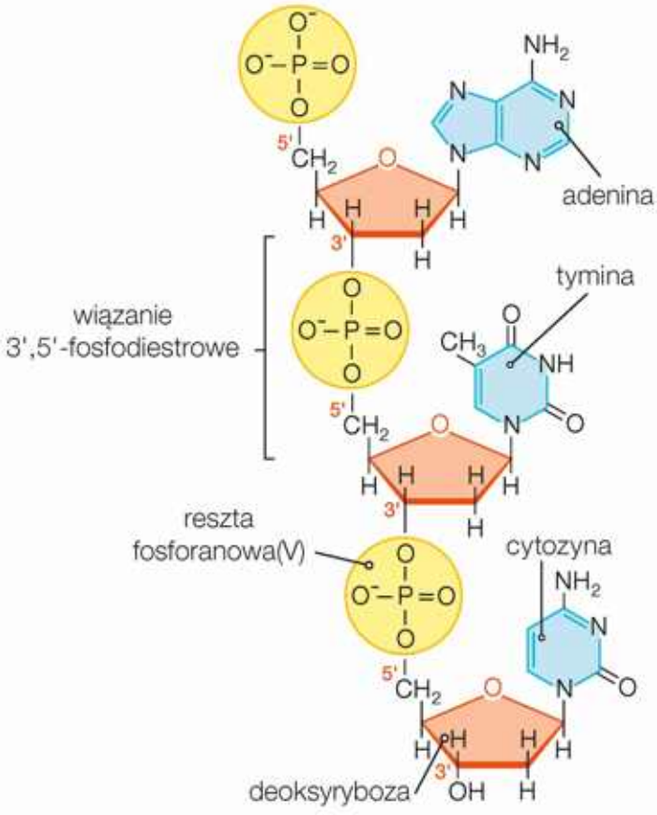
Dinukleotydy są niezbędne do przeprowadzania procesów metabolicznych, m.in. fotosyntezy ($NADP^+$) i oddychania (NAD^+ i FAD). Wiele organizmów, w tym wszystkie autotroficzne, potrafi samodzielnie syntetyzować te związki. Część zwierząt, w tym ssaki, do syntezy dinukleotydów potrzebuje dostarczenia witamin – kwasu nikotynowego (niacyny, witaminy B_3) oraz ryboflawiny (witaminy B_2). Dlatego niedobór tych witamin w diecie często skutkuje poważnymi zaburzeniami metabolizmu.



Budowa NAD^+.

Kwasy nukleinowe

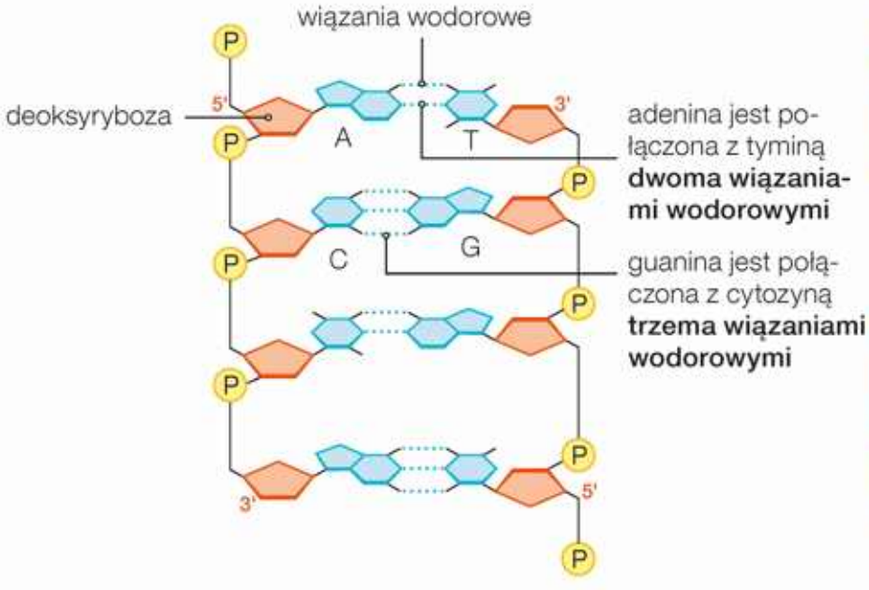
W komórkach występują dwa rodzaje kwasów nukleinowych: kwas deoksyrybonukleinowy – DNA – i kwas rybonukleinowy – RNA. Są one związkami o charakterze polimerów, zbudowanymi z nukleotydów. Nukleotydy łączą się ze sobą **wiązaniami 3',5'-fosfodiestrowymi**, które powstają między cukrem jednego nukleotydu a resztą fosforanową(V) następnego. W ten sposób tworzy się **łańcuch polinukleotydowy**, którego końce różnią się budową. Na końcu 5' znajduje się reszta fosforanowa(V), natomiast na końcu 3' występuje grupa hydroksylowa (–OH) cukru. Kolejność nukleotydów w łańcuchu polinukleotydowym nazywamy jego **sekwencją**. Zapisuje się ją od końca 5' i stosuje litery oznaczające rodzaje zasad azotowych, np. 5'-ATC-3', to fragment łańcucha polinukleotydowego przedstawionego obok graficznie.



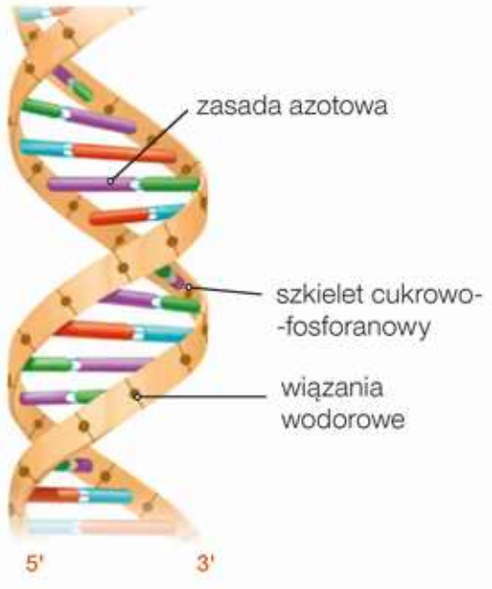
Fragment łańcucha polinukleotydowego.

Budowa DNA

Pojedynczy łańcuch DNA jest zbudowany z czterech rodzajów nukleotydów, które zawierają w swoim składzie deoksyrybozę i jedną z czterech zasad azotowych. Zasady występujące w DNA to: guanina (G), adenina (A), cytozyna (C) lub tymina (T).



DNA jest zwykle zbudowany z dwóch łańcuchów polinukleotydowych, połączonych ze sobą **wiązaniami wodorowymi**. Oba łańcuchy są względem siebie komplementarne: naprzeciwko adeniny zawsze występuje tymina, a naprzeciwko cytozyny – zawsze guanina. Stąd w dwuniciowej cząsteczce DNA liczba A = T, a liczba C = G.

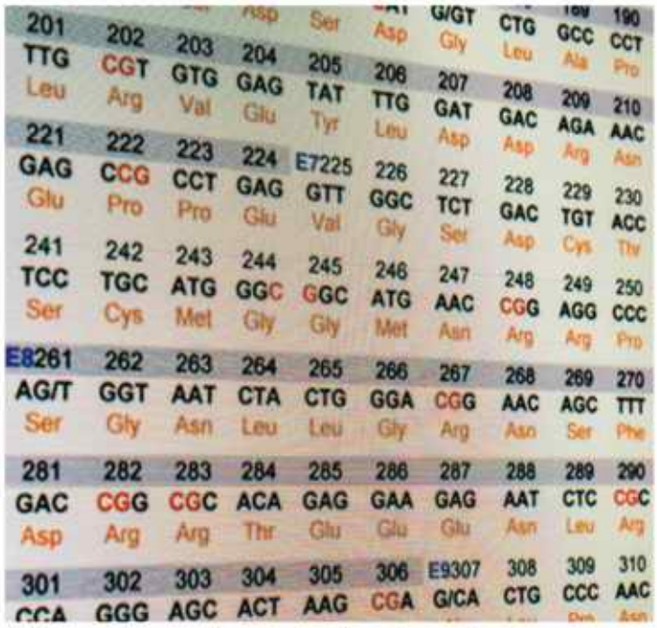


Cząsteczka DNA ma strukturę **podwójnej helisy**, ponieważ dwa łańcuchy polinukleotydowe są skręcone śrubowo wokół wspólnej osi. Helisa utrzymuje się głównie dzięki **wiązaniom wodorowym** występującym między zasadami azotowymi.

Funkcje DNA

Kwas deoksyrybonukleinowy jest **materiałem genetycznym** wszystkich organizmów oraz niektórych wirusów. Jego odcinki – **geny** – zawierają informacje dotyczące sposobu **syntezy białek lub cząsteczek RNA**, które warunkują cechy każdego organizmu. Cechy te są przekazywane z pokolenia na pokolenie, co oznacza, że DNA jest również **nośnikiem informacji genetycznej**, odpowiadającym za dziedziczenie cech.

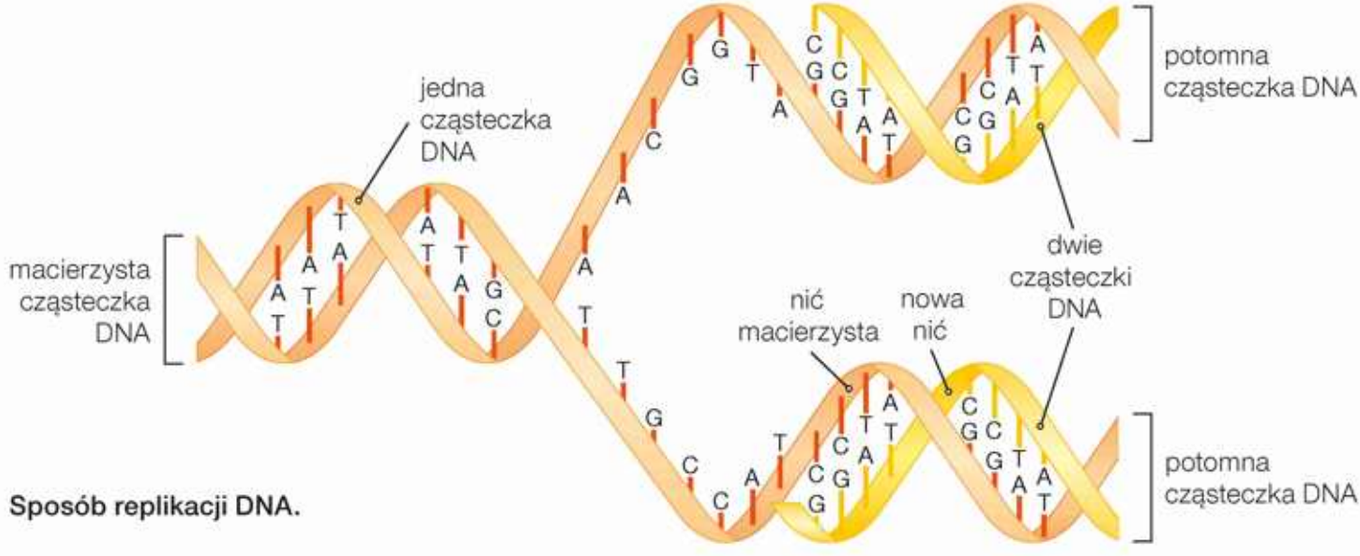
Informacja o cechach organizmu jest zapisana rodzajem „szyfru", który nazywamy **kodem genetycznym**. Jest on złożony z czterech liter – G, A, C, T/U, które oznaczają kolejne zasady azotowe w łańcuchu polinukleotydowym. Sekwencja nukleotydów wyznacza z kolei sekwencję aminokwasów w łańcuchu polipeptydowym, czyli warunkuje pierwszorzędową strukturę białka.



Informacja genetyczna jest zapisana kodem genetycznym. W kodzie tym trzy kolejne nukleotydy stanowią zapis jednego aminokwasu w łańcuchu polipeptydowym. Na przykład trzy nukleotydy o sekwencji GAC stanowią zapis kwasu asparaginowego (Asp).

Replikacja DNA

DNA ulega w organizmie replikacji, czyli powiela się i tworzy kopie. Komplementarność nici w cząsteczce DNA powoduje, że po rozpleceniu każda z nich może służyć jako matryca do syntezy nowej nici potomnej. Dzięki temu z jednej macierzystej cząsteczki DNA powstają dwie identyczne cząsteczki potomne. Replikacja DNA zachodzi przed każdym podziałem komórki. Dzięki temu organizmy mogą rosnąć i się rozmnażać.



Sposób replikacji DNA.

Budowa i funkcje RNA

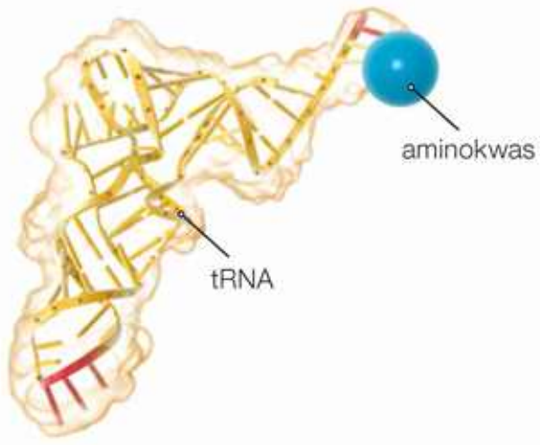
RNA jest zbudowany z czterech rodzajów nukleotydów. Każdy nukleotyd RNA zawiera cukier – **rybozę**, resztę fosforanową(V) i jedną z czterech zasad azotowych: guaninę (G), adeninę (A), cytozynę (C) lub **uracyl** (U).

W komórkach występuje kilka rodzajów RNA, które różnią się od siebie liczbą oraz sekwencją budujących je nukleotydów, a także budową przestrzenną i funkcjami. Trzy podstawowe rodzaje RNA, które występują u wszystkich organizmów, to:

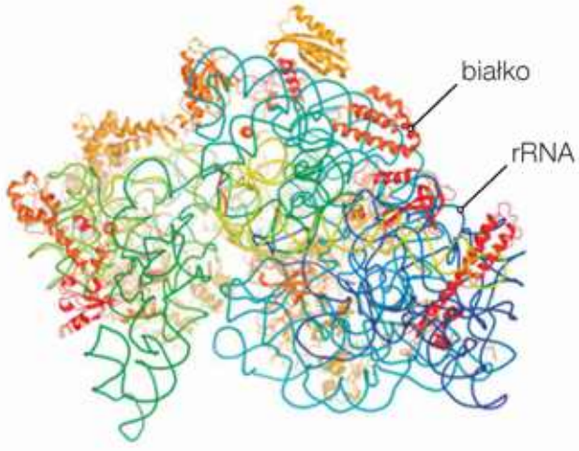
- **mRNA** – informacyjny RNA (ang. *messenger RNA*),
- **rRNA** – rybosomowy RNA (ang. *ribosomal RNA*),
- **tRNA** – transportujący RNA (ang. *transfer RNA*).

Cząsteczki mRNA są jednoniciowe. W cząsteczkach rRNA i tRNA mogą występować fragmenty dwuniciowe, powstałe na skutek łączenia się komplementarnych nukleotydów jednej nici. Fragmenty te wpływają na strukturę przestrzenną całej cząsteczki RNA.

Wszystkie powyższe rodzaje RNA uczestniczą w procesie **odczytywania informacji genetycznej**, który prowadzi do biosyntezy białek: mRNA przenosi informację genetyczną z jądra komórkowego do cytozolu, gdzie odbywa się synteza białek, rRNA – buduje rybosomy, a tRNA – transportuje aminokwasy do rybosomów oraz uczestniczy we włączaniu aminokwasów w łańcuch polipeptydowy. W komórkach są obecne także cząsteczki RNA, które pełnią inne funkcje, np. enzymatyczną lub regulatorową.



Struktura przestrzenna cząsteczki tRNA.



Podjednostki rybosomów są zbudowane z rRNA i białek.

Czy wiesz, że...

Obecnie uważa się, że RNA był pierwszym nośnikiem informacji genetycznej w okresie kształtowania się życia na Ziemi. Przemawia za tym fakt, że niektóre jego cząsteczki pełnią funkcję enzymatyczną.

Polecenia kontrolne

1. Podaj dwie funkcje wolnych nukleotydów w komórce.
2. Uzasadnij, że niedobór w diecie witamin z grupy B może prowadzić do poważnych zaburzeń metabolicznych.
3. Oblicz procentową zawartość adeniny w cząsteczce DNA przy założeniu, że cytozyna stanowi 18% wszystkich zasad azotowych tej cząsteczki.
4. Podaj sekwencję łańcucha DNA komplementarnego do łańcucha o sekwencji: 5'-GCCATCATCCTTACC-3'.
5. Wykaż związek między budową DNA a jego zdolnością replikacji.
6. Wyjaśnij, dlaczego DNA ulega powieleniu przed każdym podziałem komórki.
7. Wymień trzy różnice między DNA a RNA.

Podsumowanie

1 Pierwiastki chemiczne wchodzące w skład organizmów

Makroelementy – pierwiastki, których zawartość w suchej masie komórek wynosi 0,01% lub więcej.
Mikroelementy – pierwiastki, których zawartość w suchej masie komórek wynosi poniżej 0,01%.
Pierwiastki biogenne – pierwiastki, które stanowią główny składnik związków organicznych.

2 Znaczenie wybranych makro- i mikroelementów w organizmach

Nazwa i symbol pierwiastka			Wybrane funkcje pierwiastka w organizmie
Makroelementy	Pierwiastki biogenne	Węgiel (C)	• Są podstawowymi składnikami związków organicznych występujących w komórkach.
		Wodór (H)	
		Tlen (O)	
		Azot (N)	• Jest składnikiem aminokwasów, białek, nukleotydów i kwasów nukleinowych.
		Siarka (S)	• Jest składnikiem aminokwasów i białek.
		Fosfor (P)	• Jest składnikiem nukleotydów i kwasów nukleinowych.
		Wapń (Ca)	• Jest niezbędny do funkcjonowania komórek nerwowych i mięśniowych. • Bierze udział w procesie krzepnięcia krwi. • Jest składnikiem ściany komórkowej u roślin. • Jest składnikiem szkieletów zwierząt.
		Magnez (Mg)	• Jest aktywatorem wielu enzymów. • Uczestniczy w składaniu podjednostek rybosomów. • Jest składnikiem chlorofilu.
		Potas (K)	• Bierze udział w przewodzeniu impulsów nerwowych. • Jest ważnym składnikiem płynów ustrojowych. • U roślin jest aktywatorem wielu enzymów oraz wpływa na stopień uwodnienia komórek.
		Sód (Na)	• Bierze udział w przewodzeniu impulsów nerwowych. • Jest ważnym składnikiem płynów ustrojowych.
		Chlor (Cl)	• Odpowiada za równowagę wodno-mineralną. • Wchodzi w skład kwasu solnego – jednego z głównych składników soku żołądkowego.
Mikroelementy		Żelazo (Fe)	• Jest składnikiem białek złożonych, m.in. transportujących tlen (hemoglobina) lub magazynujących go (mioglobina). • Wchodzi w skład wielu enzymów, m.in. biorących udział w fotosyntezie i oddychaniu tlenowym.
		Jod (I)	• Stanowi składnik hormonów tarczycy.
		Miedź (Cu)	• Jest składnikiem wielu enzymów. • Stanowi składnik hemocyjaniny – barwnika, który pełni funkcję analogiczną do hemoglobiny.
		Kobalt (Co)	• Jest składnikiem witaminy B_{12}, która uczestniczy w wytwarzaniu elementów krwi oraz w biosyntezie kwasów nukleinowych i węglowodanów.
		Fluor (F)	• Wchodzi w skład szkliwa zębów.

3 Podstawowe związki chemiczne wchodzące w skład organizmów

Związki	
nieorganiczne	organiczne
• woda • sole mineralne	• sacharydy • lipidy • białka • kwasy nukleinowe

4 Biologiczne znaczenie wody

Cecha wody	Znaczenie biologiczne
Jest bezbarwna i przezroczysta, dlatego światło słoneczne może przez nią przenikać na duże głębokości.	Umożliwia to funkcjonowanie organizmów fotosyntetyzujących, które produkują tlen i pokarm dla kolejnych poziomów troficznych zbiorników wodnych.
Nie reaguje z większością związków organicznych, ale jest doskonałym rozpuszczalnikiem związków polarnych.	Dzięki temu tworzy idealne środowisko do przebiegu reakcji chemicznych.
Ma gęstość większą niż gęstość powietrza.	Umożliwia to utrzymywanie się w wodzie bardzo dużych organizmów, np. waleni.
Ma największą gęstość w temperaturze 4°C. Wraz ze spadkiem temperatury jej gęstość maleje, a objętość rośnie. W rezultacie lód jest lżejszy od wody i utrzymuje się na jej powierzchni, a głębsze warstwy wody pozostają niezamarznięte.	Umożliwia to organizmom wodnym przetrwanie zimy.
Charakteryzuje się dużą spójnością, czyli odpornością słupa wody na rozerwanie pod wpływem sił rozciągających.	Dzięki temu woda może być podnoszona w cienkich rurkach (kapilarach), np. w naczyniach roślin, na bardzo dużą wysokość.
Ma zdolność przylegania do powierzchni naładowanych elektrycznie.	Dzięki temu woda może przemieszczać się w cienkich rurkach (kapilarach), np. w naczyniach roślin, na bardzo dużą wysokość.
Charakteryzuje się wysokim napięciem powierzchniowym – przyciąganie się cząsteczek wody na granicy z powietrzem jest dużo silniejsze niż w głębi cieczy.	Dzięki temu na powierzchni wody powstaje cienka, sprężysta błonka, na której mogą się utrzymywać małe organizmy, np. niektóre owady.
Ma największe ciepło właściwe spośród wszystkich znanych substancji. Oznacza to, że aby podnieść temperaturę wody, należy dostarczyć jej znaczną ilość ciepła, natomiast aby obniżyć jej temperaturę, trzeba dużą ilość ciepła odebrać.	Dzięki temu woda zawarta w organizmie chroni go przed nagłymi zmianami temperatury otoczenia. Zapewnia również stabilne warunki życia organizmom wodnym.
Ma wysokie ciepło parowania, co oznacza, że trzeba dostarczyć znaczną ilość energii, aby zmienić jej stan skupienia z ciekłego na gazowy.	Dzięki temu woda pełni istotną funkcję w termoregulacji, np. niektóre ssaki wydzielają pot, który, parując, chroni organizm przed przegrzaniem.

5 Główne funkcje soli mineralnych:

- regulują stan uwodnienia komórek,
- aktywują enzymy,
- wpływają na procesy wymiany wody i innych substancji między komórką a jej otoczeniem,
- warunkują prawidłowy przebieg większości procesów fizjologicznych,
- stanowią fizjologiczne układy buforowe,
- budują szkielety zewnętrzne i wewnętrzne zwierząt.

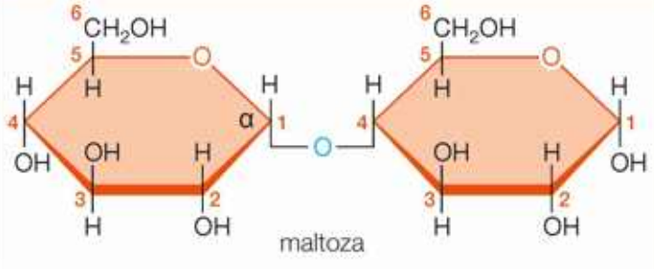
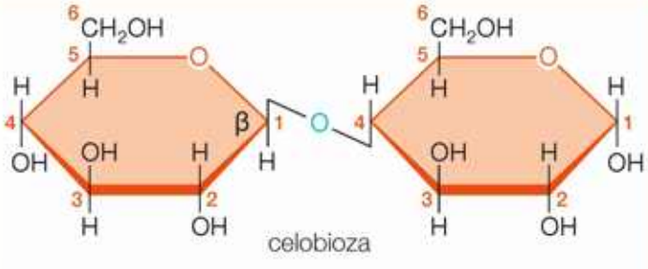
6 Sacharydy i ich podział

Sacharydy (cukry, węglowodany) – związki zbudowane głównie z C, H i O. Mają dwa rodzaje grup funkcyjnych – hydroksylową (–OH) i karbonylową: aldehydową (–CHO) lub ketonową (–CO–).

Porównywane cechy	Monosacharydy	Oligosacharydy	Polisacharydy
Budowa	Zawierają w cząsteczkach od trzech do ośmiu atomów węgla.	Zawierają w cząsteczkach od dwóch do dziesięciu reszt cukrów prostych.	Zawierają w cząsteczkach więcej niż dziesięć reszt cukrów prostych.
Przykłady i główne funkcje w organizmie	• glukoza, fruktoza – są głównym substratem energetycznym komórek • ryboza, deoksyryboza – są składnikami nukleotydów i kwasów nukleinowych • glukoza, fruktoza, galaktoza – są składnikami budulcowymi oligo- i polisacharydów	• sacharoza – jest substancją zapasową u roślin • laktoza – występuje w mleku, pełni funkcję odżywczą • maltoza – jest produktem enzymatycznego rozkładu skrobi	• skrobia – jest substancją zapasową głównie u roślin • glikogen – jest substancją zapasową u zwierząt i grzybów • celuloza – buduje ściany komórkowe głównie u roślin • chityna – buduje ściany komórkowe u grzybów i szkielety zewnętrzne u stawonogów

7 Główne rodzaje wiązań glikozydowych występujących w oligo- i polisacharydach

W zależności od formy anomerycznej monocukrów tworzących wiązanie wyróżniamy wiązania α- i β-glikozydowe.

Wiązania	
α-glikozydowe	**β-glikozydowe**
	
Przykłady cukrów: • laktoza • maltoza • skrobia • glikogen	Przykłady cukrów: • celuloza • chityna

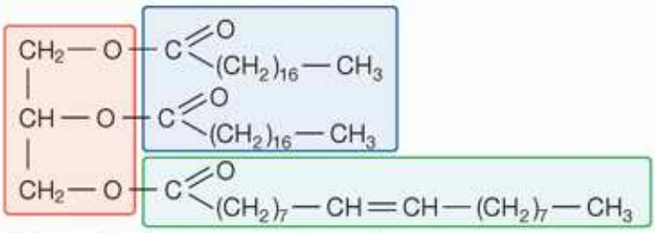
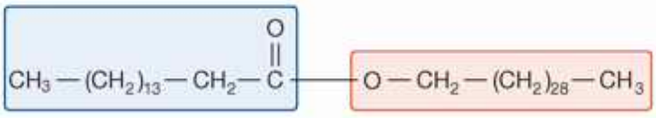
8 Lipidy i ich podział

Lipidy (tłuszczowce) – składają się zwykle z C, H i O. Cząsteczki lipidów są niepolarne, dlatego związki te są hydrofobowe, czyli nierozpuszczalne w wodzie.

Podział lipidów ze względu na budowę cząsteczki		
proste	**złożone**	**izoprenowe**
• tłuszcze właściwe • woski	• fosfolipidy • glikolipidy	• steroidy • karotenoidy

9 Lipidy proste i ich podział

Lipidy proste – estry alkoholi i kwasów tłuszczowych.

Lipidy proste	
tłuszcze właściwe (triglicerydy)	**woski**
Są estrami glicerolu i kwasów tłuszczowych.  Główne funkcje w organizmach: • zapasowa, • termoizolacyjna, • ochronna.	Są estrami kwasów tłuszczowych oraz alkoholi zawierających w cząsteczce jedną grupę hydroksylową.  Główne funkcje w organizmach: • ochronna, • budulcowa.

10 Lipidy złożone i ich podział

Lipidy złożone – estry alkoholi, m.in. glicerolu, i kwasów tłuszczowych, zawierające dodatkowe hydrofilowe grupy pochodzące z innych związków chemicznych.

Lipidy złożone	
fosfolipidy glicerolowe	**glikolipidy glicerolowe**
Glicerol jest zestryfikowany dwiema cząsteczkami kwasów tłuszczowych oraz jedną cząsteczką kwasu fosforowego(V). Reszta fosforanowa(V) łączy się z niewielkim nietłuszczowym związkiem polarnym, np. choliną.	Glicerol jest zestryfikowany dwiema cząsteczkami kwasów tłuszczowych. Trzecia grupa hydroksylowa glicerolu jest połączona wiązaniem glikozydowym z cząsteczką cukru, np. galaktozy.

11 Funkcje lipidów złożonych:

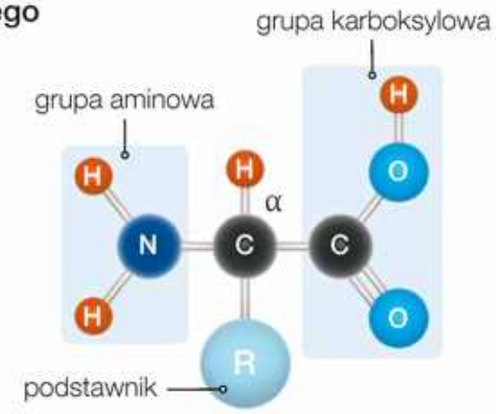
- są materiałem budulcowym błon biologicznych,
- glikolipidy wchodzą m.in. w skład powierzchniowej warstwy błony komórkowej.

12 Lipidy izoprenowe i ich podział

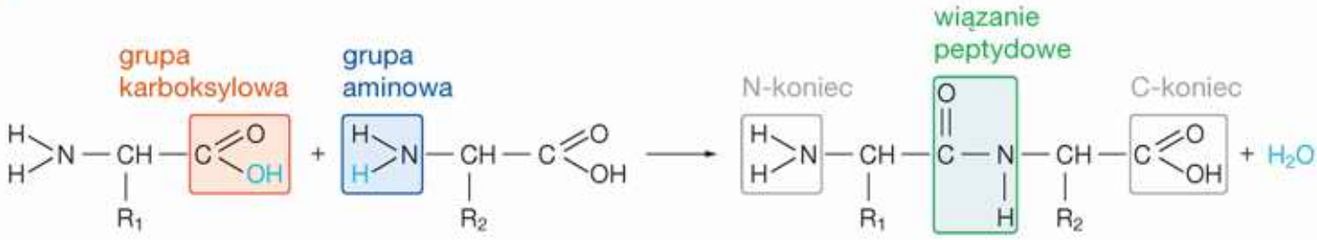
Lipidy izoprenowe – nie są estrami, ale zaliczamy je do tłuszczowców ze względu na hydrofobowość cząsteczek oraz dobrą rozpuszczalność w rozpuszczalnikach niepolarnych.

Lipidy izoprenowe	
karotenoidy	**steroidy**
• czerwone i pomarańczowe karoteny oraz żółte ksantofile • są produkowane w komórkach roślin • funkcje karotenoidów: biorą udział w fotosyntezie jako barwniki pomocnicze towarzyszące chlorofilom, chronią związki chemiczne wchodzące w skład chloroplastów przed szkodliwym działaniem ROS, przywabiają zwierzęta zapylające kwiaty i rozsiewające nasiona	• głównym steroidem zwierzęcym jest cholesterol • funkcje cholesterolu: usztywnia błony biologiczne, jest substancją wyjściową do syntezy m.in.: soli żółciowych, hormonów steroidowych i witaminy D • steroidy roślinne są budulcem błon biologicznych, pełnią funkcję hormonów oraz chronią rośliny przed roślinożercami

13 Budowa aminokwasu białkowego



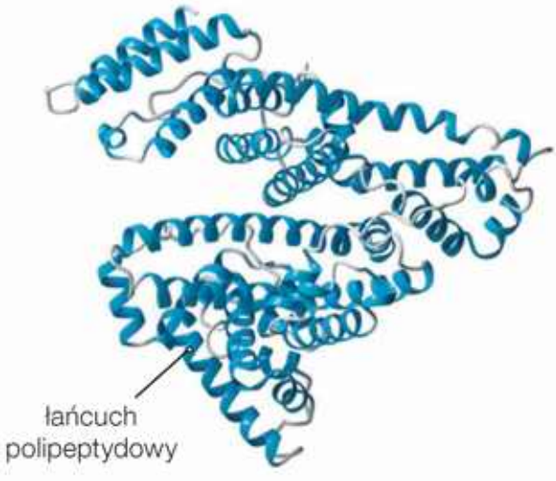
14 Wiązania peptydowe – wiązania kowalencyjne, które łączą aminokwasy w łańcuch peptydowy.



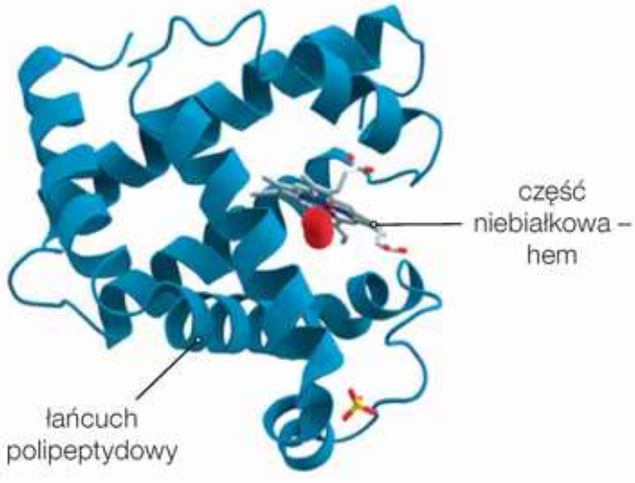
15 Białka i ich podział

Białka – wielkocząsteczkowe związki zbudowane z ponad 50 aminokwasów.

Białka	
proste	**złożone**
• są zbudowane wyłącznie z aminokwasów • przykłady: histony, keratyny, albuminy, globuliny	• są zbudowane z aminokwasów i części niebiałkowej • przykłady: mioglobina, fibrynogen, hemoglobina, kolagen

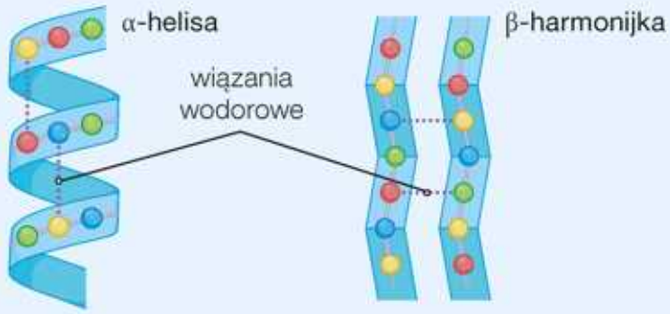
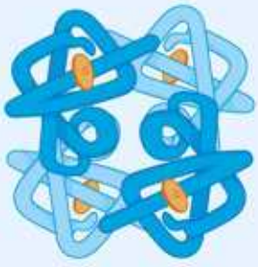


Białko proste (albumina osocza krwi).



Białko złożone (mioglobina).

16 Poziomy organizacji struktury białek

Struktura białka	Opis	Model cząsteczki i rodzaj oddziaływań stabilizujących	
pierwszorzędowa	określa liczbę i kolejność (sekwencję) aminokwasów w łańcuchu polipeptydowym		
drugorzędowa	określa układ przestrzenny łańcucha polipeptydowego o strukturze pierwszorzędowej		
trzeciorzędowa	opisuje układ przestrzenny zwiniętego łańcucha polipeptydowego o strukturze drugorzędowej		• wiązania jonowe • mostki dwusiarczkowe • wiązania wodorowe • oddziaływania hydrofobowe • siły van der Waalsa
czwartorzędowa	opisuje budowę przestrzenną białek złożonych z kilku łańcuchów polipeptydowych		• wiązania jonowe • mostki dwusiarczkowe • wiązania wodorowe • oddziaływania hydrofobowe • siły van der Waalsa

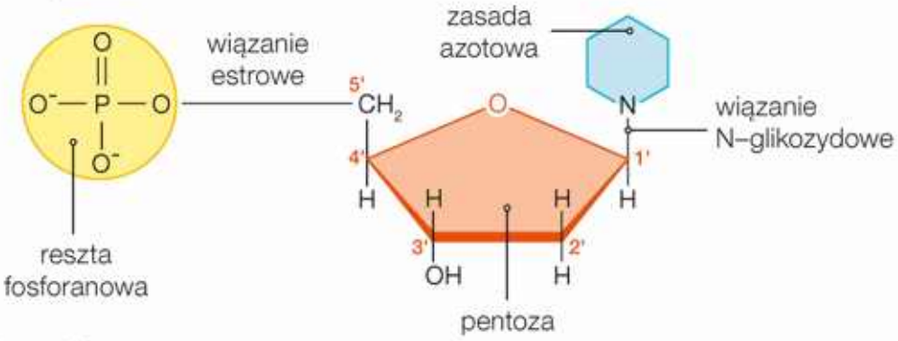
17 Wysalanie i denaturacja białek

Wysalanie – polega na odwodnieniu białka przez sole metali lekkich, np. NaCl, oraz jego agregacji, co skutkuje powstaniem osadu. Wysalanie jest procesem odwracalnym, gdyż nie narusza struktury przestrzennej białek. Osad białka po dodaniu wody rozpuszcza się i przechodzi ponownie w koloid.

Denaturacja – polega na zniszczeniu przestrzennej struktury białek przez czynniki denaturujące, np. temperaturę powyżej 40°C, stężone kwasy i zasady, alkohole lub sole metali ciężkich. W wyniku denaturacji białko traci właściwości biologiczne.



18 Budowa nukleotydu



19 Funkcje nukleotydów

- Są nośnikami energii chemicznej w komórkach, np. ATP.
- Wchodzą w skład dinukleotydów – uniwersalnych przenośników elektronów w komórkach, np. NAD, NADPH, FAD.
- Są aktywatorami różnych związków, m.in. enzymów.
- Budują kwasy nukleinowe – DNA i RNA.

20 **DNA** – kwas deoksyrybonukleinowy, zbudowany z deoksyrybonukleotydów. Ma zwykle postać podwójnej helisy złożonej z dwóch komplementarnych łańcuchów polinukleotydowych. W skład DNA wchodzą: cukier deoksyryboza, cztery zasady azotowe – adenina (A), guanina (G), tymina (T), cytozyna (C) – oraz reszty fosforanowe(V).

21 Rodzaje wiązań w cząsteczce DNA

Rodzaj wiązania	Występowanie
Wiązanie glikozydowe	pomiędzy deoksyrybozą a zasadą azotową
Wiązanie estrowe	pomiędzy nukleozydem a resztą fosforanową(V)
Wiązanie 3',5'-fosfodiestrowe	pomiędzy cukrem jednego nukleotydu a resztą fosforanową(V) następnego nukleotydu
Wiązanie wodorowe	pomiędzy zasadami azotowymi dwóch łańcuchów polinukleotydowych (pomiędzy cytozyną a guaniną – trzy wiązania, pomiędzy adeniną a tyminą – dwa wiązania)

22 Funkcje DNA

- Jest materiałem genetycznym wszystkich organizmów oraz niektórych wirusów.
- Jest nośnikiem informacji genetycznej, odpowiadającym za dziedziczenie cech.

23 **RNA** – kwas rybonukleinowy, zbudowany z rybonukleotydów. Ma zwykle postać pojedynczego łańcucha polinukleotydowego. W skład RNA wchodzą: cukier – ryboza, cztery zasady azotowe – adenina (A), guanina (G), uracyl (U), cytozyna (C) – oraz reszty fosforanowe(V). RNA uczestniczy w procesie syntezy białek oraz jest materiałem genetycznym niektórych wirusów.

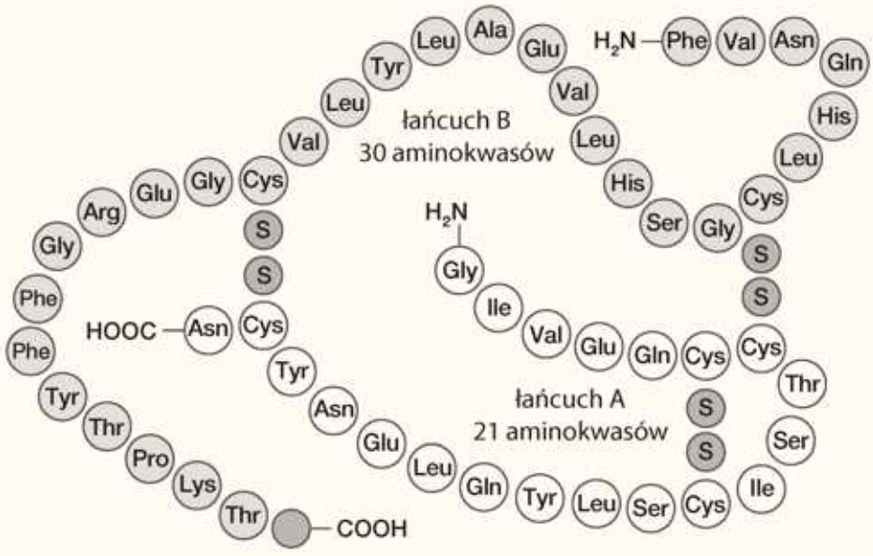
24 Główne rodzaje RNA i ich funkcje

Rodzaj RNA	Funkcje
mRNA – informacyjny RNA	Przenosi informację genetyczną z jądra komórkowego do cytozolu, gdzie odbywa się synteza białek.
rRNA – rybosomowy RNA	Razem z białkami buduje rybosomy.
tRNA – transportujący RNA	Transportuje aminokwasy do rybosomów oraz uczestniczy we włączaniu aminokwasów w łańcuch polipeptydowy.

Sposób na zadania

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Schemat przedstawia budowę cząsteczki insuliny – hormonu białkowego syntetyzowanego w trzustce.



a) Uzasadnij, że cząsteczka insuliny należy do białek prostych.

b) Uzasadnij jednym argumentem, że cząsteczka insuliny ma strukturę czwartorzędową.

c) Wyjaśnij, w jaki sposób sekwencja DNA wpływa na pierwszorzędową strukturę insuliny.

Wskazówki

Podpunkt a)

1. Przypomnij sobie, jakie kryterium decyduje o tym, że dane białko zalicza się do białek prostych. Informacje na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 56 we fragmencie **Wybrane białka organizmu człowieka**.
2. Przeanalizuj ilustrację przedstawiającą budowę cząsteczki insuliny. Określ, w jaki sposób białko to spełnia kryterium wspomniane w p. 1. Uwzględnij tę informację podczas konstruowania odpowiedzi.

Podpunkt b)

1. Przypomnij sobie, od czego zależy struktura przestrzenna białka. Informacje na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 54–55 we fragmencie **Poziomy organizacji białek**.
2. Przeanalizuj ilustrację pod kątem informacji wspomnianych w p. 1.
3. Podczas konstruowania odpowiedzi pamiętaj o uzasadnieniu swojego wyboru.

Podpunkt c)

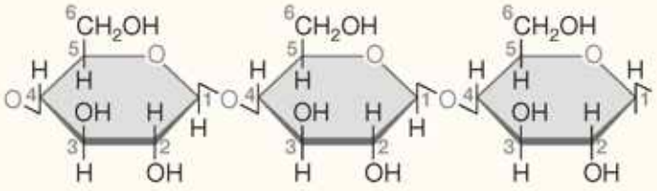
1. Przypomnij sobie, czym są sekwencja DNA oraz struktura pierwszorzędowa białka. Informacje na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 63 we fragmencie **Kwasy nukleinowe** oraz na s. 54–55 we fragmencie **Poziomy organizacji białek**.
2. Przypomnij sobie, w jaki sposób sekwencja DNA jest związana z pierwszorzędową strukturą białka. Informacje na ten temat znajdziesz na s. 64 we fragmencie **Funkcje DNA**.

Zadania powtórzeniowe

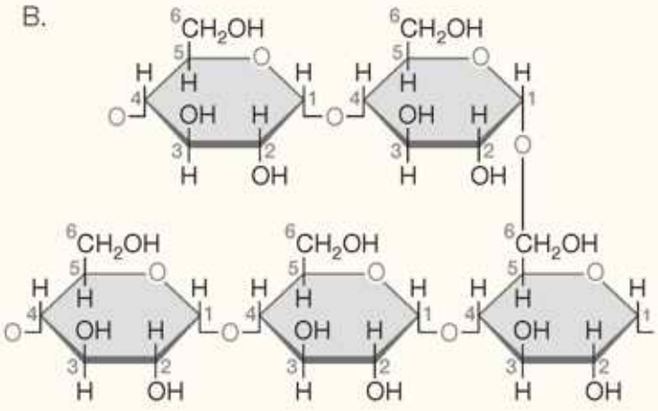
WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Poniżej przedstawiono fragmenty łańcuchów dwóch polisacharydów – celulozy (A) oraz glikogenu (B). Różnice w ich budowie decydują o odmiennych właściwościach tych cukrów, m.in. o stopniu trudności ich rozkładu – glikogen jest rozkładany przez większość organizmów, natomiast celuloza tylko przez niektóre mikroorganizmy.

A.



B.

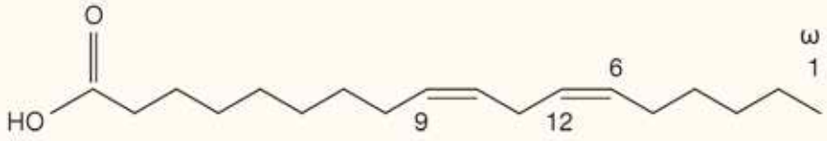


a) Określ, jaka cecha budowy celulozy decyduje o tym, że jej cząsteczki, w przeciwieństwie do cząsteczek glikogenu, nie są rozkładane przez większość organizmów.

b) W każdym zdaniu podkreśl właściwe określenie, tak aby zawierało ono prawdziwe informacje.

Celuloza i glikogen są polimerami, których podstawową jednostką budulcową jest monosacharyd należący do *pentoz / heksoz*. Cząsteczki polimerów są *nierozpuszczalne / rozpuszczalne* w wodzie, dzięki czemu mogą pełnić funkcje zapasowe i budulcowe. Celuloza jest podstawowym składnikiem ścian komórkowych u roślin, natomiast glikogen stanowi materiał zapasowy w *ziarnach zbóż / wątrobie zwierząt* oraz w komórkach grzybów.

2 Kwas linolowy w temperaturze pokojowej jest cieczą. Należy on do kwasów tłuszczowych. Występuje głównie u roślin, np. słonecznika i lnu, u których stanowi składnik tłuszczów właściwych. Wzór kwasu linolowego przedstawiono na ilustracji poniżej.



a) Wyjaśnij, dlaczego kwas linolowy ma ciekłą konsystencję. W odpowiedzi uwzględnij budowę jego cząsteczki.

b) Podaj główny organ roślinny, w którym występują tłuszcze właściwe oraz określ, jaką pełnią w nim funkcję.

3 Sacharoza to dwucukier, który w reakcji hydrolizy można rozłożyć na składowe monosacharydy – glukozę i fruktozę. Uczniowie pod kontrolą nauczyciela wykonali w pracowni chemicznej doświadczenie polegające na hydrolizie sacharozy. W tym celu w probówce rozpuścili kilka kryształków sacharozy w 4 cm^3 wody destylowanej i dodali do niej 1 cm^3 roztworu HCl. Następnie po dodaniu kwasu zawartość probówki gotowali przez 2 minuty, a po ostudzeniu dodali do niej stopniowo kroplami roztwór wodorotlenku sodu (NaOH), tak by całość zobojętnić – odczyn płynu był sprawdzany papierkiem lakmusowym. Nauczyciel zaproponował uczniom, by sprawdzili skuteczność przeprowadzonej przez nich reakcji hydrolizy. W tym celu probówkę z otrzymanym przez nich roztworem oznaczyli jako próbę badawczą i dodali do niej zmieszane odczynniki Fehlinga (I i II). Aby wyniki doświadczenia były wiarygodne, przygotowali również probówkę z roztworem stanowiącym próbę kontrolną i do niej także dodali odczynniki Fehlinga. Po dodaniu odczynników roztwory w obu probówkach zmieniły barwę na niebieską. Następnie obie probówki zostały ogrzane. W efekcie w próbie badawczej barwa roztworu zmieniła się na ceglastoczerwoną, co stanowi dodatni wynik próby Fehlinga. W próbie kontrolnej barwa nie uległa zmianie – pozostała niebieska.

a) Określ, jak wyglądała próba kontrolna w opisanym doświadczeniu.

b) Wyjaśnij, dlaczego w celu potwierdzenia skuteczności reakcji hydrolizy sacharozy uczniowie wykonali próbę Fehlinga. W odpowiedzi uwzględnij właściwości cukrów sprawdzane próbą Fehlinga oraz różnicę w budowie sacharozy i budujących ją monosacharydów.

c) Jeśli wiesz, że reakcji hydrolizy ulega nie tylko sacharoza, ale także inne oligo- i polisacharydy, określ, na jakie monomery składowe ulegną rozkładowi wymienione niżej cukry.

laktoza ?

maltoza ?

skrobia ?

4 Chlorofile to związki organiczne niezbędne do przeprowadzania procesu fotosyntezy, nadające liściom zieloną barwę. Ich cząsteczki są zbudowane z pierwiastków biogennych: atomów węgla, wodoru, tlenu i azotu oraz jednego, centralnie ułożonego atomu pierwiastka, który nie należy do pierwiastków biogennych.

a) Zaznacz w tabeli poprawne dokończenie poniższego zdania.

Pierwiastek, który stanowi niezbędny element chlorofilu i nie należy do pierwiastków biogennych to

A.	chlor,	zaliczany do	1.	makroelementów.
B.	wapń,			
C.	magnez,		2.	mikroelementów.
D.	fluor,			

b) Wymień pierwiastki biogenne, których nie opisano w zadaniu.

5 O gorączce w przypadku człowieka mówi się, gdy temperatura jego ciała przekroczy 38°C. Jest to fizjologiczna odpowiedź organizmu na infekcję. Jeśli temperatura ciała człowieka przekroczy 41°C i zbyt długo się utrzymuje, stanowi to zagrożenie dla jego życia. Najbardziej wrażliwe na zbyt wysoką temperaturę ciała są białka komórek nerwowych.

Wyjaśnij, dlaczego długotrwała gorączka jest szkodliwa dla białek w komórkach nerwowych. W odpowiedzi uwzględnij działanie wysokiej temperatury na te białka.

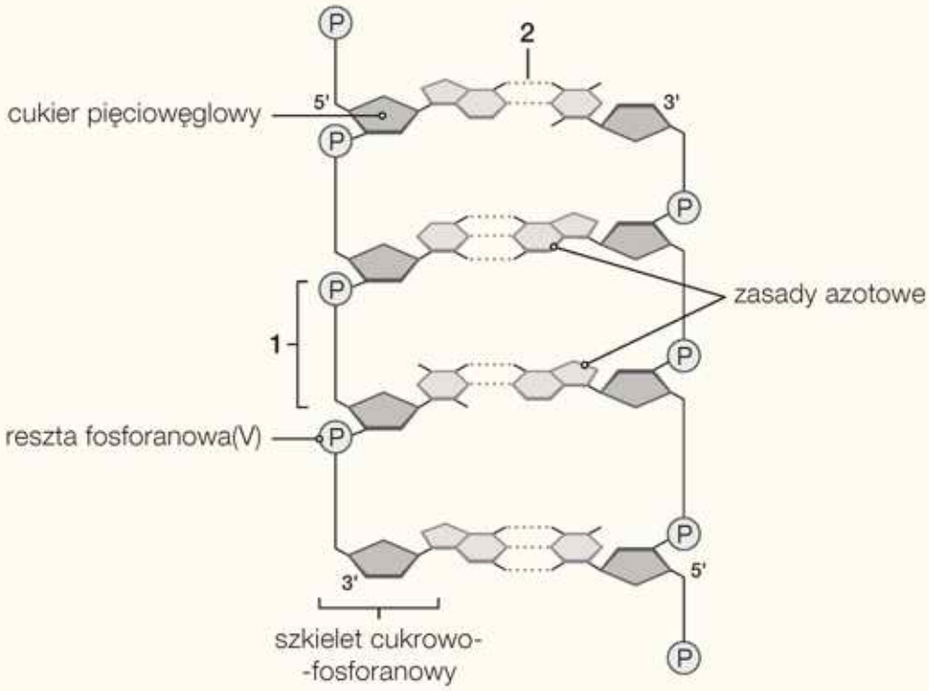
6 Aminokwasy są dużą i zróżnicowaną grupą związków. Dwadzieścia z nich to aminokwasy białkowe, które klasyfikuje się do α-aminokwasów. Ze względu na strukturę łańcucha bocznego (R), połączonego z atomem węgla α, dzieli się je na hydrofilowe i hydrofobowe oraz obojętne elektrycznie i naładowane elektrycznie (dodatnio lub ujemnie). Aminokwasy niebiałkowe uczestniczą w funkcjonowaniu organizmu jako związki pośrednie szlaków metabolicznych, jako neuroprzekaźniki lub jako hormony.

a) Wykaż związek między budową aminokwasów a ich zdolnością do łączenia się w długie łańcuchy peptydowe.

b) Określ, które z poniższych aminokwasów uczestniczą w tworzeniu wiązań jonowych, a które – w tworzeniu oddziaływań hydrofobowych stabilizujących trzeciorzędową strukturę białka. Odpowiedź uzasadnij.

kwas asparaginowy, leucyna, lizyna, walina

7 Nukleotydy to związki chemiczne zbudowane z pięciowęglowego cukru, zasady azotowej oraz od jednej do trzech reszt fosforanowych(V). Połączone ze sobą nukleotydy tworzą łańcuchy polinukleotydowe, które budują kwasy nukleinowe – RNA i DNA. RNA jest zbudowany z jednego łańcucha, natomiast DNA, którego schemat przedstawiono poniżej, składa się z dwóch komplementarnych łańcuchów nukleotydów.

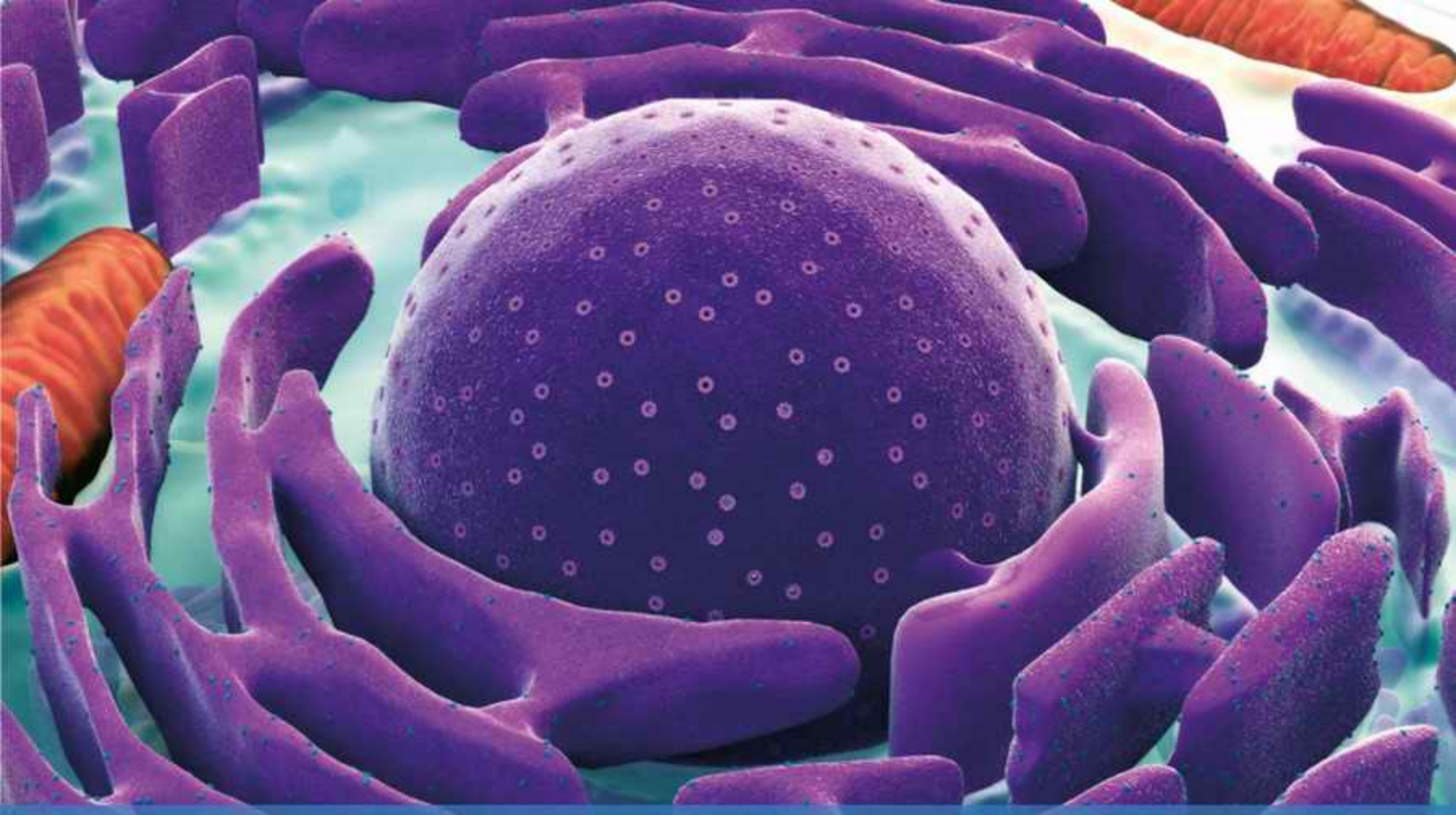


a) Podaj nazwy wiązań chemicznych odpowiedzialnych za utworzenie dwuniciowych cząsteczek DNA, oznaczonych na schemacie numerami 1 i 2.

b) Określ, które z poniższych zasad azotowych łączą się w nukleotydach z rybozą, a które z deoksyrybozą. Wstaw znak X w odpowiednim polu tabeli.

Uwaga: niektóre zasady azotowe mogą się łączyć z oboma cukrami.

		ryboza	deoksyryboza
1.	guanina	?	?
2.	tymina	?	?
3.	uracyl	?	?



3. Komórka – podstawowa jednostka życia

To było w szkole podstawowej!

☑ **Komórka** – najmniejsza część organizmu zdolna do przeprowadzania czynności życiowych.

☑

Podział komórek

komórki jądrowe	komórki bezjądrowe
• komórki zwierzęce • komórki roślinne • komórki grzybowe	• bakterie

☑ **Porównanie mitozy z mejozą.**

Porównywana cecha	Mitoza	Mejoza
Liczba komórek potomnych	2	4
Liczba chromosomów w komórkach potomnych	taka sama jak w komórce macierzystej	o połowę mniejsza niż w komórce macierzystej
Komórki powstałe w wyniku podziału	komórki ciała	gamety

3.1. Budowa i funkcje komórki. Rodzaje komórek

Zwróć uwagę na:
- różnice w budowie komórki prokariotycznej i eukariotycznej,
- budowę komórki zwierzęcej, roślinnej i grzybowej,
- przedziałowość komórek eukariotycznych.

Komórka jest podstawową jednostką budulcową i funkcjonalną organizmu, zdolną do wykonywania wszystkich czynności życiowych. Organizmy jednokomórkowe są zbudowane z jednej komórki, a wielokomórkowe z wielu współpracujących ze sobą komórek, które mogą być wyspecjalizowane w pełnieniu określonych funkcji.

Poziomy organizacji komórkowej organizmów

W zależności od liczby komórek wyróżniamy organizmy jednokomórkowe, formy kolonijne oraz organizmy wielokomórkowe. Te ostatnie dzielimy na organizmy plechowe oraz tkankowe.

- **Organizmy jednokomórkowe** są zbudowane tylko z jednej komórki, która wykonuje wszystkie czynności życiowe.
- **Formy kolonijne** są zespołami komórek połączonych ze sobą za pomocą ścian komórkowych lub galaretowatych otoczek. Stanowią one stadium pośrednie między organizmami jednokomórkowymi a wielokomórkowymi. Kolonie powstają wskutek nierozdzielenia się komórek potomnych po podziale komórki macierzystej albo wskutek jednoczenia się pojedynczych komórek w większe grupy. Poszczególne komórki kolonii mają zwykle taki sam wygląd i są niezależne od siebie pod względem funkcjonalnym. Oznacza to, że każda z nich może żyć również samodzielnie.
- **Organizmy wielokomórkowe** są zbudowane z wielu zależnych od siebie komórek. Zaliczamy do nich: **organizmy plechowe**, które mają ciało niezróżnicowane lub słabo zróżnicowane na tkanki, oraz **organizmy tkankowe**, które mają ciało wyraźnie zróżnicowane na tkanki. Każda z tkanek ma odmienną budowę i pełni w organizmie ściśle określoną funkcję.



Jedne z najpiękniejszych kolonii tworzą okrzemki, które należą do protistów. Ich komórki są ze sobą połączone za pomocą ścian komórkowych i galaretowatych otoczek.

Poziomy organizacji komórkowej organizmów			
organizmy jednokomórkowe	formy kolonijne	organizmy wielokomórkowe	
		plechowe	tkankowe
bakterie, protisty, grzyby, rośliny pierwotnie wodne[1]	bakterie, protisty	protisty, grzyby, rośliny pierwotnie wodne	rośliny, zwierzęta

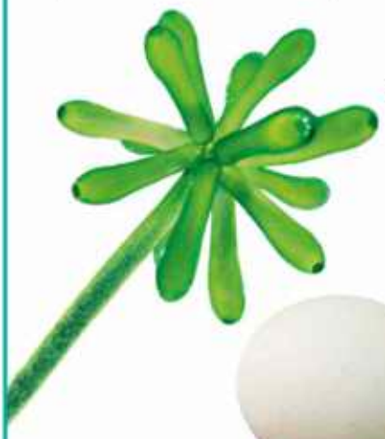
[1] **Rośliny pierwotnie wodne** – organizmy jednokomórkowe lub plechowe, których pozycja systematyczna jest sporna: część badaczy zalicza je do roślin, a część – do protistów. Roślinami pierwotnie wodnymi są m.in. zielenice.

Rozmiary i kształty komórek

Komórki cechuje olbrzymia różnorodność rozmiarów i kształtów. Większość z nich jest bardzo mała – widoczna tylko pod mikroskopem – i ma kształt zbliżony do kuli lub sześcianu. Głównym czynnikiem decydującym o tym, że komórki osiągają niewielkie rozmiary, jest korzystny stosunek powierzchni do objętości. Gdy komórka zwiększa swoje rozmiary, jej objętość rośnie szybciej niż powierzchnia. Duża objętość komórki zmniejsza efektywność transportu substancji w jej obrębie, ponieważ mają one do pokonania dłuższą drogę. Z kolei niewielka powierzchnia komórki zmniejsza wydajność pobierania ze środowiska potrzebnych substancji oraz usuwania do środowiska substancji zbędnych lub szkodliwych. Niewielkie rozmiary komórek i ich kuliste lub sześcienne kształty pozwalają więc na wydajny transport substancji wewnątrz komórki oraz między komórką a jej otoczeniem.

Czy wiesz, że...

Do największych komórek zwierzęcych należą jaja ptaków, a do największych komórek roślinnych – komórki niektórych zielenic.



Komórki zielenic z rodzaju *Acetabularia* mogą osiągać nawet 10 cm długości.



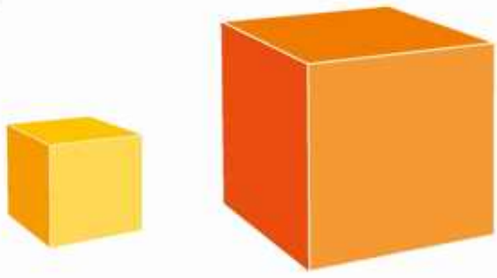
Jaja strusia mają około 16 cm wysokości, a ich objętość może być nawet 30 razy większa od objętości jaj kury.

Dlaczego komórki mają niewielkie rozmiary?

W dużych komórkach stosunek powierzchni do objętości jest niekorzystny. To sprawia, że możliwości transportu substancji do komórki i w jej obrębie są mniejsze niż zapotrzebowanie na nie. Z tego powodu większość komórek ma niewielkie rozmiary.



Komórki większości organizmów, m.in. eugleny zielonej, są widoczne dopiero pod mikroskopem.



Komórka o krawędzi 1 cm. **Komórka o krawędzi 2 cm.**

Powierzchnia komórki (wysokość x szerokość x liczba ścian)	
1 x 1 x 6 = 6 cm^2	2 x 2 x 6 = 24 cm^2
Objętość komórki (wysokość x szerokość x długość)	
1 x 1 x 1 = 1 cm^3	2 x 2 x 2 = 8 cm^3
Stosunek powierzchni do objętości	
6 : 1	3 : 1

Wraz ze zwiększaniem się rozmiarów komórki, maleje stosunek powierzchni do objętości, co utrudnia wydajny transport.

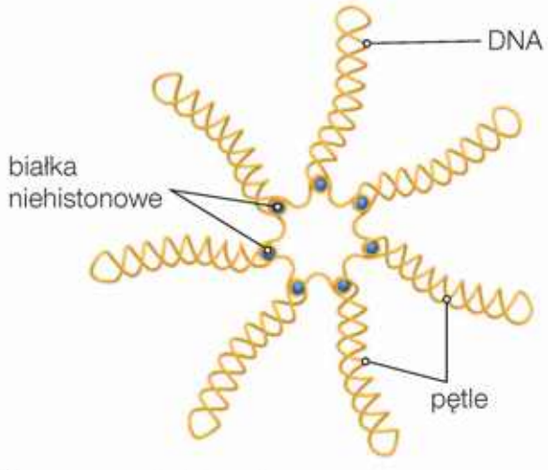
Rodzaje komórek i ich budowa

Głównym kryterium klasyfikacji komórek jest obecność w nich jądra komórkowego lub jego brak.

Podział komórek ze względu na obecność jądra komórkowego

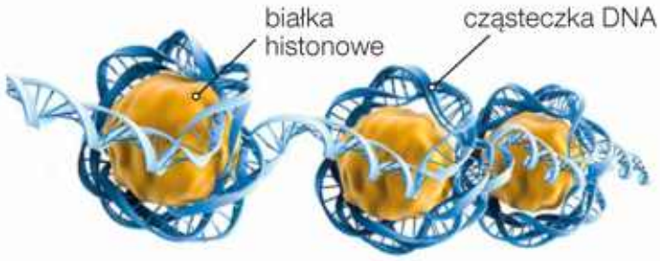
komórki prokariotyczne	komórki eukariotyczne
• komórki m.in. bakterii	• komórki roślinne • komórki zwierzęce • komórki grzybowe

Komórki, które nie mają jądra, nazywamy **komórkami prokariotycznymi** (bezjądrowymi) – patrz s. 81. Ich materiał genetyczny ma zwykle postać **koliście zamkniętej cząsteczki DNA**, która leży bezpośrednio w cytozolu. Taka cząsteczka DNA zawiera kilkadziesiąt pętli. Ich liczba jest zmienna i zależy m.in. od fazy rozwoju komórki. Poszczególne pętle chromosomu są stabilizowane przez zasadowe **białka niehistonowe**, które mają zdolność wiązania się z DNA. Taka struktura nosi nazwę **chromosomu bakteryjnego**.



Chromosom bakteryjny.

Komórki, które mają jądro, nazywamy **komórkami eukariotycznymi** (jądrowymi) – patrz s. 82–83. Ich materiał genetyczny ma postać **liniowych cząsteczek DNA**, które są oddzielone od cytozolu **otoczką jądrową**. Cząsteczki DNA są nawinięte na zasadowe **białka histonowe** i tworzą chromosomy eukariotyczne.



Cząsteczki DNA w komórkach eukariotycznych są nawinięte na białka histonowe i wspólnie tworzą strukturę zwaną nukleosomem.

Cechy wspólne komórek prokariotycznych i eukariotycznych

- Są oddzielone od otoczenia **błoną komórkową**, a często również ścianą komórkową.
- Ich wnętrze wypełnia **cytozol** – wodny, koloidalny roztwór różnych związków, głównie białek.
- Ich materiał genetyczny ma postać DNA.
- Zawierają rybosomy.

Cechy różniące komórki prokariotyczne od eukariotycznych

- Ściany komórkowe w komórkach prokariotycznych są zazwyczaj zbudowane z peptydoglikanu[1] mureiny, natomiast w komórkach eukariotycznych z polisacharydów – celulozy u roślin, a chityny u grzybów.
- DNA komórek prokariotycznych ma zwykle postać kolistych cząsteczek, które znajdują się bezpośrednio w cytozolu. DNA komórek eukariotycznych ma zwykle postać liniowych cząsteczek, które są oddzielone od cytozolu otoczką jądrową.
- W komórkach prokariotycznych nie występuje zorganizowany system błon śródplazmatycznych, natomiast komórki eukariotyczne mają liczne błony śródplazmatyczne. Dzielą one komórkę na **przedziały** (kompartmenty) o różnej budowie i różnych funkcjach. Zróżnicowanie komórek eukariotycznych na przedziały nazywamy **kompartmentacją**.

[1] **Peptydoglikan** – związek zbudowany z peptydów i sacharydów.

Komórki prokariotyczne

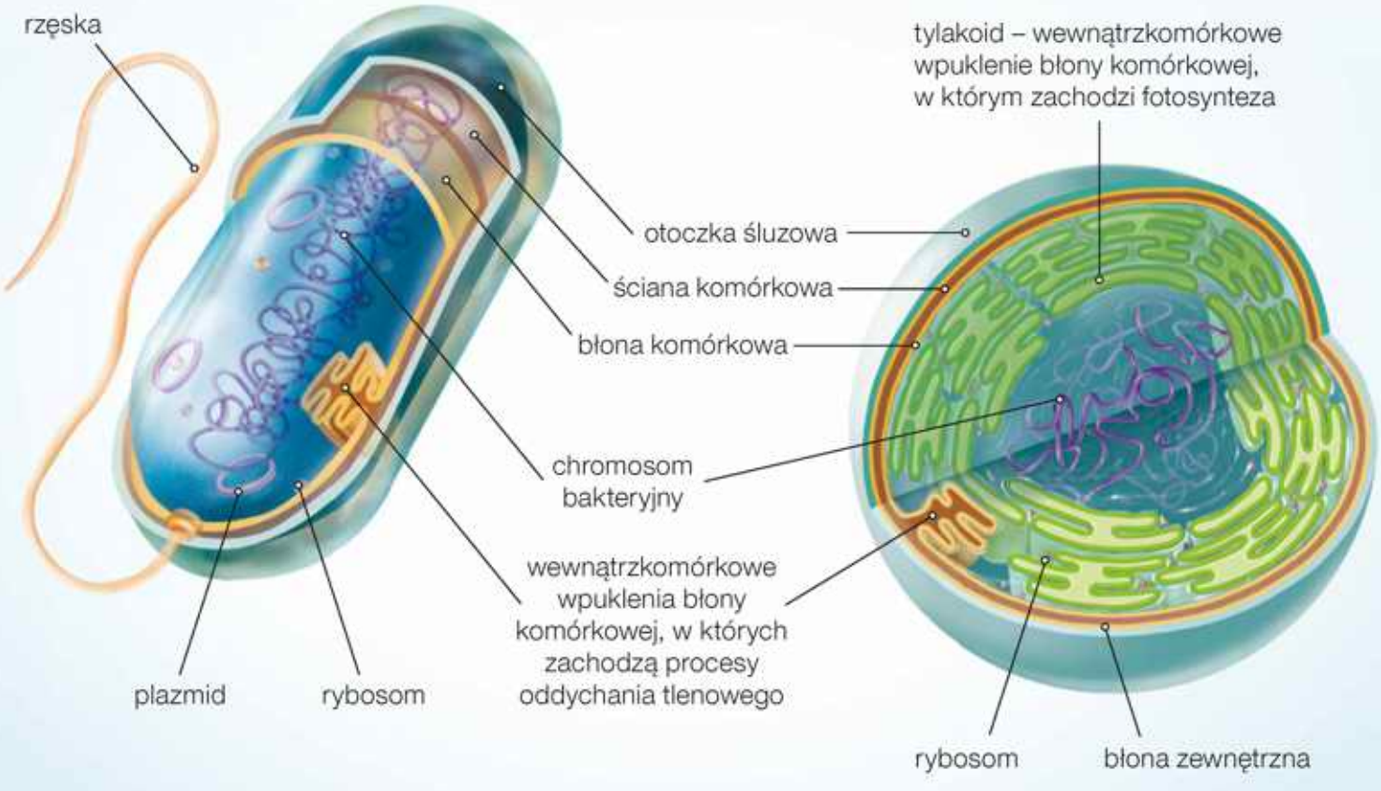
Komórki prokariotyczne nie mają jądra komórkowego i osiągają rozmiary od jednego do kilku mikrometrów. Od środowiska zewnętrznego oddziela je **błona komórkowa**, która może tworzyć wpuklenia zwiększające jej powierzchnię i umożliwiające zachodzenie niektórych procesów, m.in. oddychania tlenowego i fotosyntezy.

Komórki bakteryjne

U większości bakterii błonę komórkową otacza sztywna **ściana komórkowa**, zbudowana głównie z mureiny. Niektóre bakterie na powierzchni ściany komórkowej mają dodatkową **błonę zewnętrzną**. W błonach otaczających komórki bakteryjne mogą być zakotwiczone rzęski (białkowe twory zewnętrznej błony komórkowej), które umożliwiają tym organizmom aktywny ruch. Komórka bakteryjna może być dodatkowo otoczona **otoczką śluzową**, utworzoną zazwyczaj z polisacharydów.

Wnętrze komórki bakteryjnej wypełnia cytozol, w którym znajdują się:

- **Chromosom bakteryjny**, czyli koliście zamknięta cząsteczka DNA. Zawiera on zwykle wszystkie geny niezbędne do prawidłowego funkcjonowania komórki. Obszar cytozolu zawierający chromosom jest nazywany **nukleoidem**.
- **Plazmidy**, czyli małe koliste cząsteczki DNA. Geny plazmidów zawierają informacje o cechach, które są przydatne, ale nie zawsze niezbędne do życia bakterii, np. geny oporności na antybiotyki.
- **Rybosomy**, czyli struktury zbudowane z rRNA i białek, uczestniczące w biosyntezie białek.
- **Tylakoidy** (chromatofory), czyli połączone lub niepołączone z błoną komórkową struktury zawierające barwniki fotosyntetyczne. Występują one wyłącznie u autotroficznych bakterii fotosyntetyzujących. Umożliwiają zachodzenie fotosyntezy.



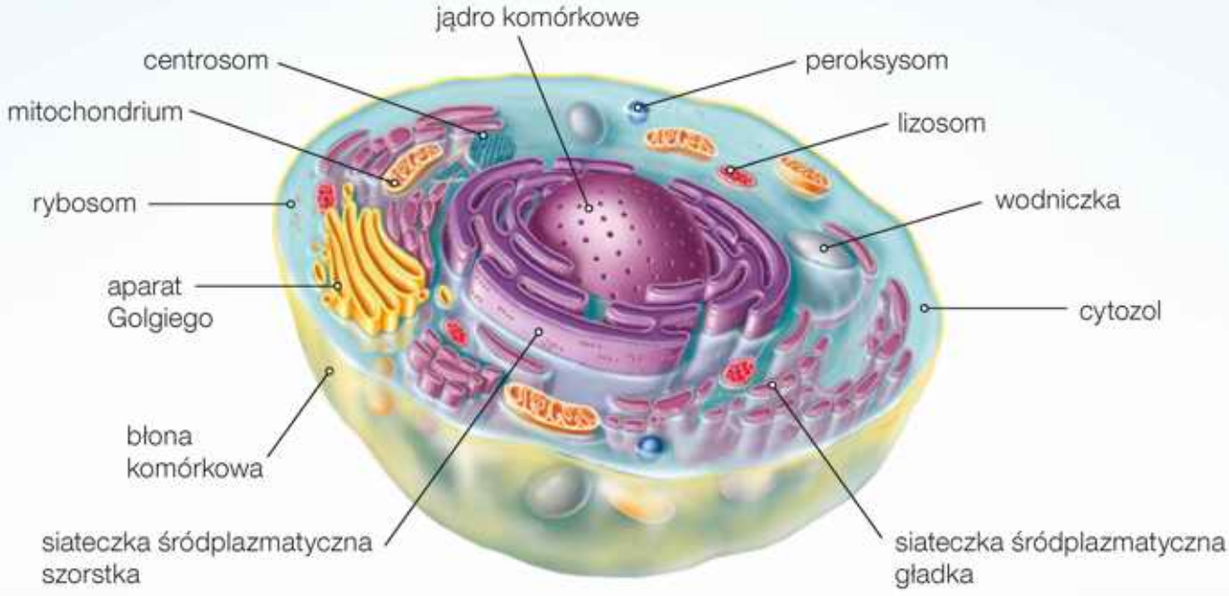
Komórka bakterii heterotroficznej. **Komórka bakterii autotroficznej (sinicy).**

Komórki eukariotyczne

Komórki eukariotyczne mają jądro komórkowe. Zwykle osiągają rozmiary 10–100 µm, ale bywają również znacznie większe. Cechą komórek eukariotycznych jest wysoko uorganizowany system błon śródplazmatycznych, które tworzą w komórce przedziały o różnej budowie i różnych funkcjach. Do przedziałów komórkowych należą wszystkie organelle oddzielone błonami od cytozolu.

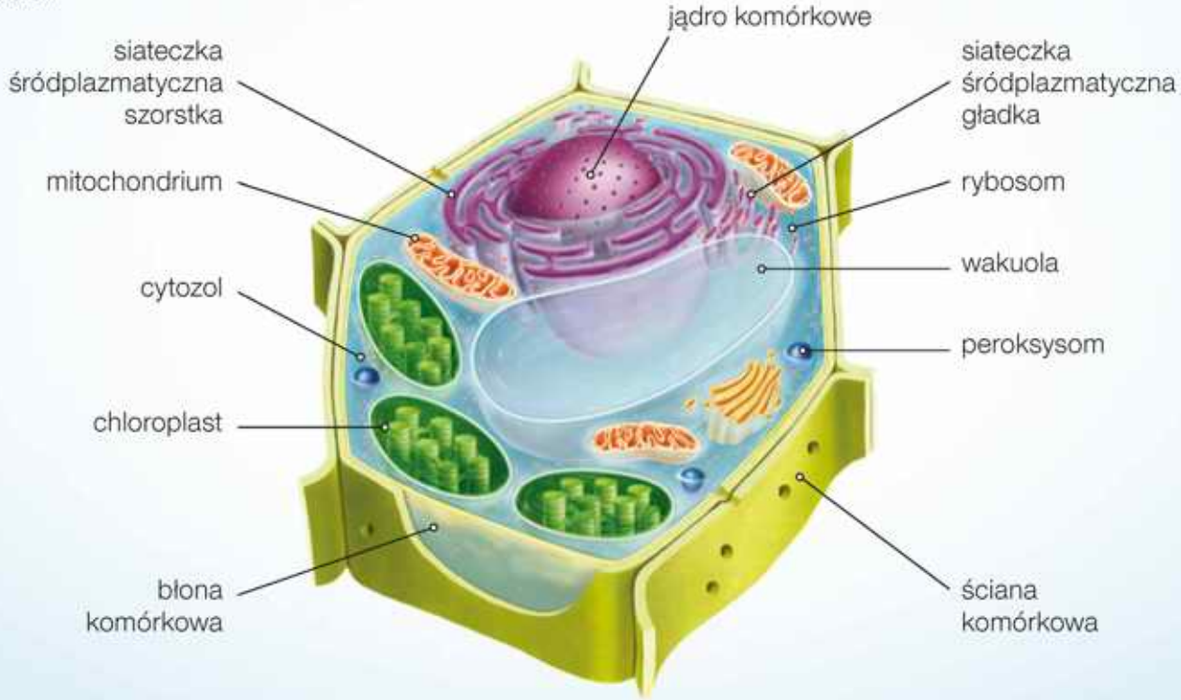
Komórki zwierzęce

Komórki zwierzęce są oddzielone od środowiska wyłącznie błoną komórkową. W ich wnętrzu znajdują się lizosomy, a ich materiałem zapasowym jest głównie glikogen.



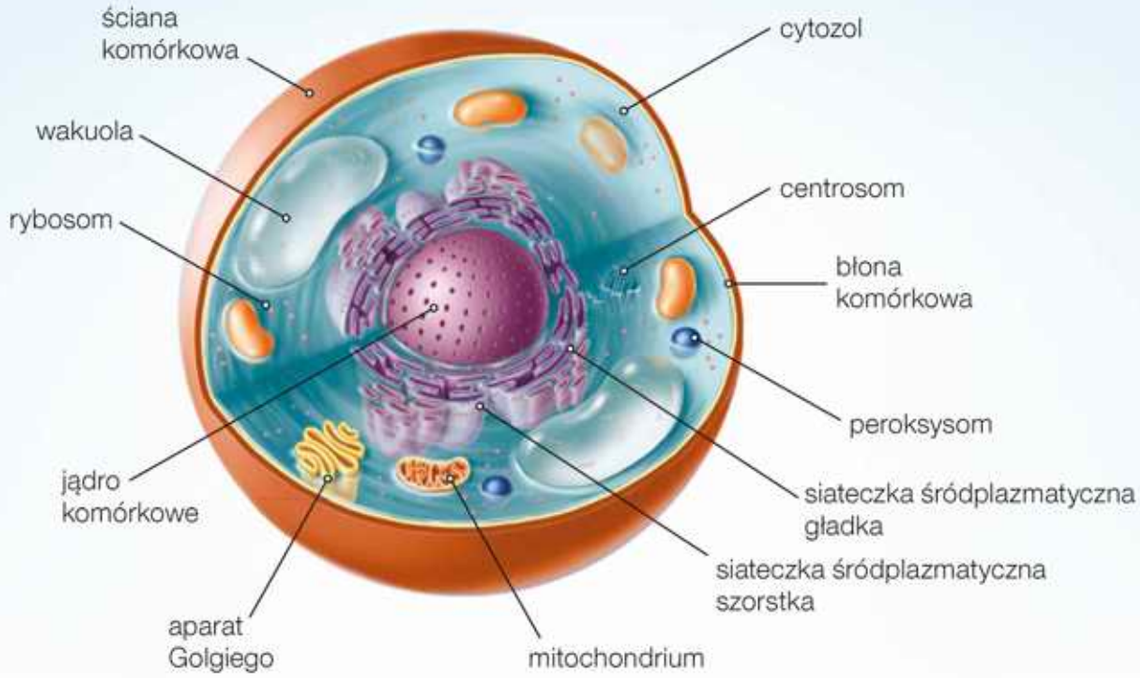
Komórki roślinne

Komórki roślinne mają ścianę komórkową zbudowaną głównie z celulozy. W ich wnętrzu występują duże, centralnie położone wakuole oraz plastydy, np. chloroplasty. Podstawowym materiałem zapasowym komórek roślinnych jest skrobia.



Komórki grzybowe

Komórki grzybowe mają ścianę komórkową zbudowaną głównie z chityny, a ich podstawowym materiałem zapasowym jest glikogen.



Główne struktury komórek eukariotycznych

Nazwa	Charakterystyka
Organelle otoczone dwiema błonami	
Jądro komórkowe	• Zawiera DNA, który jest materiałem genetycznym odpowiedzialnym za cechy danego organizmu oraz procesy związane z dziedziczeniem cech.
Mitochondria	• Zachodzi w nich oddychanie tlenowe, w którego wyniku ze związków organicznych jest uwalniana energia niezbędna komórce.
Chloroplasty	• Występują w komórkach roślin oraz protistów roślinopodobnych. • Zachodzi w nich fotosynteza.
Organelle otoczone jedną błoną	
Siateczka śródplazmatyczna szorstka	• Jest pokryta rybosomami. • Jest miejscem syntezy białek, np. wydzielanych poza komórkę oraz budujących błony.
Siateczka śródplazmatyczna gładka	• Jest miejscem syntezy lipidów, magazynowania jonów oraz detoksykacji substancji toksycznych.
Aparat Golgiego	• Odpowiada głównie za modyfikowanie, sortowanie i transport białek.
Lizosomy	• Zachodzi w nich trawienie wewnątrzkomórkowe.
Peroksysomy	• Są miejscem zachodzenia reakcji utleniania różnych związków oraz neutralizacji reaktywnych form tlenu.
Wakuole	• Odpowiadają za stan uwodnienia komórek, magazynują różne substancje oraz biorą udział w procesie trawienia.
Organelle nieotoczone błoną	
Rybosomy	• Przeprowadzają syntezę białek.
Centrosomy	• Uczestniczą w podziałach komórek.

Komórki wyspecjalizowane

Wiele komórek eukariotycznych jest zbudowanych w nietypowy sposób. Wynika to z ich **specjalizacji**, czyli przystosowania budowy do pełnienia określonych funkcji w organizmie. Komórki zwierzęce specjalizują się w komórki określonego typu poprzez zmianę kształtu lub utratę określonych organelli. W komórkach roślinnych może nawet dojść do utraty całego **protoplastu**, czyli zawartości komórki ograniczonej wyłącznie błoną komórkową. Powstają wówczas martwe komórki, zbudowane jedynie ze ściany komórkowej.

Neurony

Komórki zwierzęce przystosowane do przewodzenia impulsów w układzie nerwowym – mają wydłużony kształt i liczne wypustki o długości nawet 1 m.



Krwinki czerwone

Komórki zwierzęce przystosowane do transportu tlenu w organizmie – u większości ssaków nie mają jądra i większości organelli komórkowych.



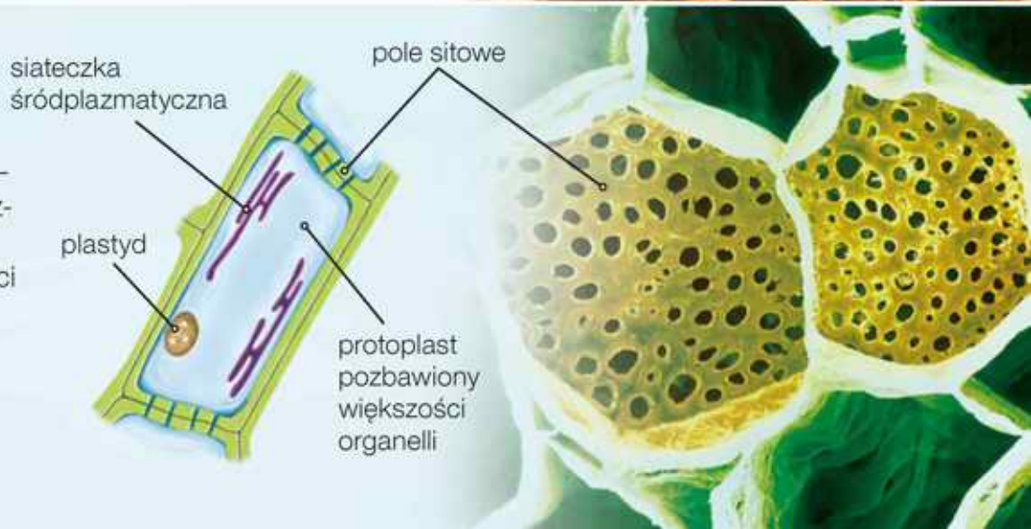
Człony naczyń

Komórki roślinne występujące w drewnie – są martwe, długie i pozbawione ścian poprzecznych, dlatego sprawnie transportują wodę z solami mineralnymi.



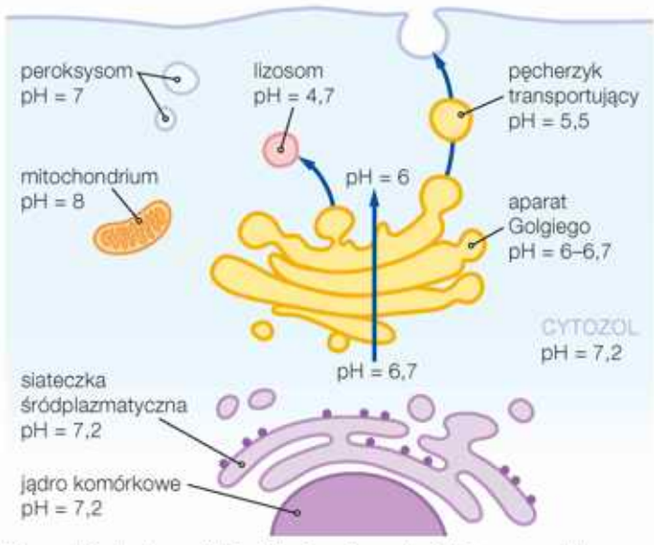
Człony rurek sitowych

Komórki roślinne występujące w łyku – są żywe, długie, a ich ściany poprzeczne, nazywane sitami, mają liczne otwory. Komórki te nie mają większości organelli, w tym jądra komórkowego. Dzięki temu sprawnie transportują związki organiczne w obrębie rośliny.



Przedziały komórkowe

Organelle komórkowe otoczone błonami tworzą w komórce system zamkniętych, ale ściśle współpracujących ze sobą przedziałów (kompartmentów). W każdym z nich panują odmienne warunki i odbywają się inne procesy. Często procesy te mają przeciwstawny charakter, np. w chloroplastach odbywa się synteza związków organicznych z dwutlenku węgla i wody, a w mitochondriach zachodzi rozkład związków organicznych do dwutlenku węgla i wody. Przedziały komórki zapewniają rozdział przestrzenny procesów metabolicznych, dzięki czemu komórka funkcjonuje bez zakłóceń. Poszczególne przedziały komórki kontaktują się ze sobą za pomocą cytozolu lub pęcherzyków transportujących.



Przedziały komórki różnią się od siebie np. pH. Od wartości pH zależy m.in. funkcjonowanie enzymów – substancji, które przyspieszają przebieg procesów metabolicznych.

Obserwacja różnorodności form i kształtów komórek

Wykonaj obserwacje mikroskopowe komórek roślinnych i zwierzęcych. Skorzystaj z samodzielnie przygotowanych preparatów mikroskopowych (np. z miąższu owocu pomidora, liści moczarki kanadyjskiej, skórki liścia spichrzowego cebuli) oraz z preparatów trwałych tkanek roślinnych i zwierzęcych, które są dostępne w pracowni biologicznej. Porównaj rozmiary i kształty obserwowanych komórek, a następnie narysuj w zeszycie wybrane komórki roślinną i zwierzęcą. Podpisz na rysunku obserwowane struktury komórkowe.



Komórki skórki liścia spichrzowego cebuli (obraz spod mikroskopu optycznego).

Obserwacja

Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij, dlaczego duże rozmiary komórek ograniczają wydajny transport substancji w ich obrębie.
2. Określ, jaki rodzaj komórki opisuje poniższy tekst. Odpowiedź uzasadnij za pomocą dwóch argumentów.

   Komórka jest oddzielona od otoczenia ścianą komórkową, zbudowaną głównie z celulozy. Wewnątrz komórki znajduje się duża wakuola, wypełniona wodnym roztworem różnych substancji. Chloroplasty obecne w komórce mają w środku ziarna substancji zapasowej, która pod wpływem jodyny barwi się na granatowy kolor.
3. Wymień dwa podobieństwa i dwie różnice w budowie komórek prokariotycznej i eukariotycznej.

3.2. Błony biologiczne

Zwróć uwagę na:
- związek między budową a funkcjami błon biologicznych,
- właściwości błon biologicznych.

Błony biologiczne są podstawowymi elementami budulcowymi komórek. U większości komórek prokariotycznych występują tylko błony komórkowe, a u eukariotycznych – błony zarówno komórkowe, jak i śródplazmatyczne.

Funkcje błon biologicznych

Błony komórkowe oddzielają wnętrze komórek od środowiska zewnętrznego, natomiast **błony śródplazmatyczne** tworzą w komórkach odrębne przedziały o różnych właściwościach. Funkcje błon biologicznych:

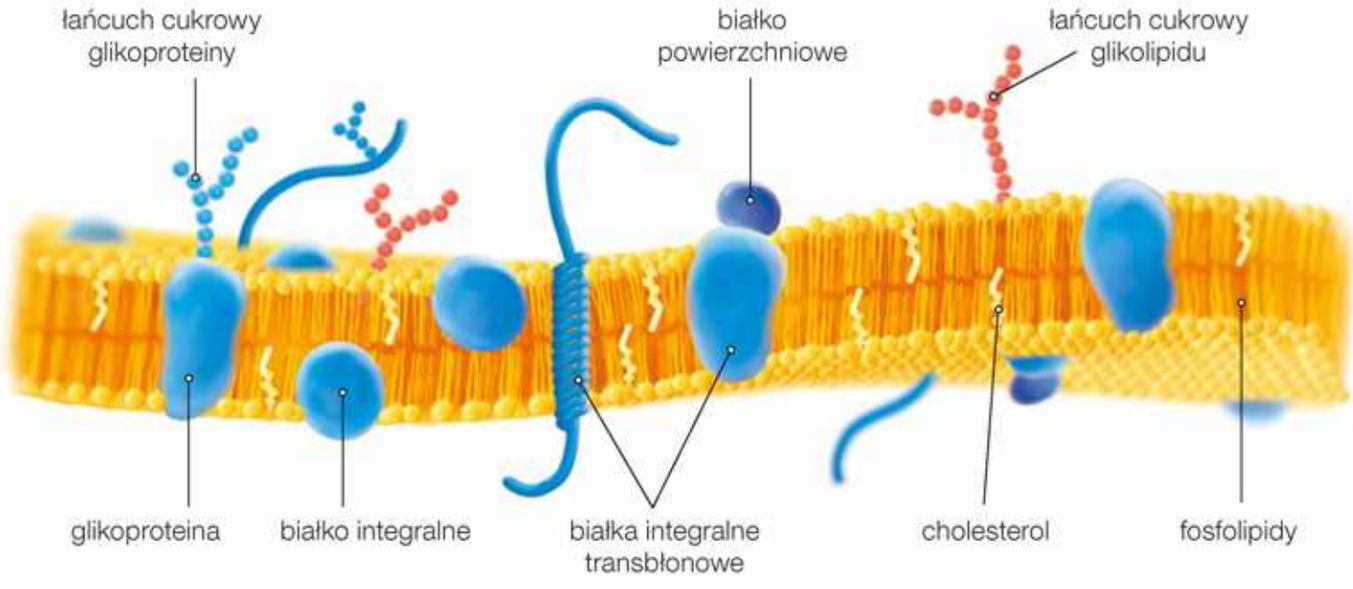
- są naturalnymi barierami ochronnymi, które zabezpieczają komórki i organelle przed zmianami składu chemicznego, uszkodzeniami mechanicznymi oraz wnikaniem drobnoustrojów chorobotwórczych,
- odbierają sygnały z otoczenia i przekazują je do wnętrza komórek lub organelli,
- pośredniczą w wymianie substancji między środowiskami, które rozdzielają.

Budowa błon biologicznych

Wszystkie błony biologiczne mają podobną budowę. Składają się głównie z białek i lipidów, dlatego nazywamy je **błonami białkowo-lipidowymi**.

Podstawową strukturą błon biologicznych jest **dwuwarstwa lipidowa** zbudowana głównie z **fosfolipidów** oraz w mniejszym stopniu z **glikolipidów**. Lipidy te są zwrócone hydrofobowymi ogonami do wnętrza dwuwarstwy, a hydrofilowymi głowami w stronę wodnych roztworów, które znajdują się wewnątrz i na zewnątrz komórki lub organellum.

W skład błon komórek zwierzęcych oprócz lipidów złożonych wchodzi również **cholesterol**, którego płaskie cząsteczki wbudowują się między hydrofobowe reszty kwasów tłuszczowych i powodują usztywnienie dwuwarstwy. W błonach komórkowych bakterii, roślin i grzybów nie ma cholesterolu, mogą w nich jednak występować inne lipidy izoprenowe.

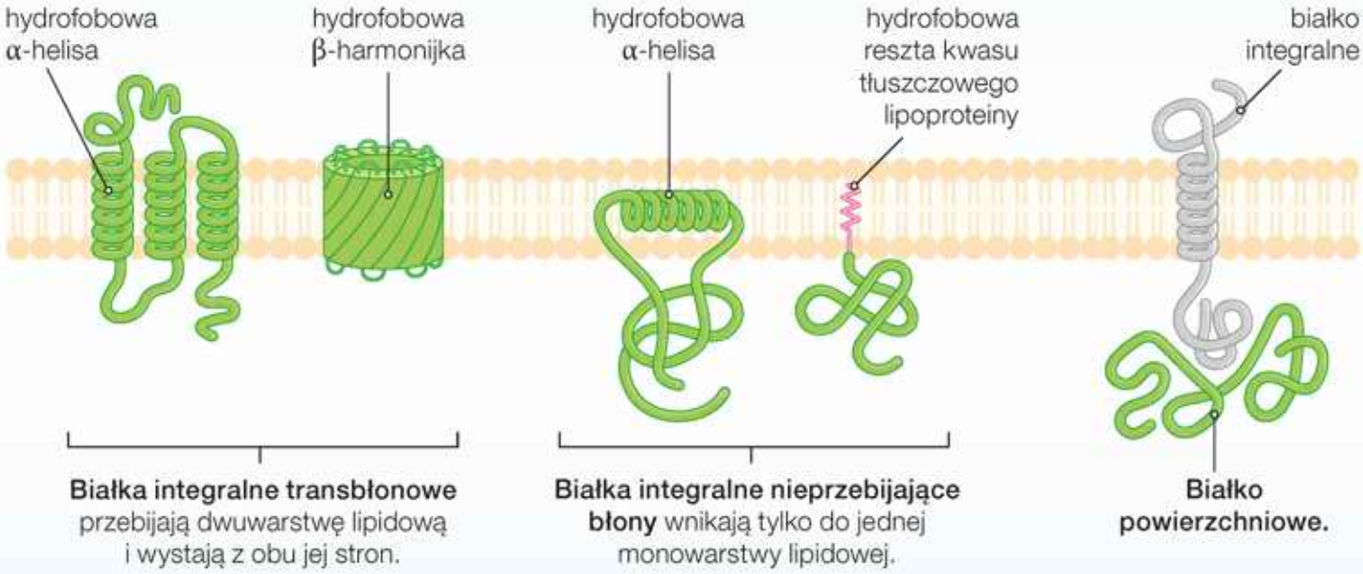


Budowa błony białkowo-lipidowej – model płynnej mozaiki. W modelu tym dwuwarstwę lipidową porównuje się do morza, a cząsteczki białek – do pływających w nim gór lodowych.

Białka błonowe

W skład błon biologicznych wchodzą głównie białka proste oraz lipoproteiny i glikoproteiny. W zależności od położenia w błonie i sposobu związania z dwuwarstwą lipidową białka błonowe dzielimy na **integralne** oraz **powierzchniowe**. Białka integralne mają części hydrofobowe, które wnikają do wnętrza dwuwarstwy, oraz części hydrofilowe, które kontaktują się ze środowiskiem wodnym po jednej lub po obu stronach błony. Białka powierzchniowe (peryferyczne) mają właściwości hydrofilowe, nie wnikają więc do dwuwarstwy lipidowej. Są luźno związane z białkami integralnymi m.in. za pomocą wiązań jonowych i wiązań wodorowych.

Podział białek błonowych ze względu na sposób związania z dwuwarstwą lipidową

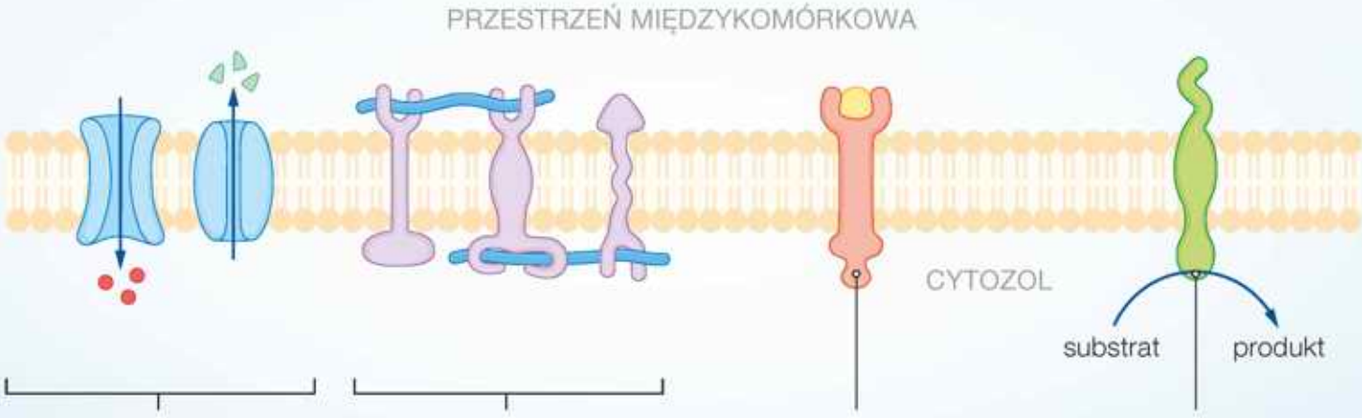


Białka integralne transbłonowe przebijają dwuwarstwę lipidową i wystają z obu jej stron.

Białka integralne nieprzebijające błony wnikają tylko do jednej monowarstwy lipidowej.

Białko powierzchniowe.

Podział białek błonowych ze względu na pełnione funkcje



Białka transportujące umożliwiają wymianę substancji między komórką a jej otoczeniem oraz między różnymi przedziałami komórki.

Białka kotwiczące zwiększają odporność mechaniczną błony.

Białko receptorowe odbiera sygnały ze środowiska zewnętrznego lub sygnały docierające od innych komórek.

Białko enzymatyczne przyspiesza niektóre reakcje zachodzące w komórce.

Właściwości błon biologicznych

Błony mają charakter płynny. Dzięki nieustannym ruchom cząsteczek fosfolipidów ich konsystencja przypomina olej. Cząsteczki te przemieszczają się głównie w obrębie poszczególnych monowarstw, choć zdarza się, że do wymiany dochodzi między jedną a drugą monowarstwą. Stopień płynności błon zależy od rodzaju fosfolipidów, które budują dwuwarstwę. Lipidy o krótkich i nienasyconych łańcuchach węglowodorowych zwiększają płynność błon, natomiast lipidy o długich i nasyconych łańcuchach oraz steroidy działają odwrotnie.

Stopień płynności błon wpływa na ich przepuszczalność i spójność. Im bardziej płynna jest błona, tym jej przepuszczalność jest większa. Umożliwia to szybszy transport różnych substancji między komórką a jej otoczeniem lub między różnymi przedziałami komórki. Z kolei im mniej płynna jest błona, tym większa jest jej spójność i szczelność.

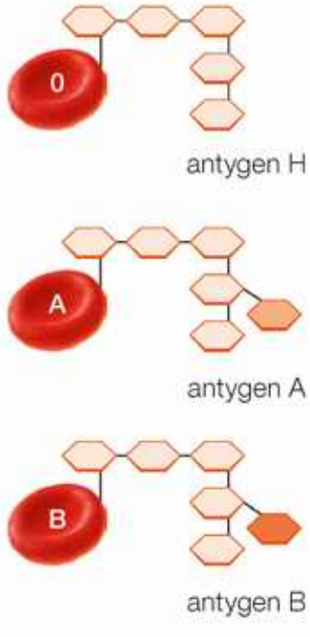
Błony mają charakter asymetryczny. Oznacza to, że każda z dwóch warstw błony ma swoisty skład lipidowy oraz własny zestaw osadzonych w niej białek. Asymetria dotyczy zarówno błon komórkowych, jak i błon śródplazmatycznych. Na przykład zewnętrzna warstwa błon komórkowych w komórkach zwierzęcych jest bogata w glikolipidy i glikoproteiny. Ich cukrowe łańcuchy pokrywają powierzchnię komórek, tworząc na nich **płaszcz cukrowcowy** (glikokaliks). Chroni on komórkę przed uszkodzeniami chemicznymi i mechanicznymi oraz odgrywa ważną rolę w rozpoznawaniu się komórek.

Błony mają charakter półprzepuszczalny (selektywnie przepuszczalny). Oznacza to, że mogą przez nie swobodnie przenikać tylko niektóre substancje.

Dowiedz się więcej

Poznamy się po cukrze!

Większość łańcuchów cukrowych, które znajdują się na powierzchni naszych komórek, tworzy antygeny powierzchniowe. Ich funkcją jest „znakowanie" komórek organizmu tak, by nie zostały one uznane przez własny układ odpornościowy za komórki obce, przeznaczone do likwidacji. Najbardziej znane są antygeny powierzchniowe krwinek czerwonych, które warunkują układ grupowy krwi AB0. W jego skład wchodzą trzy antygeny – H, A i B, czyli trzy łańcuchy cukrowe o różnej budowie. Zróżnicowanie antygenów powierzchniowych zapobiega rozwojowi pasożytów w organizmie człowieka. Jeśli np. bakterie chorobotwórcze wytworzą na swojej powierzchni antygen podobny do antygenu A, to rozwiną się one głównie u osób z grupą krwi A lub AB, ponieważ nie zostaną rozpoznane przez ich układ odpornościowy. Inaczej będzie u osób z grupami krwi 0 i B, dla których antygen A jest elementem obcym. Ich układy odpornościowe zareagują i uniemożliwią rozwój bakterii.



Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij, dlaczego integralne białka błonowe zawierają w swojej strukturze fragmenty hydrofobowe.
2. Podaj dwie funkcje białek występujących w błonie komórkowej.
3. Określ znaczenie płaszcza cukrowcowego dla funkcjonowania komórki i organizmu.

3.3. Transport przez błony biologiczne

Zwróć uwagę na:
- rodzaje transportu substancji przez błony biologiczne,
- rolę błony komórkowej w procesach osmotycznych.

Funkcjonowanie komórki jest uzależnione od wymiany substancji z otoczeniem. Wymiana ta nosi nazwę transportu błonowego.

Transport bierny i czynny

Ze względu na nakład energetyczny transport błonowy dzielimy na:

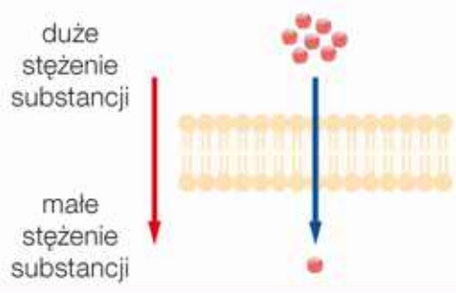
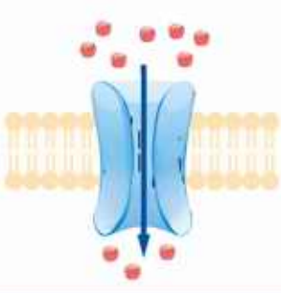
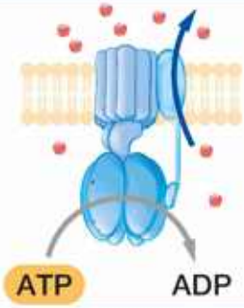
- **bierny** (pasywny) – zachodzi ze środowiska o większym stężeniu substancji rozpuszczonych do środowiska o ich mniejszym stężeniu, czyli zgodnie z różnicą (gradientem) stężeń. Dlatego nie wymaga nakładu energii. Może zachodzić bezpośrednio przez dwuwarstwę lipidową lub z udziałem białek błonowych;
- **czynny** (aktywny) – zachodzi ze środowiska o mniejszym stężeniu substancji rozpuszczonych do środowiska o ich większym stężeniu, czyli wbrew różnicy stężeń. Dlatego wymaga nakładu energii. Zachodzi z udziałem białek błonowych.

Transport bezpośrednio przez dwuwarstwę lipidową

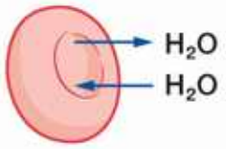
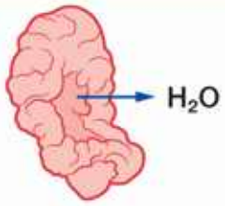
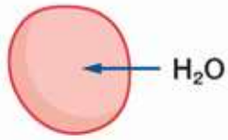
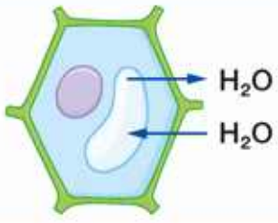
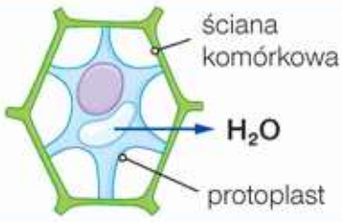
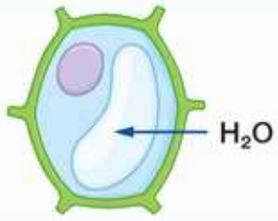
Jeśli substancje przenikają bezpośrednio przez dwuwarstwę lipidową, to mamy do czynienia z **dyfuzją prostą**. Zachodzi on zgodnie z gradientem stężeń, więc nie wymaga nakładu energii. Zdolność cząsteczek do dyfuzji przez błonę zależy od ich polarności i wielkości. Małe cząsteczki niepolarne, np. O_2, CO_2, przenikają bez przeszkód, a małe cząsteczki polarne, np. woda, glicerol, etanol – tylko w ograniczonym stopniu.

Osmoza

Odmianą dyfuzji prostej jest osmoza, która polega na **przenikaniu wody** przez błonę biologiczną. Czysta woda przepływa do roztworów substancji w sposób ciągły, ale w miarę upływu czasu tempo osmozy maleje, ponieważ roztwór ulega rozcieńczeniu. W przypadku dwóch roztworów o różnym stężeniu woda przepływa zawsze z roztworu mniej stężonego – **hipotonicznego** do bardziej stężonego – **hipertonicznego**. W efekcie następuje wyrównanie stężeń substancji rozpuszczonych po obu stronach błony. Błoną półprzepuszczalną mogą być rozdzielone również dwa roztwory o takim samym stężeniu, czyli **izotoniczne**. Wymieniają się one wodą, ale ilość wody przepływającej przez błonę w obu kierunkach jest taka sama.

Rodzaje transportu błonowego		
bierny		czynny
transport bezpośrednio przez dwuwarstwę lipidową – dyfuzja prosta (w tym osmoza)	transport z udziałem białek błonowych – dyfuzja ułatwiona	transport z udziałem białek błonowych
		

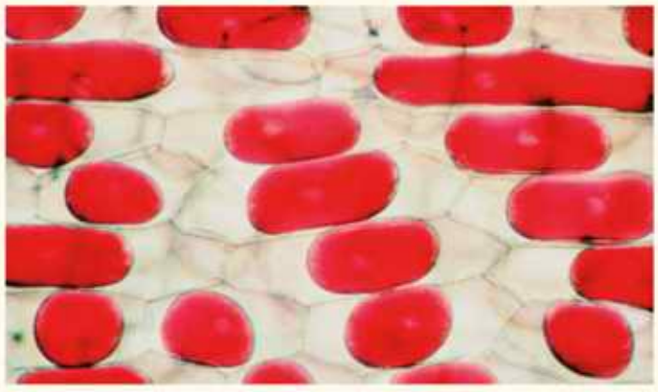
Osmoza w komórkach zwierzęcej i roślinnej

Komórka	Roztwór: Izotoniczny	Roztwór: Hipertoniczny	Roztwór: Hipotoniczny
zwierzęca (erytrocyt)			
	Wymienia osmotycznie wodę z otoczeniem, a ilość wody wpływającej do komórki jest taka sama jak ilość wody wypływającej.	Oddaje osmotycznie wodę do otoczenia, wskutek czego się kurczy i ostatecznie rozpada.	Pobiera osmotycznie wodę z otoczenia, wskutek czego pęcznieje i ostatecznie pęka.
roślinna (komórka miękiszowa)			
	Wymienia osmotycznie wodę z otoczeniem, a ilość wody wpływającej do komórki jest taka sama jak ilość wody wypływającej.	Oddaje osmotycznie wodę do otoczenia, co powoduje odwodnienie cytozolu oraz zmniejszenie objętości wakuoli. Skutkiem jest kurczenie się protoplastu i jego odstawanie od sztywnej ściany komórkowej. Zjawisko to nazywamy **plazmolizą**.	Pobiera osmotycznie wodę z otoczenia aż do osiągnięcia stanu maksymalnej jędrności. Następnie przestaje pobierać wodę, ponieważ nie pozwala jej na to sztywna ściana komórkowa. Jeśli w roztworze hipotonicznym umieścimy komórkę splazmolizowaną, zaobserwujemy **deplazmolizę**, czyli powrót komórki do stanu sprzed plazmolizy.

Obserwacja

Plazmoliza i deplazmoliza w komórkach skórki liścia spichrzowego cebuli

- **Etap I:** Zdejmij skórkę z wewnętrznej strony liścia spichrzowego cebuli, a następnie wykonaj preparat mikroskopowy. W tym celu umieść fragment skórki liścia w kropli roztworu sacharozy (15 g sacharozy na 100 cm^3 wody). Obserwuj kolejne stadia plazmolizy w komórkach. Wykonaj odpowiednie rysunki.
- **Etap II:** Umieść dużą kroplę wody destylowanej z jednej strony szkiełka nakrywkowego, pod którym znajdują się splazmolizowane komórki, a z drugiej – pasek bibuły laboratoryjnej o szerokości ok. 1 cm. Zaobserwuj kolejne stadia deplazmolizy w komórkach. Ponownie wykonaj rysunek.



Plazmoliza w komórkach skórki liścia spichrzowego cebuli (obraz spod mikroskopu optycznego, preparat barwiony). Na czerwono jest wybarwiony protoplast. Nie przylega on do ścian komórkowych, widocznych jako cienkie ciemne linie.

Doświadczenie

Odróżnianie substancji osmotycznie czynnych od osmotycznie biernych

Z procesem osmozy wiążą się pojęcia substancji osmotycznie czynnych (aktywnych) i biernych (nieaktywnych). **Substancje osmotycznie czynne** są rozpuszczalne w wodzie i powodują zmianę kierunku przepływu wody przez błonę. Natomiast **substancje osmotycznie bierne** są nierozpuszczalne w wodzie. Nie tworzą z nią roztworu, lecz zawiesinę (np. skrobia) lub emulsję (oleje). Nie powodują więc zmiany kierunku przepływu wody przez błonę.

- **Problem badawczy:** Czy glukoza i skrobia są substancjami osmotycznie czynnymi?
- **Hipoteza:** Glukoza jest substancją osmotycznie czynną, a skrobia – osmotycznie bierną.
- **Przebieg doświadczenia**

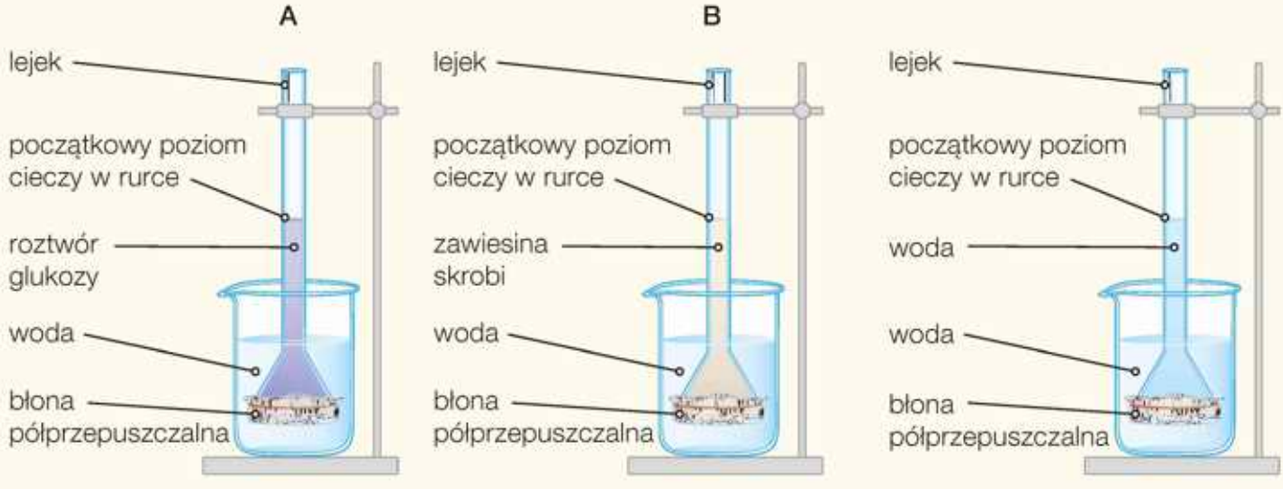
  Próby badawcze: A – szklany lejek z roztworem glukozy zamknięty błoną półprzepuszczalną i wstawiony do zlewki z wodą, B – szklany lejek z zawiesiną skrobi (kleikiem skrobiowym) zamknięty błoną półprzepuszczalną i wstawiony do zlewki z wodą.

  Próba kontrolna: szklany lejek z wodą destylowaną zamknięty błoną półprzepuszczalną i wstawiony do zlewki z wodą.

  Kleik skrobiowy otrzymuje się w wyniku zagotowania wody z dodatkiem mąki ziemniaczanej (mąka ziemniaczana zawiera skrobię).

  Przygotuj próby zgodnie z przedstawionym rysunkiem. Do lejka w próbie badawczej A wlej 5 cm^3 20% roztworu glukozy, a do lejka w próbie badawczej B – 5 cm^3 wcześniej przygotowanego kleiku skrobiowego. Następnie zamknij szczelnie szerokie wyloty lejków błoną półprzepuszczalną, np. celofanem, i umieść lejki w zlewkach miarowych napełnionych taką samą objętością wody destylowanej. Zaznacz flamastrem poziom roztworu glukozy i mieszaniny skrobi w lejkach. Próbę kontrolną przygotuj podobnie jak próby badawcze, ale do lejka wlej wodę destylowaną.

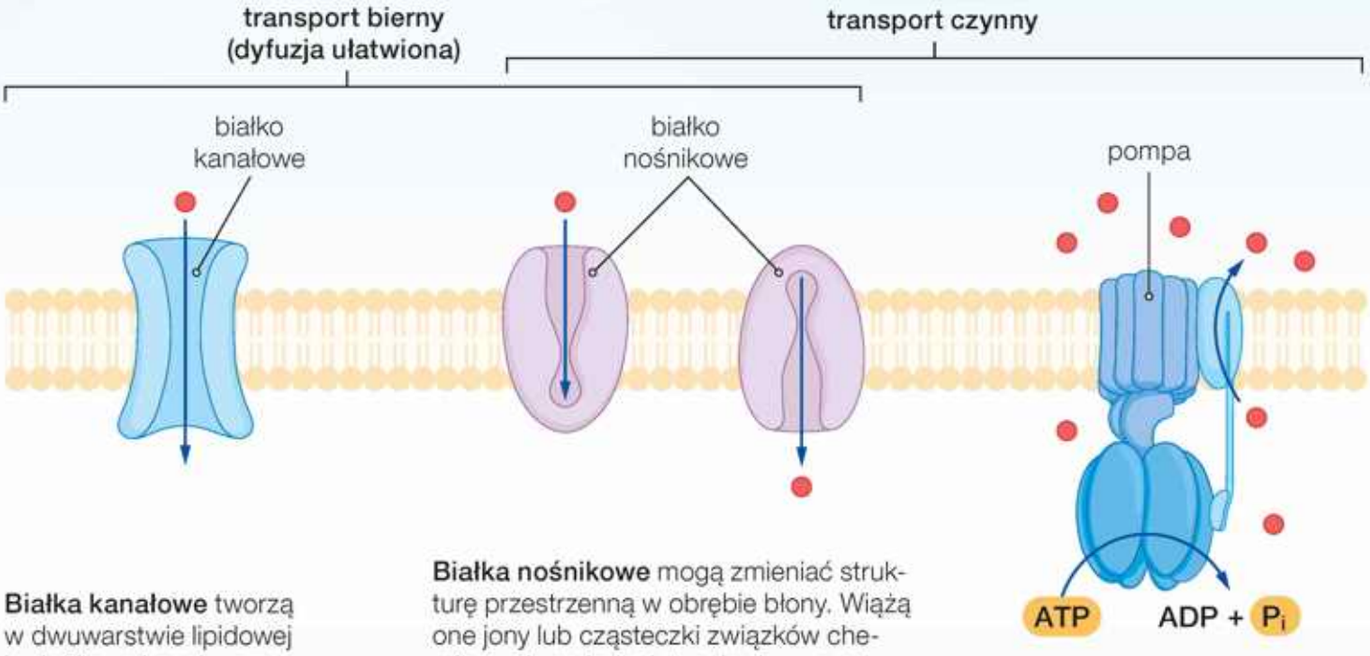
Próby badawcze **Próba kontrolna**



- **Wynik doświadczenia**: Po kilku godzinach sprawdź poziom cieczy w naczyniach.
- **Wniosek**: Sformułuj wniosek.
- **Wyjaśnienie**: Podniesienie się poziomu cieczy w lejku świadczy o przemieszczeniu się wody ze zlewki do wnętrza lejka. Nastąpiło ono tylko w tej próbie, która w lejku zawierała roztwór substancji osmotycznie czynnej. W pozostałych próbach poziom cieczy w lejkach nie uległ zmianie.

Transport przez błony biologiczne z udziałem białek błonowych

Transport substancji przez błony biologiczne z udziałem białek błonowych może się odbywać w sposób bierny – przez białka kanałowe lub białka nośnikowe, albo w sposób czynny – przez białka nośnikowe lub pompy.



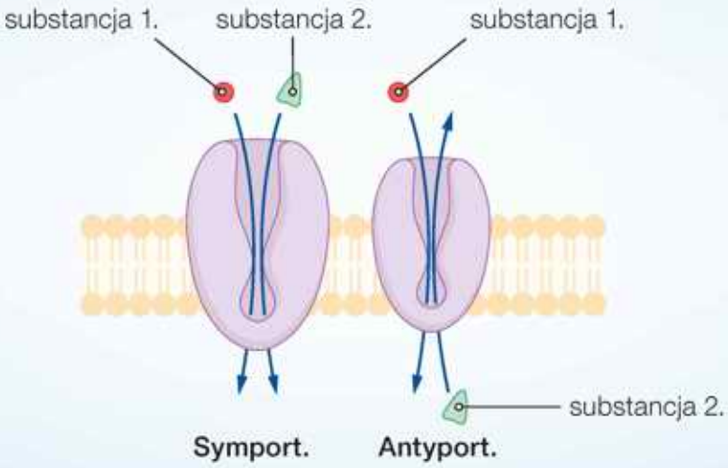
Białka kanałowe tworzą w dwuwarstwie lipidowej hydrofilowe kanały, przez które zgodnie z gradientem stężeń mogą być transportowane jony nieorganiczne oraz niewielkie, polarne cząsteczki związków chemicznych.

Białka nośnikowe mogą zmieniać strukturę przestrzenną w obrębie błony. Wiążą one jony lub cząsteczki związków chemicznych po jednej stronie dwuwarstwy, a następnie zmieniają strukturę przestrzenną i uwalniają transportowane substancje po drugiej stronie dwuwarstwy. Mogą przenosić substancje zgodnie z gradientem stężeń i wbrew gradientowi stężeń.

Pompy są podobne do białek nośnikowych, ale przenoszą substancje zawsze wbrew gradientowi stężeń.

Białka błonowe – transport sprzężony

Białka nośnikowe oraz pompy mogą transportować cząsteczki i jony w sposób sprzężony, czyli zależny od siebie. Oznacza to, że przeniesienie cząsteczki jednej substancji zależy od równoczesnego przeniesienia cząsteczki drugiej substancji. Jeśli transport obu cząsteczek odbywa się w tym samym kierunku, to mamy do czynienia z **symportem**, a jeśli w kierunkach przeciwnych – z **antyportem**.

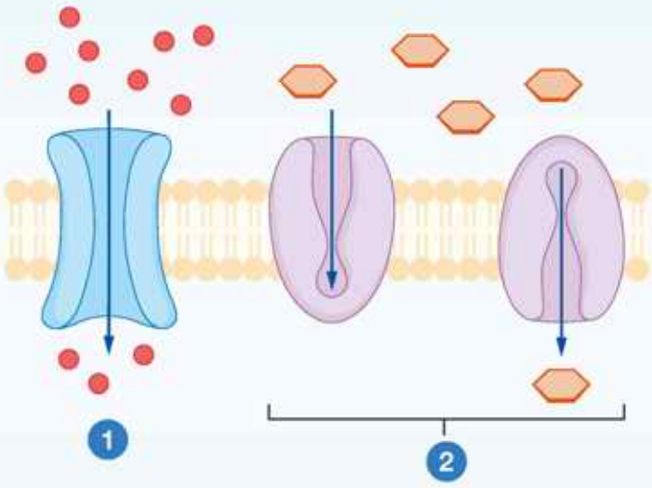


Transport bierny z udziałem białek błonowych – dyfuzja ułatwiona

Transport bierny substancji z udziałem białek błonowych nosi nazwę **dyfuzji ułatwionej**. Zachodzi on zgodnie z różnicą stężeń, dlatego nie wymaga nakładu energii. Za pomocą transportu biernego do wnętrza komórek wnika większość związków chemicznych potrzebnych im do życia. Są to m.in. cukry proste, aminokwasy i nukleotydy. Również produkty przemiany materii opuszczają komórki głównie za pomocą dyfuzji ułatwionej.

Rodzaje dyfuzji ułatwionej:

1. **Dyfuzja ułatwiona przez białka kanałowe** – sposób transportu niektórych jonów, np. jonów Na^+ przez kanały sodowe w błonach komórek nerwowych, oraz małych cząsteczek polarnych, np. cząsteczek wody przez kanały wodne (akwaporyny).
2. **Dyfuzja ułatwiona przez białka nośnikowe** – sposób transportu większych cząsteczek polarnych bez ładunku, np. glukozy przez błony krwinek czerwonych.

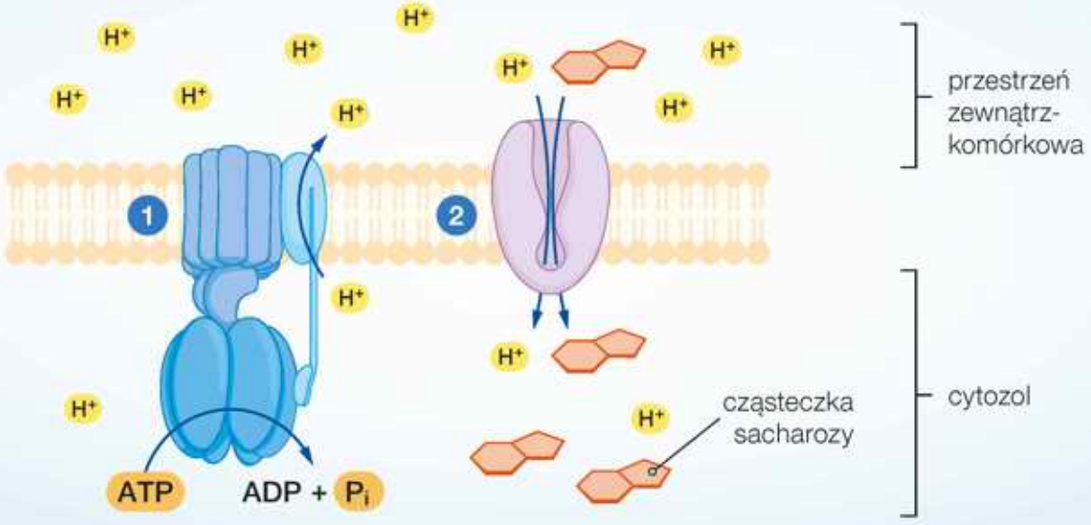


Transport czynny

Transport czynny substancji zachodzi wbrew różnicy stężeń i odbywa się za pomocą pomp oraz białek nośnikowych symportowych lub antyportowych. Pompy błonowe wymagają do pracy nakładu energii, której źródłem jest zwykle ATP. Białka nośnikowe symportowe lub antyportowe nie wymagają bezpośredniego nakładu energii, korzystają jednak z różnicy stężeń określonych jonów po obu stronach błony. Różnica ta jest wytwarzana przez pompy błonowe.

Rodzaje transportu czynnego:

1. **Transport czynny przez pompy błonowe** – sposób transportu jonów, np. jonów H^+ (protonów), na zewnątrz komórek roślinnych.
2. **Transport czynny przez białka nośnikowe** – sposób sprzężonego transportu jonów i cząsteczek związków chemicznych, np. symport sacharozy i jonów H^+, do wnętrza komórek roślinnych.



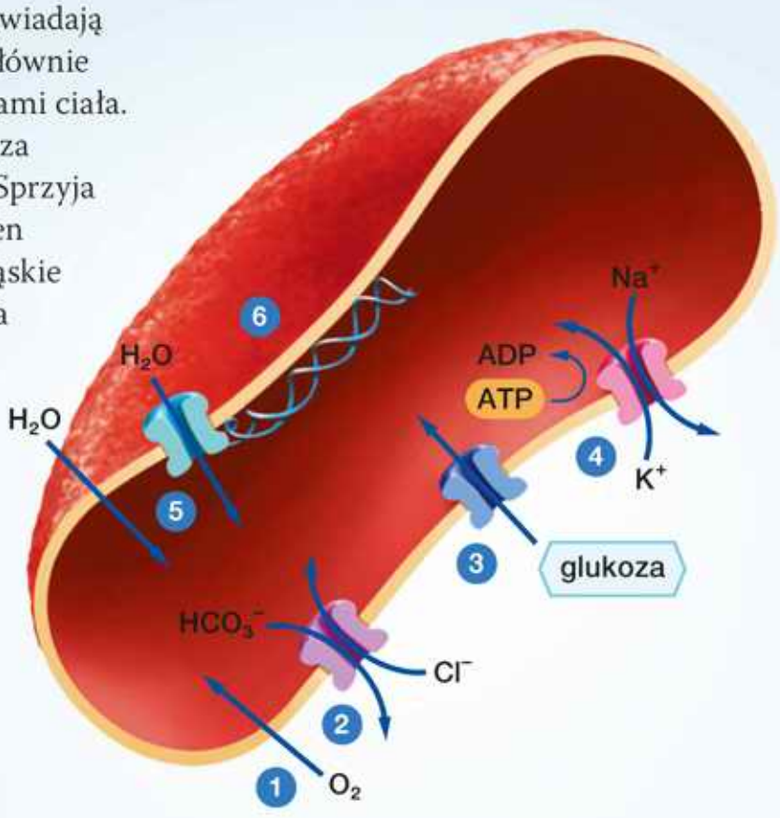
Pompa protonowa transportuje jony H^+ z cytozolu komórki roślinnej na zewnątrz z udziałem energii ATP.

Przenośnik symportowy transportuje sacharozę wspólnie z jonami H^+ do wnętrza komórki roślinnej dzięki różnicy stężeń protonów wytworzonej przez pompę protonową.

Dowiedz się więcej

Najlepiej poznana błona

Erytrocyty to komórki krwi, które odpowiadają za przenoszenie gazów oddechowych, głównie tlenu, między płucami a innymi narządami ciała. Mają one dwuwklęsły kształt, co zwiększa stosunek ich powierzchni do objętości. Sprzyja to wymianie gazowej. Ponadto kształt ten pozwala im na przeciskanie się przez wąskie naczynia krwionośne. Błona komórkowa erytrocytów została szczegółowo poznana, ponieważ komórki te są dostępne w dużych ilościach i łatwe do oddzielenia od pozostałych składników krwi. Umieszczone w roztworze hipotonicznym łatwo pękają, a powstałe w wyniku pęknięcia fragmenty błon nie są zanieczyszczone błonami organelli, ponieważ krwinki te nie mają organelli.



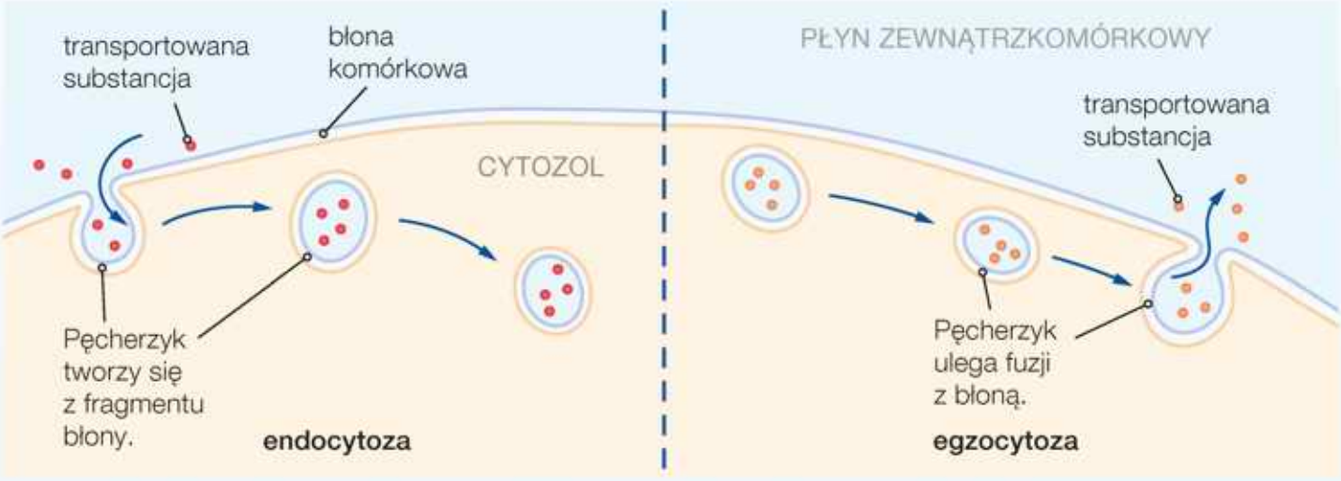
1. Podstawową funkcją erytrocytów jest transport tlenu z płuc do innych narządów ciała. Tlen przenika do krwinek na zasadzie dyfuzji prostej.
2. Erytrocyty transportują niewielkie ilości dwutlenku węgla z narządów ciała do płuc. Dwutlenek węgla w postaci jonów wodorowęglanowych (HCO_3^-) jest usuwany z krwinek na zasadzie antyportu z jonami chlorkowymi (Cl^-).
3. Erytrocyty nie mają mitochondriów, więc energię uzyskują dzięki fermentacji. Substratem tego procesu jest glukoza przenoszona do wnętrza komórek na drodze dyfuzji ułatwionej.
4. Aby prawidłowo funkcjonować, erytrocyty muszą być izotoniczne w stosunku do osocza krwi. W utrzymaniu równowagi osmotycznej uczestniczy pompa sodowo-potasowa, która na zasadzie antyportu przenosi jony potasu (K^+) do wnętrza komórki, a jony sodu (Na^+) na zewnątrz.
5. W utrzymaniu równowagi osmotycznej uczestniczy również woda. Wnika ona do erytrocytu dzięki dyfuzji prostej lub dyfuzji ułatwionej przez kanały wodne (akwaporyny).
6. Dwuwklęsły kształt, zwiększający wydajność wiązania tlenu, zapewnia erytrocytom białko – spektryna.

Transport pęcherzykowy

Transport pęcherzykowy polega na przenoszeniu ładunków (substancji chemicznych lub całych struktur) za pomocą pęcherzyków utworzonych z fragmentów błon biologicznych. Zachodzi on zarówno między komórką a jej środowiskiem, jak i między określonymi przedziałami komórki. Transportowane ładunki są otaczane fragmentami błon, które oddzielają się od błony komórkowej lub błon śródplazmatycznych, w wyniku czego powstają pęcherzyki transportujące. Wędrują one w cytozolu, a następnie zlewają się z błoną docelową i uwalniają swoją zawartość na zewnątrz komórki lub do światła organellum. Transport pęcherzykowy pociąga za sobą zmiany w strukturze błon, ponieważ oddzielanie się pęcherzyków powoduje ubytek powierzchni błon, a zlewanie się – wzrost powierzchni błon.

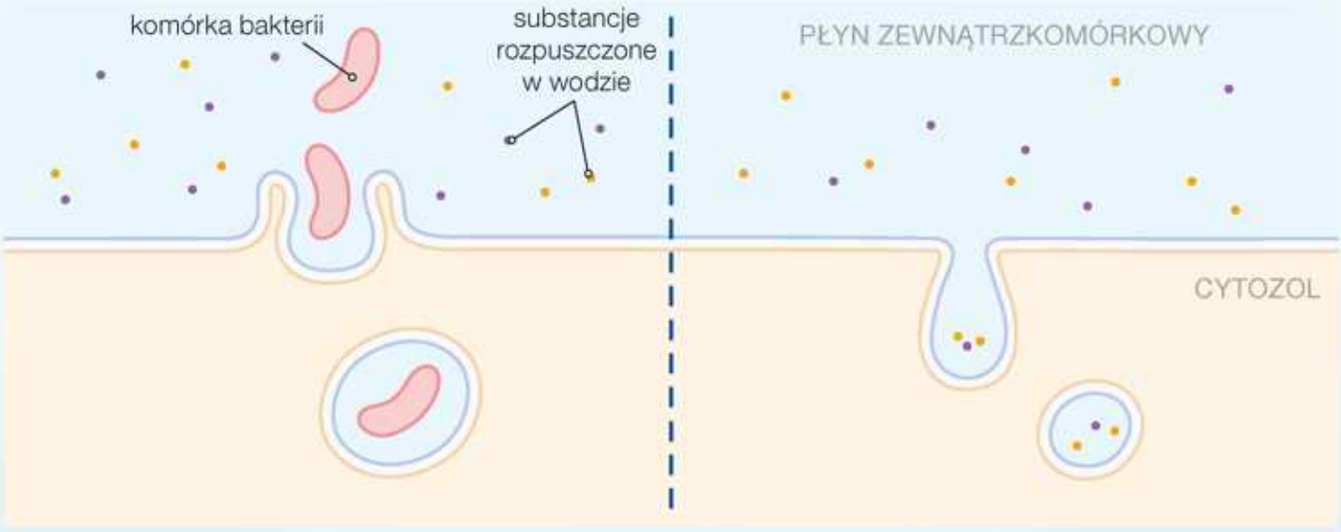
Endocytoza i egzocytoza

Transport pęcherzykowy między komórką a jej środowiskiem zachodzi zwykle wtedy, gdy transportowany ładunek jest zbyt duży, by przedostać się przez białka transportujące błon. Dlatego dotyczy on głównie substancji wielkocząsteczkowych, np. białek, lub całych struktur, np. mniejszych komórek. Jeśli transport polega na przenoszeniu ładunku ze środowiska komórki do jej wnętrza, to mamy do czynienia z **endocytozą**, a jeśli w kierunku przeciwnym – z **egzocytozą**.



Błona komórkowa ma stałą powierzchnię, ponieważ jej ubytki spowodowane endocytozą są uzupełniane dzięki egzocytozie.

Rodzaje endocytozy



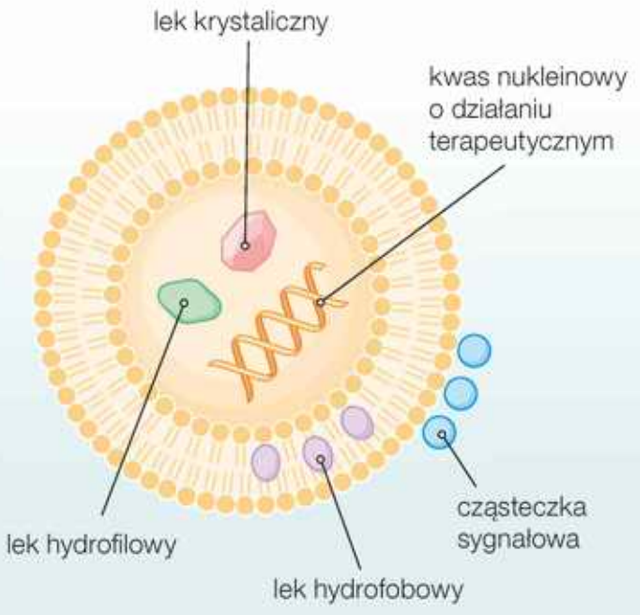
Fagocytoza to proces pobierania przez komórkę drobnych, nierozpuszczalnych cząstek, m.in. bakterii lub szczątków organicznych. Fagocytoza jest sposobem odżywiania się niektórych organizmów, m.in. protistów.

Pinocytoza to proces pobierania przez komórkę małych kropli płynów. Zawierają one substancje rozpuszczalne w wodzie. Pinocytoza jest sposobem odżywiania się niektórych organizmów, m.in. protistów.

Lek w pęcherzyku

Biologia w **medycynie**

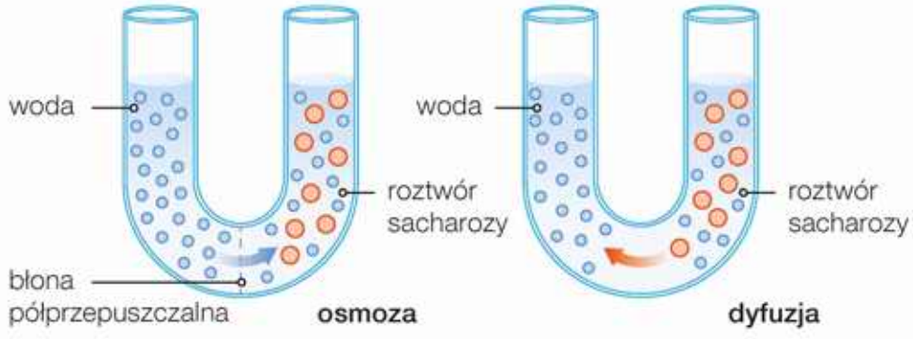
Liposomy są małymi fosfolipidowymi pęcherzykami, które łatwo zlewają się z błonami biologicznymi. Dzięki temu znalazły zastosowanie w medycynie jako nośniki leków. Wypełnia je wodny roztwór określonych substancji, dlatego mogą transportować leki hydrofilowe, leki w postaci krystalicznej lub małe cząsteczki kwasów nukleinowych stosowane w nowoczesnych terapiach. Z kolei hydrofobowe wnętrze dwuwarstwy fosfolipidowej jest doskonałym nośnikiem leków o budowie niepolarnej, np. steroidów. Syntetyczne liposomy zwykle zawierają powierzchniowe cząsteczki sygnałowe, które są rozpoznawane przez receptory komórek wymagających leczenia. Tylko z ich błonami komórkowymi zachodzi więc zlewanie się liposomów, dzięki czemu lek trafia do wybranych komórek. Dzięki ukierunkowanemu transportowi leków do określonych komórek ciała terapia z użyciem liposomów jest zwykle bardzo skuteczna.



Polecenia kontrolne

1. Na podstawie tekstu określ rodzaj transportu glukozy ze względu na nakład energii:
   a) ze światła jelita cienkiego do komórki nabłonka jelita,
   b) z komórki nabłonka jelita do płynu zewnątrzkomórkowego.

   W komórce jelita cienkiego stężenie glukozy jest większe niż w świetle jelita, dlatego jej transport odbywa się wspólnie z jonami Na^+, które zostały wypompowane z komórki przez pompę sodowo-potasową. W płynie zewnątrzkomórkowym stężenie glukozy jest mniejsze niż w komórce jelita cienkiego, a jej transport odbywa się przez białko nośnikowe.
2. Wymień różnice między transportem biernym a czynnym.
3. Na podstawie rysunku porównaj procesy osmozy i dyfuzji zachodzącej bez udziału błony selektywnie przepuszczalnej. Podaj jedno podobieństwo i jedną różnicę między tymi procesami.



4. Określ skutki umieszczenia komórki roślinnej oraz komórki zwierzęcej w roztworach: hipotonicznym, izotonicznym i hipertonicznym.
5. Określ cechę błony biologicznej, która pozwala na zlewanie się pęcherzyków transportujących z błonami komórkowymi.

3.4. Jądro komórkowe. Cytozol

Zwróć uwagę na:
- związek między budową jądra komórkowego a jego rolą w komórce,
- znaczenie cytoszkieletu w funkcjonowaniu komórki.

Jądro komórkowe jest strukturą pełniącą nadrzędną rolę w funkcjonowaniu komórki eukariotycznej. Zawiera ono materiał genetyczny, dzięki czemu kontroluje przebieg większości procesów życiowych komórki i umożliwia jej podział. Pozostałe organelle komórkowe wraz z cytozolem tworzą **cytoplazmę** komórki.

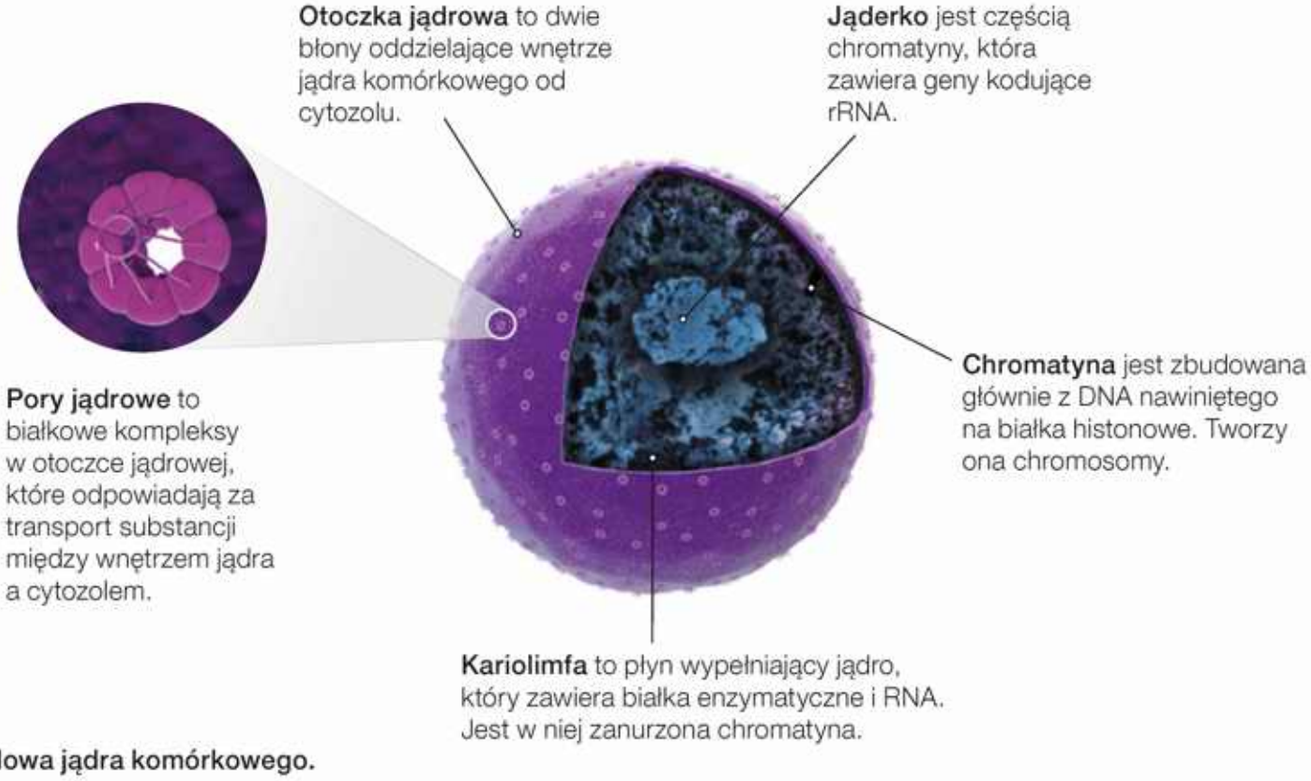
Jądro komórkowe

Jądro komórkowe jest strukturą charakterystyczną dla komórek eukariotycznych. Większość z nich ma jedno jądro komórkowe, ale są też takie, np. włókna mięśni szkieletowych, które zawierają kilka, a nawet kilkaset jąder. W niektórych dojrzałych komórkach, m.in. w erytrocytach większości ssaków oraz w rurkach sitowych łyka roślin, jądro komórkowe nie występuje, ponieważ zanikło w trakcie rozwoju tych komórek.

Budowa jądra komórkowego

Jądro komórkowe jest otoczone dwiema błonami, które tworzą **otoczkę jądrową**. Jego wnętrze wypełnia płyn – **kariolimfa**, w którego skład wchodzą m.in. białka enzymatyczne i RNA, oraz w którym zanurzona jest **chromatyna**. Chromatyna jest zbudowana głównie z kwasu deoksyrybonukleinowego (DNA) nawiniętego na białka histonowe. W jądrze komórkowym DNA występuje w postaci liniowych cząsteczek. Obecnie większość naukowców taką **pojedynczą cząsteczkę DNA** nazywa **chromosomem**. W trakcie podziału komórki chromosomy ulegają kondensacji.

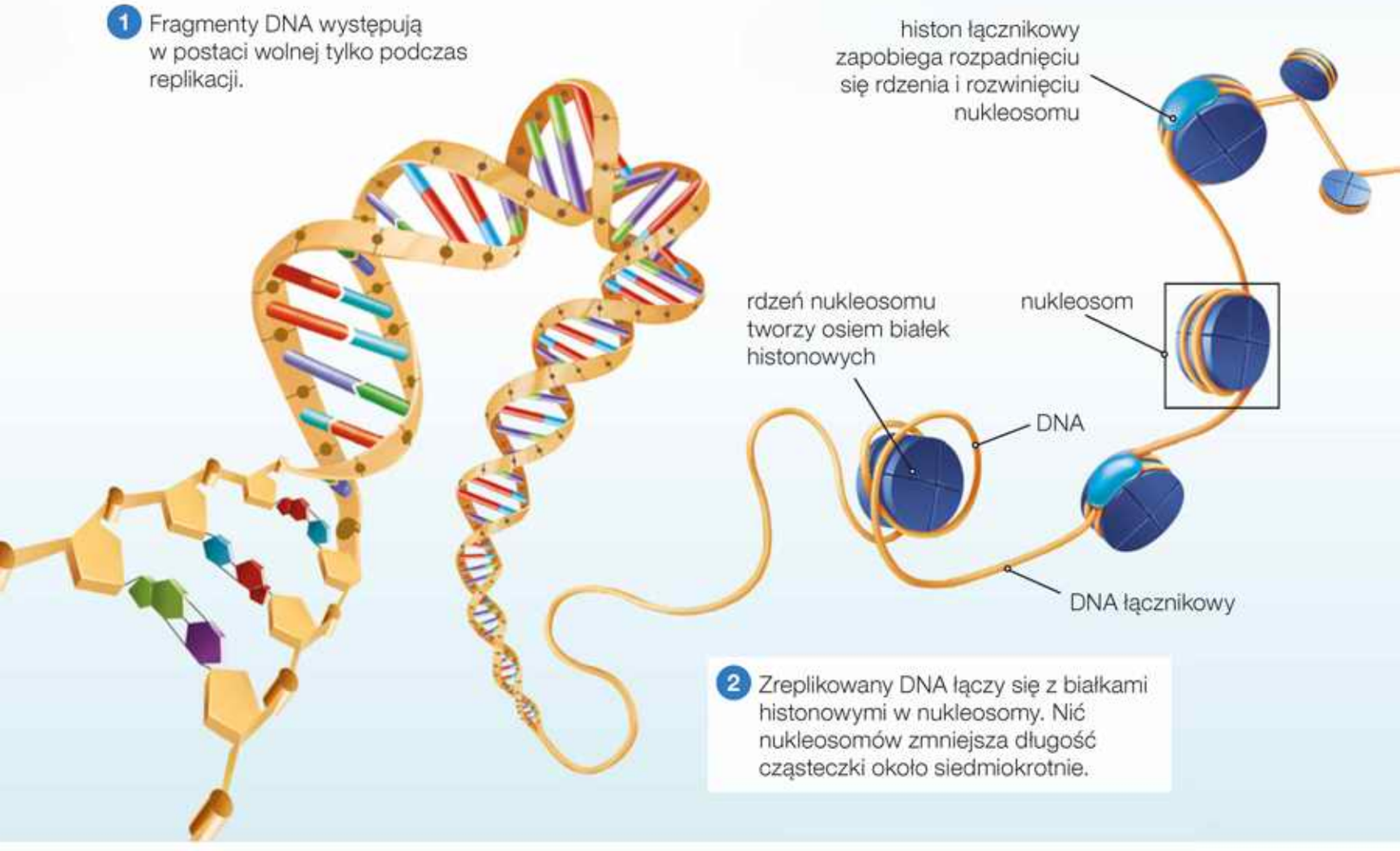
Częścią chromatyny jest też **jąderko**. Zawiera ono geny kodujące rRNA. W jąderku zachodzi synteza rRNA oraz proces jego łączenia się z białkami w podjednostki rybosomów, transportowane następnie do cytozolu.



Budowa jądra komórkowego.

Upakowanie DNA w jądrze komórkowym

Łączna długość cząsteczek DNA w jądrze komórki człowieka wynosi około 2 m, podczas gdy średnica jądra komórkowego ma zaledwie 5–8 μm. Aby cząsteczki DNA mogły się zmieścić w tak małej przestrzeni, muszą być odpowiednio upakowane. Jest to możliwe dzięki ich łączeniu się z białkami histonowymi za pomocą wiązań jonowych.



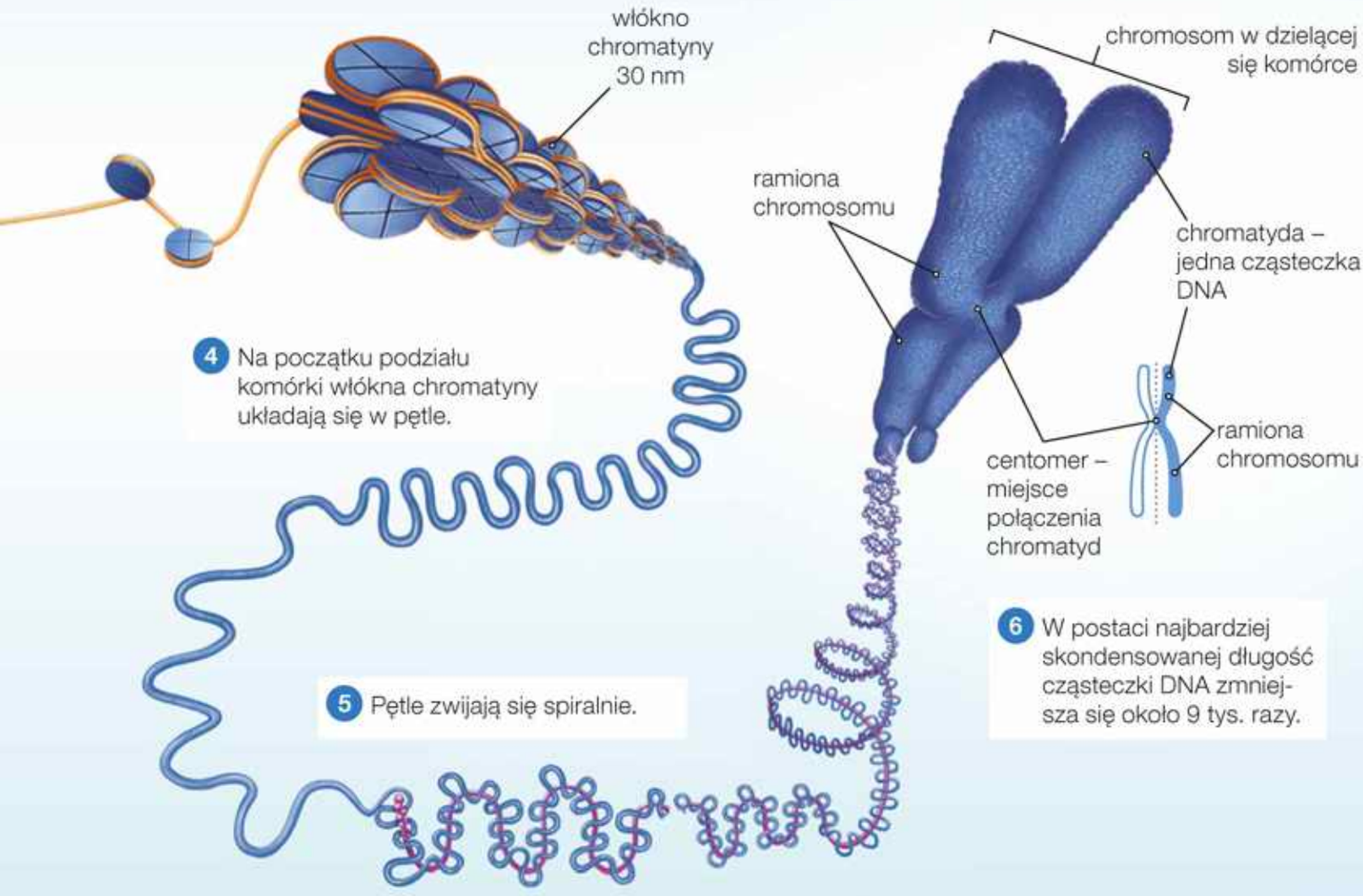
Funkcje jądra komórkowego

Do głównych funkcji jądra komórkowego należą:

- kontrolowanie przebiegu większości procesów życiowych komórki,
- powielanie i przekazywanie materiału genetycznego do komórek potomnych oraz organizmów potomnych.

Cząsteczki DNA, które znajdują się w jądrze komórkowym, są bardzo długie i zawierają wiele genów. Nie opuszczają one jądra komórkowego, ale stanowią wzorzec do syntezy znacznie krótszych cząsteczek mRNA, tRNA i rRNA. Cząsteczki mRNA i tRNA bezpośrednio po syntezie są transportowane do cytozolu. Z kolei cząsteczki rRNA łączą się w jądrze z białkami, w wyniku czego tworzą podjednostki rybosomów, które następnie opuszczają jądro.

W cytozolu komórki, na podstawie informacji zawartej w mRNA, z udziałem tRNA i rybosomów, są wytwarzane białka. Całość procesów prowadzących od syntezy RNA aż do syntezy białek nazywamy **ekspresją genów**. Białka – ostateczne produkty ekspresji genów – są głównym składnikiem budulcowym komórek i tkanek oraz odgrywają kluczową rolę w ich metabolizmie. Poprzez kontrolę syntezy białek jądro komórkowe bierze udział w nadzorowaniu przebiegu większości procesów życiowych komórki.



3 W okresie między podziałami komórki nić nukleosomów jest zwinięta w helisę. W tej postaci DNA zajmuje 40 razy mniej miejsca niż przed upakowaniem.

4 Na początku podziału komórki włókna chromatyny układają się w pętle.

5 Pętle zwijają się spiralnie.

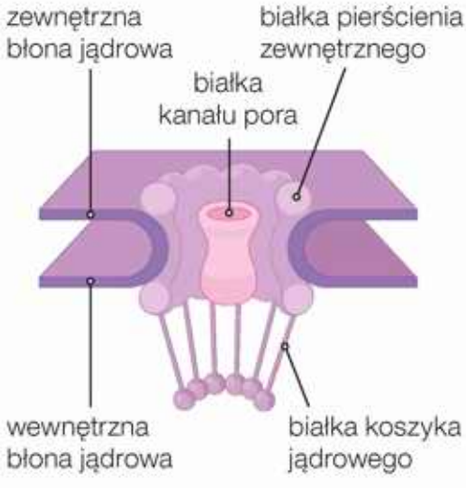
6 W postaci najbardziej skondensowanej długość cząsteczki DNA zmniejsza się około 9 tys. razy.

7 Chromosom w dzielącej się komórce składa się z dwóch jednakowych cząsteczek DNA, zwanych chromatydami siostrzanymi.

Dowiedz się więcej

Transport przez pory jądrowe

Jądro komórkowe jest otoczone dwiema błonami, które tworzą otoczkę jądrową. Obecność aż dwóch barier uniemożliwia swobodny transport substancji między wnętrzem jądra a cytozolem. Dlatego niemal cały transport substancji odbywa się przez pory jądrowe, których liczba w otoczce jądrowej zależy od aktywności metabolicznej komórki. Komórki o dużej aktywności metabolicznej mają znacznie więcej porów jądrowych od komórek o małej aktywności metabolicznej. Z jądra do cytozolu przez pory jądrowe są transportowane głównie: mRNA, tRNA oraz podjednostki rybosomów. Z kolei z cytozolu do jądra wędrują przede wszystkim: białka histonowe, enzymy oraz wolne nukleotydy.



Doświadczenie – jak to odkryto?

Odkrywanie roli jądra komórkowego w komórce

W 1931 r. Joachim Hammerling [wym. Joachim Hamerling] przeprowadził doświadczenie dotyczące roli jądra komórkowego w komórce. Obiektem jego badań były osiadłe, jednokomórkowe zielenice – *Acetabularia crenulata* oraz *Acetabularia mediterranea*. Komórki zielenic z rodzaju *Acetabularia* (parasolowiec) są bardzo duże. Mają ok. 7 cm długości i składają się z trzech części: chwytnika, trzonka i parasolowatego kapelusza. Jądra komórkowe parasolowców są zlokalizowane w części chwytnikowej. Organizmy te charakteryzują się wyjątkową zdolnością regeneracji.



Komórki parasolowców są doskonałym obiektem badań, ponieważ można je obserwować bez użycia mikroskopu.

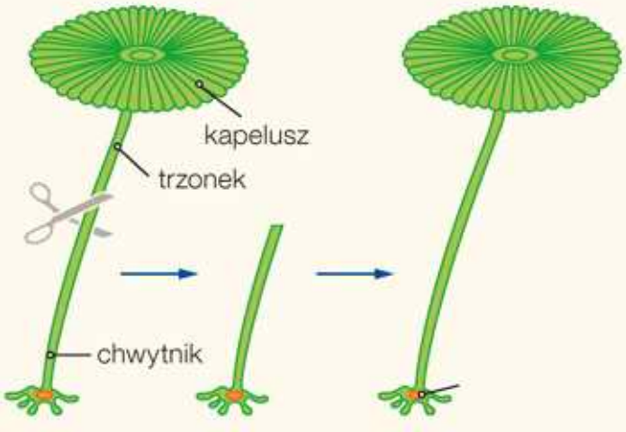
- **Problem badawczy:** Wpływ jądra komórkowego na kształt kapelusza u zielenic z rodzaju *Acetabularia*.
- **Hipoteza:** Jądro komórkowe wpływa na kształt kapelusza u zielenic z rodzaju *Acetabularia*.
- **Przebieg doświadczenia:** W próbach kontrolnych Hammerling odcinał kapelusze z komórek obu gatunków zielenic. Natomiast w próbach badawczych przeprowadził dwa warianty doświadczenia.

  W pierwszym wariancie z komórek obu gatunków zielenic odcinał kapelusz. Pozostałe części komórki przecinał u podstawy trzonka, tak by oddzielić trzonki od chwytników z jądrami komórkowymi. Następnie trzonek pochodzący z komórki *Acetabularia crenulata* łączył z chwytnikiem pochodzącym z komórki *Acetabularia mediterranea* i na odwrót.

  W drugim wariancie doświadczenia Hammerling odcinał komórkom obu gatunków zielenic chwytniki, a następnie łączył ze sobą ich nasady.

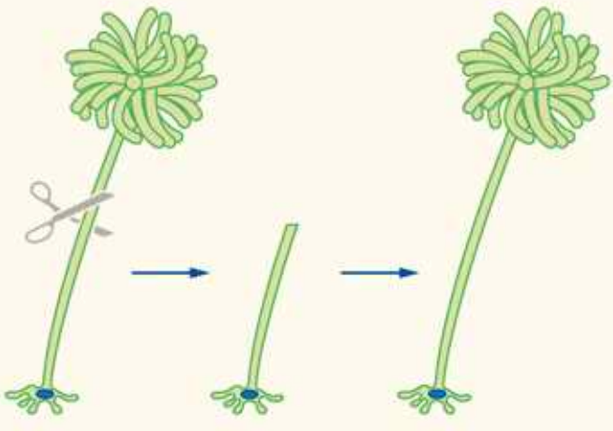
Próby kontrolne

Acetabularia mediterranea



Po odcięciu kapelusza z komórki *Acetabularia mediterranea* regeneruje się kapelusz o takim samym kształcie.

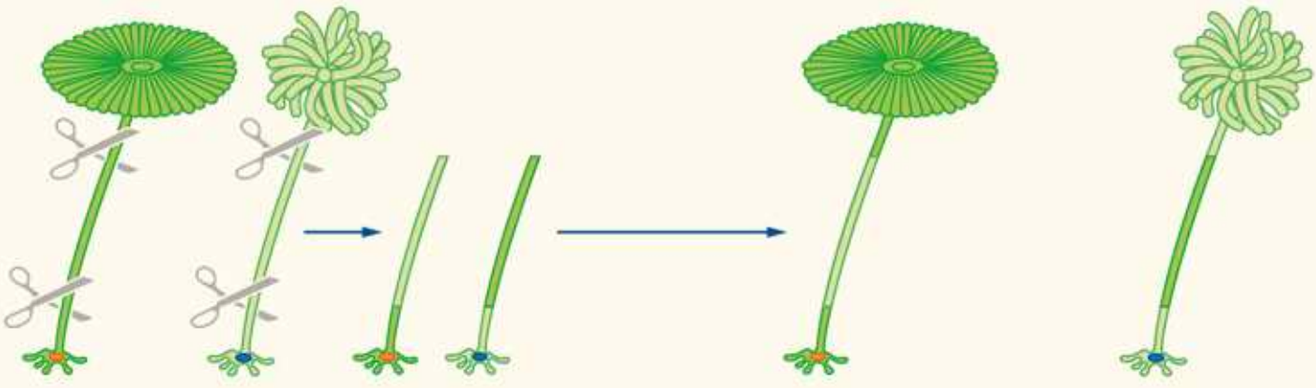
Acetabularia crenulata



Po odcięciu kapelusza z komórki *Acetabularia crenulata* regeneruje się kapelusz o takim samym kształcie.

Próby badawcze

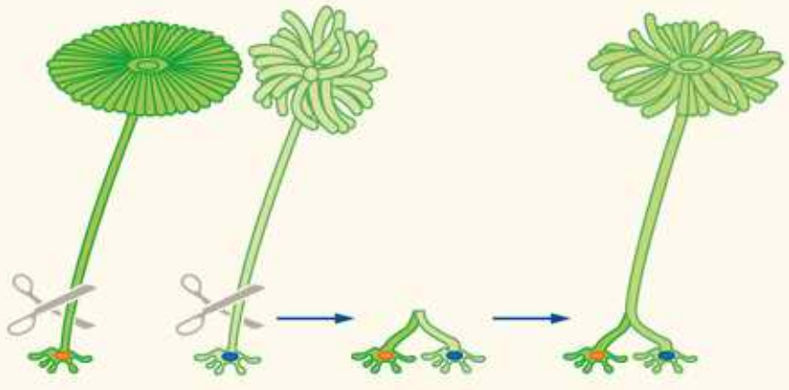
Wariant 1.



Wynik a: Po połączeniu trzonka pochodzącego z komórki *Acetabularia crenulata* z chwytnikiem pochodzącym z komórki *Acetabularia mediterranea* regeneruje się kapelusz o kształcie charakterystycznym dla *Acetabularia mediterranea*.

Wynik b: Po połączeniu trzonka pochodzącego z komórki *Acetabularia mediterranea* z chwytnikiem pochodzącym z komórki *Acetabularia crenulata* regeneruje się kapelusz o kształcie charakterystycznym dla *Acetabularia crenulata*.

Wariant 2.



Po połączeniu ze sobą nasad chwytników pochodzących z komórek *Acetabularia mediterranea* i *Acetabularia crenulata* regeneruje się kapelusz o kształcie pośrednim między kształtem charakterystycznym dla *Acetabularia mediterranea* a *Acetabularia crenulata*.

- **Wynik doświadczenia**: W wariancie 1. doświadczenia o kształcie kapelusza u *Acetabularia mediterranea* i *Acetabularia crenulata* decydują jądra komórkowe znajdujące się w chwytnikach, a nie trzonki, z których kapelusz bezpośrednio wyrasta. W wariancie 2. doświadczenia o kształcie kapelusza decydują jądra znajdujące się w połączonych chwytnikach obu gatunków zielenic.
- **Wniosek**: Jądro komórkowe warunkuje kształt kapelusza u zielenic z rodzaju *Acetabularia*.

Cytozol

Cytozol jest wodnym, koloidalnym roztworem substancji organicznych, głównie białek, oraz substancji nieorganicznych. Oprócz białek rozpuszczalnych w skład cytozolu wchodzą również nierozpuszczalne białka włókienkowe. Tworzą one włókna **cytoszkieletu**, czyli skomplikowanej, dynamicznej sieci o wielu funkcjach. Cytoszkielet występuje we wszystkich komórkach eukariotycznych, a w jego skład wchodzą trzy rodzaje struktur: **filamenty aktynowe**, **filamenty pośrednie** i **mikrotubule**.

Filamenty aktynowe

Filamenty aktynowe (mikrofilamenty) są zbudowane z białka – **aktyny**. Największa ich liczba występuje pod błoną komórkową, co pozwala na kontrolowanie zmian kształtu komórki i nadaje błonie wytrzymałość mechaniczną.

Funkcje filamentów aktynowych:

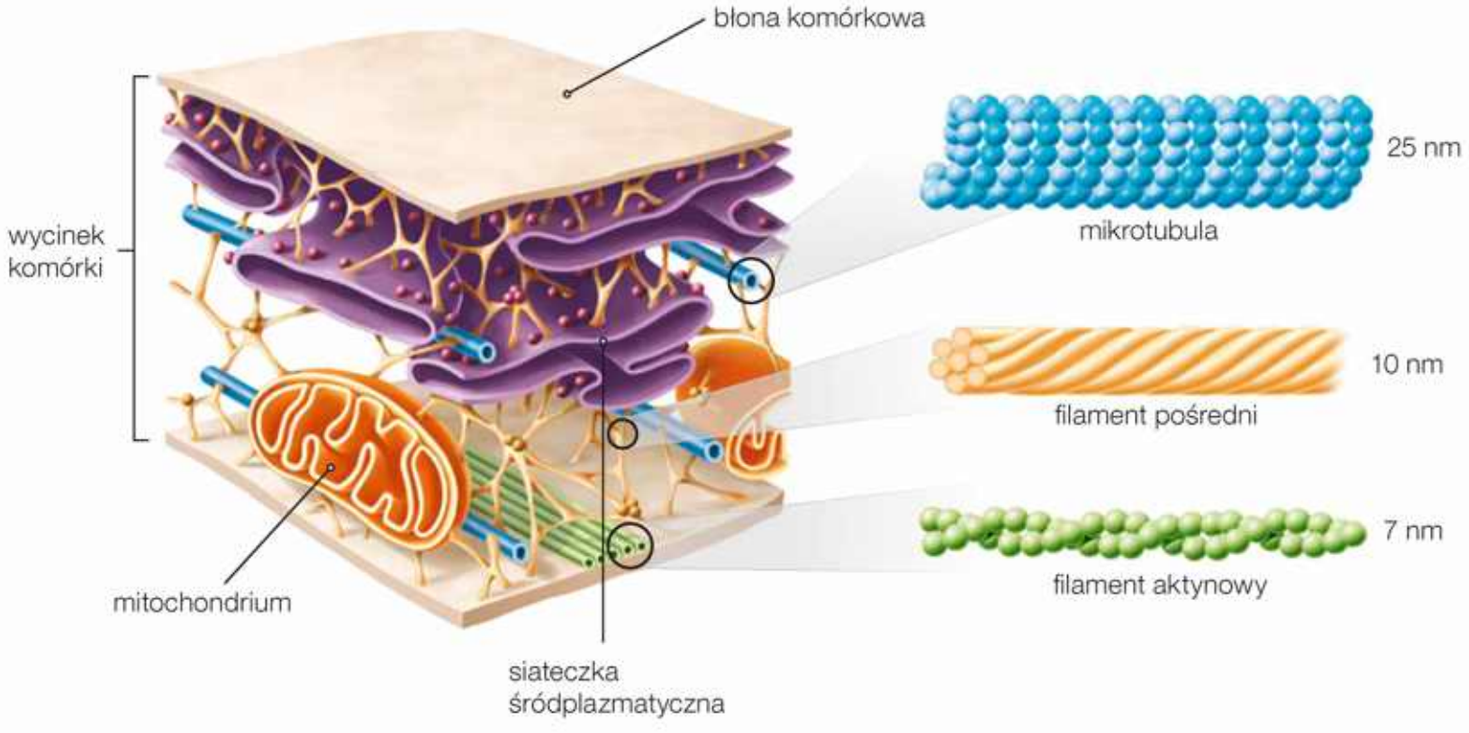
- umożliwiają ruch pełzakowaty komórek,
- umożliwiają skurcze mięśni u zwierząt tkankowych,
- pozwalają na ruch w obrębie komórki, np.
  - otaczanie cząstek pokarmowych błoną komórkową podczas fagocytozy,
  - ruch organelli,
  - ruch cytozolu, który umożliwia transport substancji między organellami oraz między organellami a środowiskiem zewnętrznym komórki.

W komórkach roślinnych ruch cytozolu odbywa się wokół wakuol. Może zachodzić jednokierunkowo lub naprzemiennie – raz w jednym, raz w drugim kierunku.

Filamenty pośrednie

Filamenty pośrednie to włókienka różnych białek, m.in. **keratyny**. Są one sztywne i bardzo wytrzymałe, dlatego pełnią w komórce funkcję wzmacniającą. Zapewniają m.in. wytrzymałość na uszkodzenia mechaniczne, np. na pękanie pod wpływem rozciągania. Filamenty pośrednie tworzą gęstą sieć, która otacza jądro komórkowe i rozciąga się do krańców komórki, gdzie łączy się z błonami komórkowymi. Sieć ta jest bardzo dobrze rozwinięta w komórkach szczególnie narażonych na urazy mechaniczne, np. w komórkach nabłonka. Filamenty pośrednie znajdują się również w jądrze komórkowym, gdzie wzmacniają wewnętrzną powierzchnię otoczki jądrowej oraz stabilizują włókna chromatyny.

Lokalizacja włókien cytoszkieletu w komórce



Mikrotubule

Mikrotubule mają postać długich rurek zbudowanych z białka – **tubuliny**. Są one dynamicznymi strukturami, które mogą zanikać i znowu się pojawiać oraz wydłużać się lub skracać.

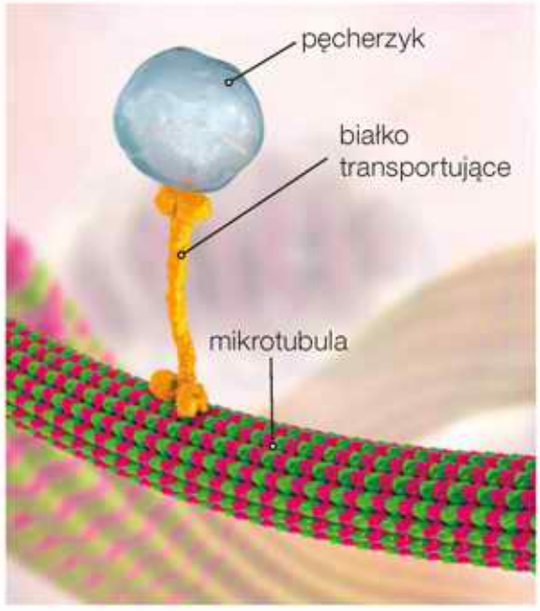
Funkcje mikrotubul:

- utrzymują organelle komórkowe w odpowiednim położeniu w komórce,
- tworzą szlaki transportu wewnątrzkomórkowego, wzdłuż których przemieszczają się substancje, organelle i pęcherzyki transportujące,
- budują wrzeciono podziałowe podczas podziałów komórkowych; w komórkach zwierzęcych głównym ośrodkiem ich formowania jest centrosom – struktura umiejscowiona w pobliżu jądra komórkowego,
- budują rusztowanie rzęsek i wici w komórkach eukariotycznych.

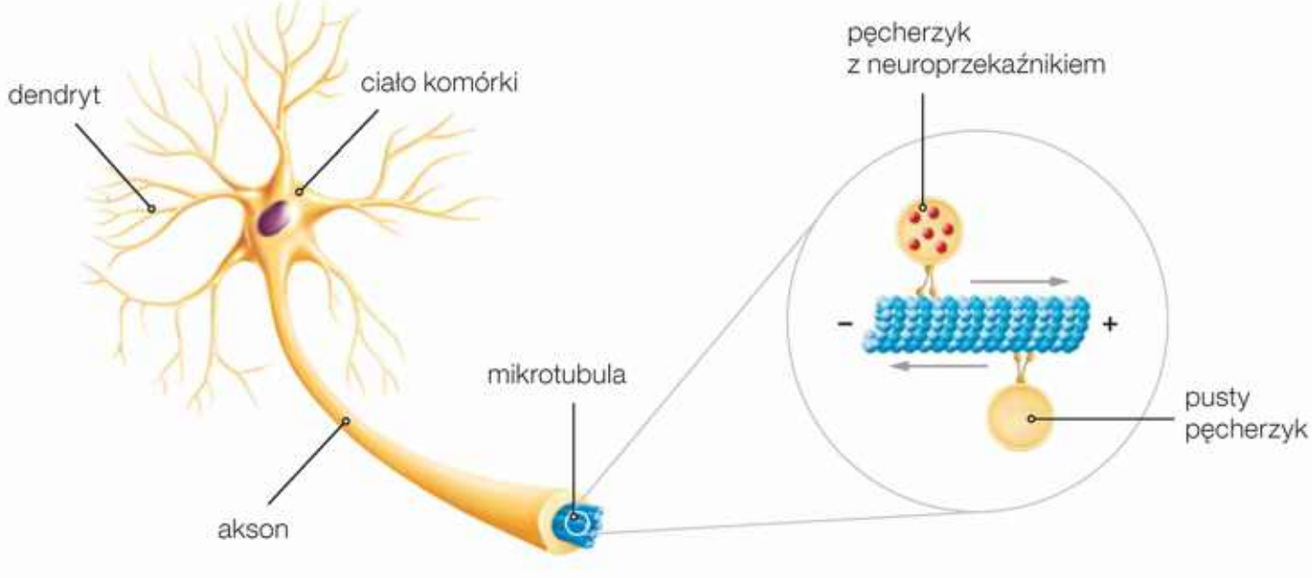
Dowiedz się więcej

Komórkowe szlaki transportu

Większość wyspecjalizowanych komórek eukariotycznych ma dwa bieguny o różnej budowie i różnych funkcjach. W neuronie jeden biegun stanowi ciało komórki z dendrytami, a drugi – akson. W ciele neuronu są produkowane neuroprzekaźniki, które w pęcherzykach wędrują do zakończenia aksonu. Tam zachodzi ich egzocytoza, co z kolei umożliwia pobudzenie następnego neuronu. Ukierunkowaną wędrówkę pęcherzyków zapewniają mikrotubule, które również mają dwa różnie zbudowane końce, określane symbolami „–" i „+". Mikrotubule neuronu są ułożone biegunem „–" w kierunku ciała komórki, a biegunem „+" w kierunku zakończenia aksonu. Z mikrotubulami łączą się dwa rodzaje białek. Jeden rodzaj transportuje pęcherzyki z neuroprzekaźnikiem od bieguna „– " do bieguna „+". Drugi rodzaj transportuje puste pęcherzyki w przeciwnym kierunku. Puste pęcherzyki są rozkładane w lizosomach lub wykorzystywane do ponownego transportu neuroprzekaźników.



Transport substancji z udziałem białek łączących się z mikrotubulami jest znacznie szybszy i bardziej wydajny niż zwykła dyfuzja.

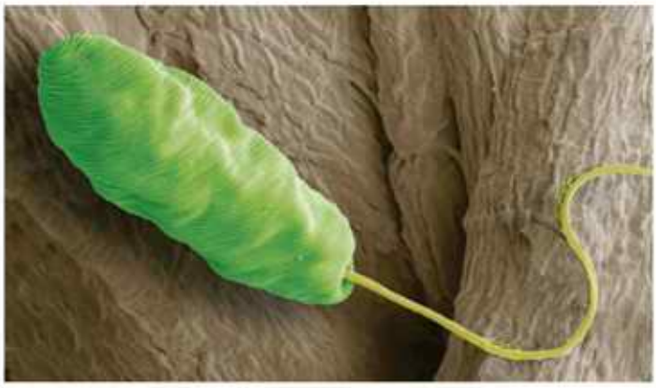


Wici i rzęski

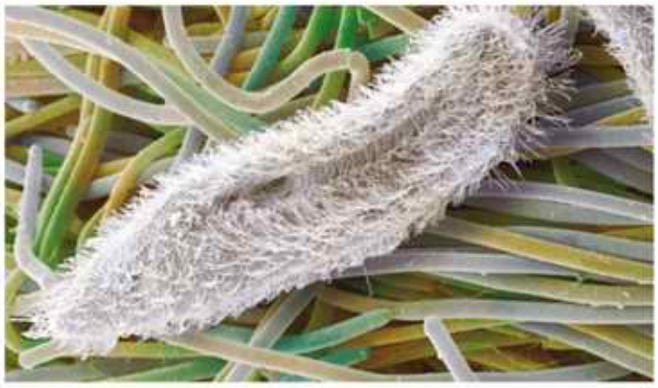
Wici i rzęski stanowią narządy ruchu komórek. W komórkach eukariotycznych są one cytoplazmatycznymi wypustkami okrytymi błoną komórkową, a ich trzon tworzą **mikrotubule** o charakterystycznym układzie – dziewięć par na obwodzie i jedna para w środku. Mikrotubule wyrastają z **ciałka podstawowego**, zlokalizowanego pod błoną komórkową. Wici i rzęski mają identyczny plan budowy. Różnice między nimi dotyczą jedynie liczby i długości – rzęski są krótkie i liczne, wici zaś – długie i występują pojedynczo lub po kilka.



Plan budowy rzęski i wici.



Wici (obraz spod SEM) występują głównie u protistów zwanych wiciowcami.

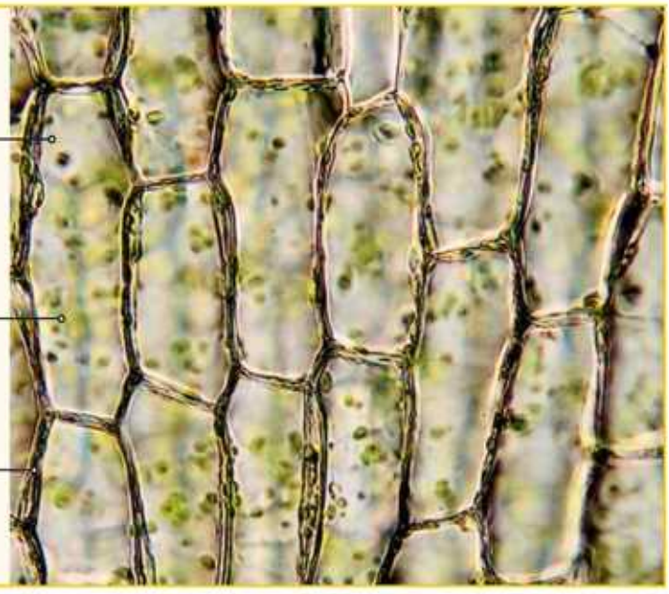


Rzęski (obraz spod SEM) występują głównie u protistów zwanych orzęskami.

Obserwacja

Obserwacja ruchu cytozolu w komórkach liści moczarki kanadyjskiej

Wykonaj wodny preparat mikroskopowy z liści pochodzących ze szczytowej części pędu moczarki kanadyjskiej. Rośliny zanurz w ciepłej wodzie – ok. 37°C. Następnie, aby przyspieszyć ruch cytoplazmy, podgrzej preparat – umieść go na 60 min w świetle żarówki o mocy 100 W w odległości ok. 30 cm. Zaobserwuj pod mikroskopem przemieszczanie się cytozolu w komórkach.



Polecenia kontrolne

1. Określ rolę białek histonowych w upakowaniu DNA w jądrze komórkowym.
2. Wyjaśnij, jakie znaczenie ma obecność porów jądrowych w otoczce jądrowej.
3. Wykaż związek między budową jądra komórkowego a jego funkcją w komórce.
4. Określ znaczenie mikrotubul w funkcjonowaniu komórki.

3.5. Mitochondria i plastydy. Teoria endosymbiozy

Zwróć uwagę na:
- budowę mitochondriów i chloroplastów,
- argumenty przemawiające za endosymbiotycznym pochodzeniem mitochondriów i plastydów.

Mitochondria i plastydy to organelle komórkowe otoczone dwiema błonami, odpowiedzialne głównie za procesy przetwarzania energii. Niektóre typy plastydów pełnią funkcję magazynującą lub funkcje związane z interakcjami występującymi między roślinami a innymi organizmami.

Mitochondria

Mitochondria są owalnymi lub kulistymi strukturami, które występują we wszystkich komórkach eukariotycznych oddychających tlenowo. Powstają one przez podział mitochondriów już istniejących.

Mitochondria odpowiadają za **uwalnianie energii** ze związków organicznych w procesie oddychania tlenowego oraz za jej gromadzenie w ATP. Im większe jest zapotrzebowanie energetyczne komórki, tym większa liczba występujących w niej mitochondriów. Od zapotrzebowania energetycznego komórki zależy również powierzchnia wewnętrznej błony mitochondriów. Błona ta jest pofałdowana i tworzy **grzebienie mitochondrialne**. Im wyższy jest poziom metabolizmu komórki, tym bardziej pofałdowana jest błona.

Mitochondria w komórce są w ciągłym ruchu, ale ich rozmieszczenie nie jest przypadkowe. Zależy m.in. od umiejscowienia substancji, które są substratami oddychania tlenowego, oraz od lokalnego zapotrzebowania na energię. Na przykład w plemnikach mitochondria znajdują się u podstawy wici.

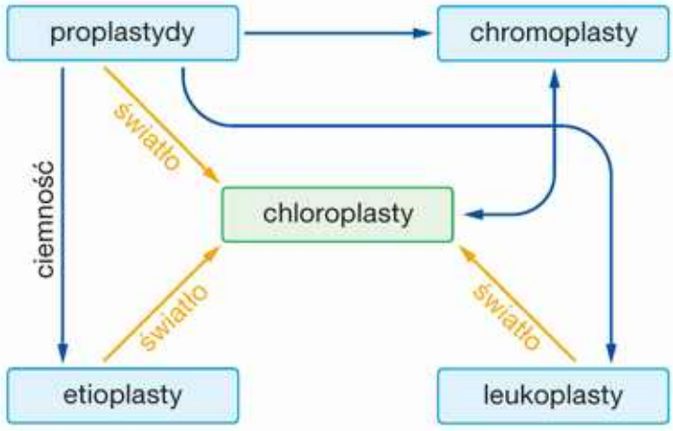
Budowa mitochondriów

Mitochondria są oddzielone od cytozolu **dwiema błonami**, pomiędzy którymi znajduje się **przestrzeń międzybłonowa** (perimitochondrialna). Wnętrze mitochondriów ograniczone błoną wewnętrzną wypełnia koloidalna substancja zwana **matrix** lub macierzą, w której znajdują się m.in. **rybosomy** i **mitochondrialny DNA**. Część białek i cząsteczek RNA potrzebnych mitochondriom do funkcjonowania koduje mitochondrialny DNA. Jednak większość białek mitochondrialnych jest kodowana w jądrze komórkowym.



Plastydy

Plastydy są organellami typowymi dla komórek roślin oraz niektórych **protistów**. Wyróżniamy wśród nich plastydy barwne, do których należą **etioplasty**, **chloroplasty** i **chromoplasty**, oraz plastydy bezbarwne, czyli leukoplasty. Wszystkie rodzaje plastydów mogą powstawać z form młodocianych – **proplastydów**, a także wskutek podziałów dojrzałych plastydów. Poszczególne typy plastydów roślinnych, mimo różnic w budowie i funkcjach, mają pewne cechy wspólne. Należą do nich m.in.: występowanie dwóch błon, obecność przestrzeni międzybłonowej, a także posiadanie własnego DNA i rybosomów.



Większość plastydów może się przekształcać w inne typy plastydów m.in. pod wpływem czynników środowiska.

Rodzaje plastydów



Chloroplasty występują m.in. w komórkach miękiszu liści i niezdrewniałych łodyg roślin lądowych. Zawierają zielony barwnik – chlorofil – oraz żółte i pomarańczowe barwniki – karotenoidy. Ich funkcją jest przeprowadzanie fotosyntezy.

Chloroplast (obraz spod TEM).



Etioplasty występują w komórkach miękiszu liści i łodyg u roślin, które wyrosły bez dostępu do światła. Zawierają żółty barwnik, który pod wpływem światła przekształca się w chlorofil.

Etioplast (obraz spod TEM).



Chromoplasty występują m.in. w komórkach miękiszu kwiatów i owoców. Zawierają żółte i pomarańczowe karotenoidy. Ich funkcją jest przywabianie zwierząt zapylających kwiaty lub uczestniczących w rozsiewaniu nasion.

Chromoplasty (obraz spod mikroskopu optycznego).



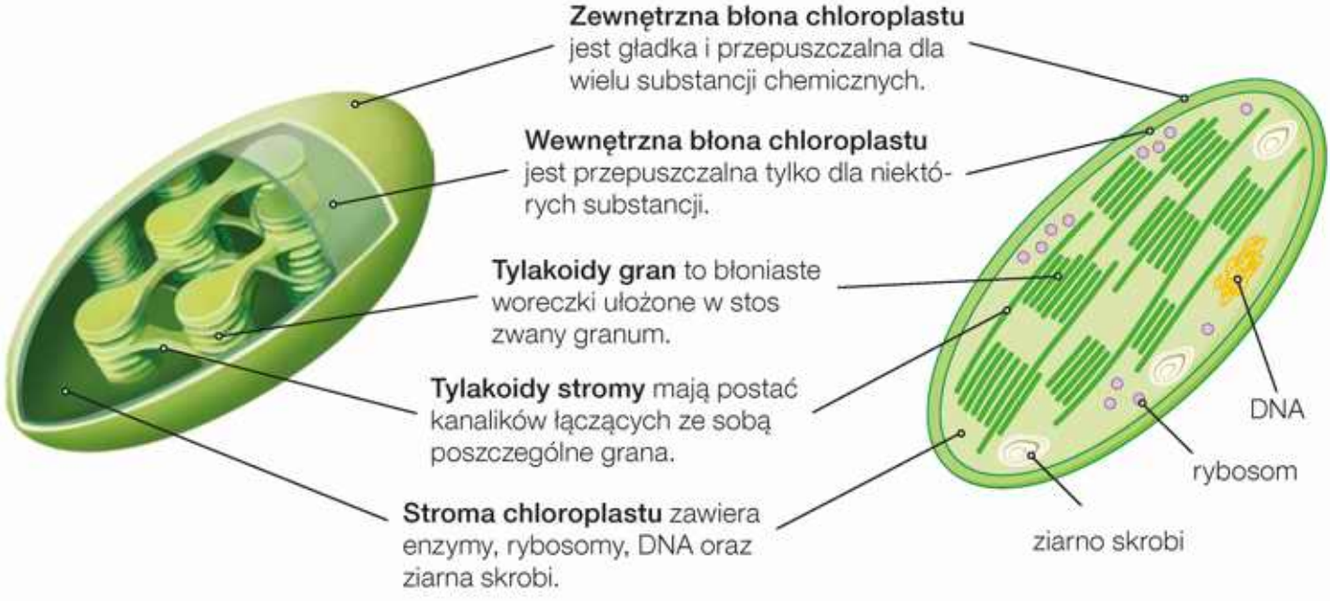
Leukoplasty występują w komórkach miękiszu wypełniającego m.in. kłącza, bulwy i korzenie spichrzowe. Magazynują substancje zapasowe w postaci skrobi (amyloplasty) lub tłuszczów (elajoplasty).

ziarna skrobi

Amyloplast (obraz spod TEM).

Budowa chloroplastów

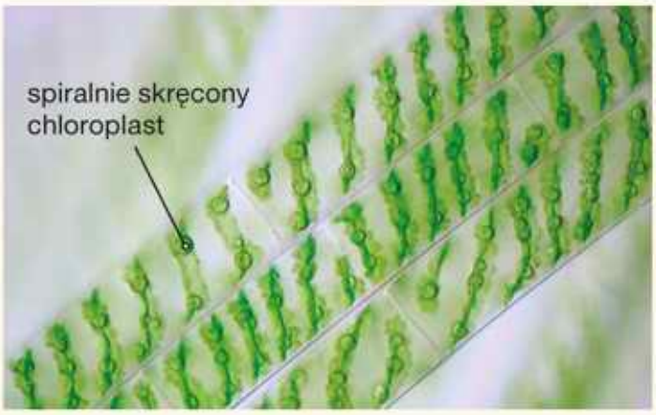
Chloroplasty są oddzielone od cytozolu **dwiema błonami**, pomiędzy którymi znajduje się **przestrzeń międzybłonowa**. Wnętrze chloroplastów jest wypełnione koloidalną substancją nazywaną **stromą**, w której znajdują się **tylakoidy**, **rybosomy** i **chloroplastowy DNA** – zwykle w postaci koliście zamkniętych cząsteczek. Chloroplastowy DNA koduje część białek i cząsteczek RNA potrzebnych chloroplastom do funkcjonowania. Jednak większość białek chloroplastu jest kodowana w jądrze komórkowym. Tylakoidy są błoniastymi strukturami, które mają postać płaskich woreczków lub kanalików. Powstają w wyniku wpuklania się błony wewnętrznej do stromy, ale w dojrzałych chloroplastach nie są z nią połączone. W błonach tylakoidów znajdują się liczne białka oraz barwniki potrzebne do przeprowadzania fotosyntezy.



Obserwacja

1. Obserwacja chloroplastów w komórkach skrętnicy

Wykonaj preparat plechy skrętnicy. Przeprowadź obserwację mikroskopową, a następnie wykonaj odpowiedni rysunek.



2. Obserwacja chromoplastów w komórkach miąższu owocu jarzębiny

Wykonaj preparat miąższu owocu jarzębiny. Przeprowadź obserwację mikroskopową, a następnie wykonaj odpowiedni rysunek.



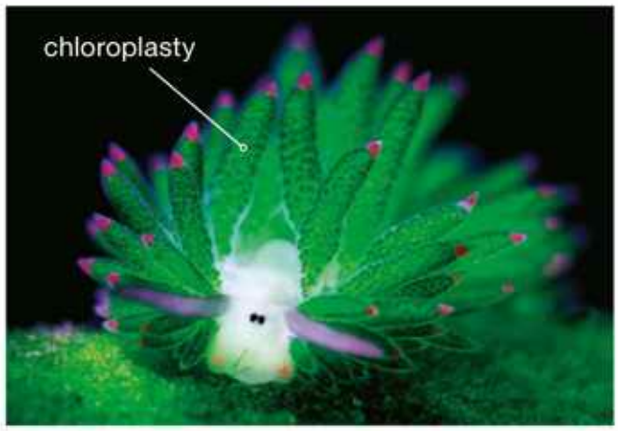
Teoria endosymbiozy

Zgodnie z teorią endosymbiozy mitochondria i plastydy **pochodzą od komórek prokariotycznych**, które zostały wchłonięte na drodze fagocytozy przez inną komórkę ponad miliard lat temu. Nie uległy one strawieniu, lecz stały się najpierw symbiontami komórki gospodarza, a później – organellami. Świadczą o tym:

- obecność kolistego DNA, który nie jest związany z białkami histonowymi,
- obecność rybosomów o budowie podobnej do rybosomów prokariotycznych,
- obecność dwóch błon otaczających organelle, które przypominają budową błony komórek prokariotycznych,
- powstawanie nowych mitochondriów i plastydów wyłącznie przez podział już istniejących.

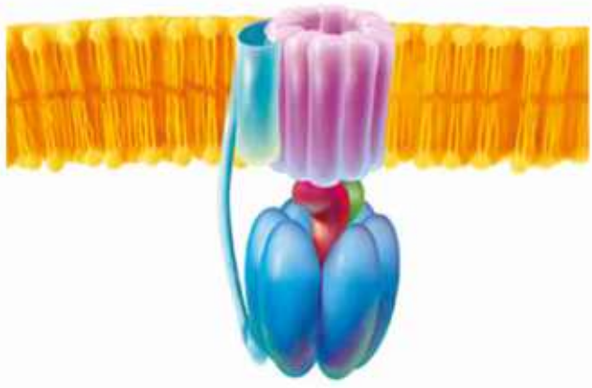
Czy wiesz, że...

Przykładem współcześnie zachodzącej endosymbiozy jest oddziaływanie między morskimi ślimakami z gatunku *Costasiella kuroshimae* a glonami, które stanowią ich pożywienie. Ślimaki nie trawią chloroplastów, ale wbudowują je w komórki ciała. Dzięki temu przez jakiś czas mogą przeprowadzać fotosyntezę.



Organelle półautonomiczne

Mitochondria i plastydy są organellami półautonomicznymi, **czyli częściowo niezależnymi od jądra komórkowego**. Oznacza to, że **część białek** niezbędnych do ich funkcjonowania jest kodowana przez geny, które znajdują się w ich własnym DNA, ale **pozostała część** jest kodowana przez geny jądrowe. Białka kodowane przez geny organellowe są wytwarzane na rybosomach, które znajdują się w matrix mitochondriów oraz w stromie plastydów. Z kolei białka kodowane przez geny jądrowe są wytwarzane na rybosomach, które znajdują się w cytozolu komórki, a następnie transportowane do odpowiednich organelli. Półautonomia mitochondriów i plastydów przejawia się również w ich podziałach, które są niezależne od podziałów jądra komórkowego.



Enzym błonowy – syntaza ATP występuje zarówno w mitochondriach, gdzie bierze udział w oddychaniu tlenowym, jak i w chloroplastach, gdzie uczestniczy w fotosyntezie. Enzym ten składa się z wielu podjednostek, z których część jest kodowana przez geny jądrowe, a część przez geny mitochondrialne lub chloroplastowe.

Polecenia kontrolne

1. Określ zależność między aktywnością metaboliczną komórki a liczbą grzebieni mitochondrialnych w jej mitochondriach.
2. Wymień rodzaje plastydów oraz określ ich funkcje.
3. Podaj dwa argumenty przemawiające za endosymbiotycznym pochodzeniem mitochondriów i plastydów.
4. Wyjaśnij, dlaczego mitochondria i plastydy nazywa się organellami półautonomicznymi.

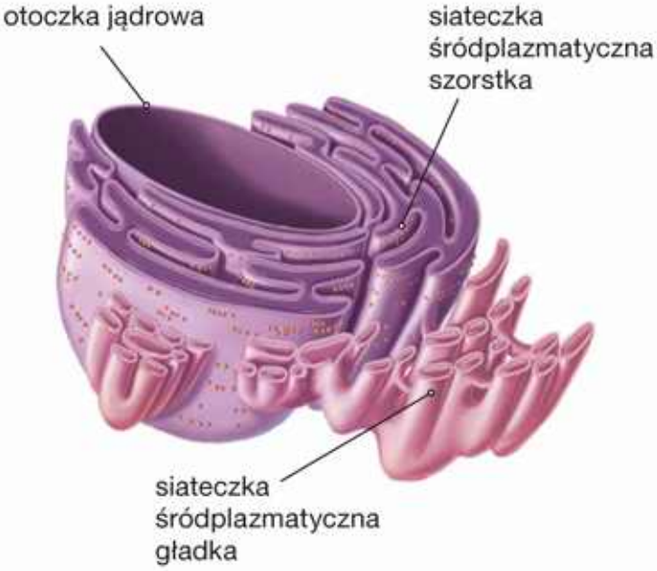
3.6. Struktury komórkowe otoczone jedną błoną i rybosomy

Zwróć uwagę na:
- związek między budową a funkcją struktur komórkowych,
- rolę tonoplastu w procesach osmotycznych.

Większość struktur komórkowych otoczonych jedną błoną tworzy w komórce system współpracujących ze sobą przedziałów, które kontaktują się ze sobą za pomocą pęcherzyków transportujących. Do struktur tych należą: siateczka śródplazmatyczna, aparat Golgiego, lizosomy, peroksysomy i wakuole.

Siateczka śródplazmatyczna

Siateczka śródplazmatyczna (retikulum endoplazmatyczne, ang. skrót: ER od *endoplasmic reticulum*) to system błon biologicznych przyjmujących postać spłaszczonych **woreczków** (cystern) i rozgałęziających się **kanalików**. Powstają one z zewnętrznej błony otoczki jądrowej i rozciągają się praktycznie na cały obszar komórki. Wyróżnia się **siateczkę śródplazmatyczną szorstką** (ang. skrót: RER od *rough endoplasmic reticulum*), na której powierzchni znajdują się **rybosomy**, i **siateczkę śródplazmatyczną gładką** (ang. skrót: SER od *smooth endoplasmic reticulum*), która nie zawiera rybosomów.



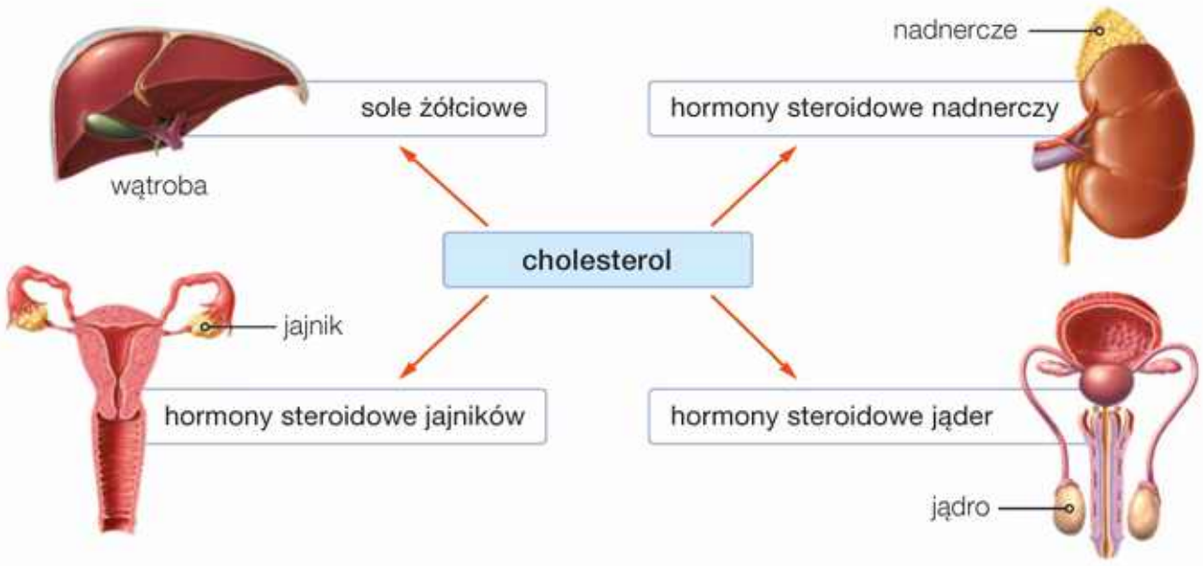
Siateczka śródplazmatyczna (wizualizacja komputerowa).

Siateczka śródplazmatyczna szorstka odpowiada w komórce głównie za **syntezę białek**. Rybosomy znajdujące się na jej powierzchni wytwarzają łańcuchy białkowe, które wnikają do wnętrza siateczki. Tam zachodzi ich fałdowanie, czyli **zwijanie przestrzenne** w struktury trzeciorzędowe. W siateczce śródplazmatycznej szorstkiej odbywa się również wstępna **modyfikacja białek**, np. dołączanie do nich reszt cukrowych lub grup hydroksylowych. Jeśli jakieś białko zostanie sfałdowane lub zmodyfikowane nieprawidłowo, nie opuszcza ono siateczki, dopóki nie zostanie naprawione przez tzw. białka opiekuńcze. Jeżeli naprawa jest niemożliwa, białko zostaje zniszczone. Większość białek, które powstają w siateczce śródplazmatycznej szorstkiej, jest kierowana **poza komórkę**. Z tego powodu siateczka ta występuje obficie w komórkach wydzielniczych, m.in. w komórkach trzustki wytwarzających enzymy trawienne lub hormony. Na rybosomach siateczki zachodzi również synteza **białek błonowych** oraz **białek enzymatycznych**, które po modyfikacji trafią do lizosomów lub wakuol.

Siateczka śródplazmatyczna gładka jest zaangażowana głównie w syntezę **związków o charakterze lipidowym**. Powstają w niej kwasy tłuszczowe, trójglicerydy, fosfo- i glikolipidy oraz cholesterol i jego pochodne. Do pochodnych cholesterolu zaliczamy m.in. hormony steroidowe, sole żółciowe i witaminę D. W komórkach wątroby siateczka śródplazmatyczna gładka uczestniczy w **neutralizowaniu i usuwaniu związków szkodliwych**, np. alkoholu etylowego, i **substancji obcych** organizmowi, np. leków. Z kolei we włóknach mięśniowych magazynuje ona **jony wapnia** niezbędne do skurczu mięśni.

Synteza związków steroidowych w siateczce śródplazmatycznej gładkiej

W siateczce śródplazmatycznej gładkiej są wytwarzane zarówno cholesterol, jak i jego pochodne. Zaliczamy do nich m.in. hormony steroidowe i sole żółciowe. Z tego powodu w wątrobie, nadnerczach, jajnikach i jądrach siateczka ta jest bardzo rozwinięta.

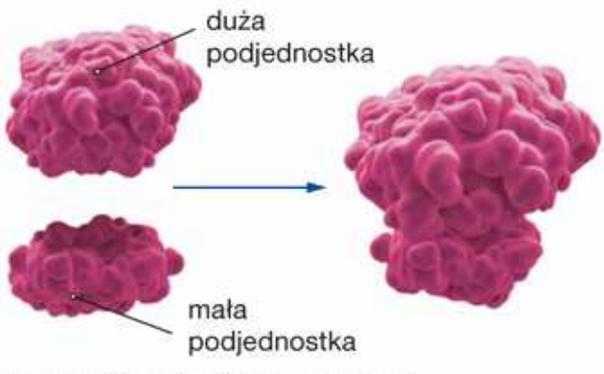


Rybosomy

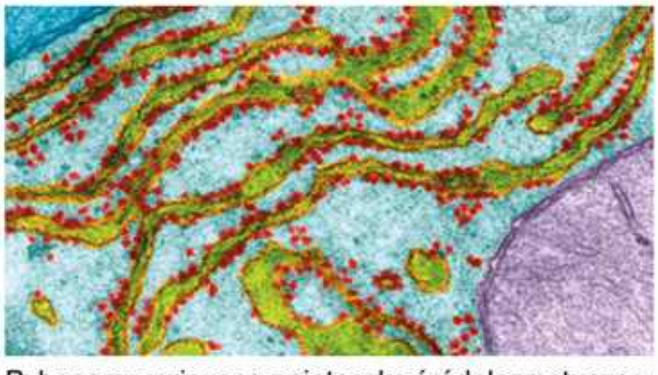
Rybosomy to struktury nie otoczone błoną, które przeprowadzają w komórce **syntezę białek**. Składają się one z dwóch podjednostek – małej i dużej. Podjednostki te są **nukleoproteinami** – związkami zbudowanymi z białek i rybosomowego RNA (rRNA). Podjednostki rybosomów występują w komórce oddzielnie i łączą się tylko na czas syntezy białka.

Rybosomy klasyfikuje się na podstawie ich stałej sedymentacji, czyli współczynnika określającego szybkość opadania cząstek w roztworze podczas wirowania. Jednostką stałej sedymentacji jest svedberg (S). Ze względu na stałą sedymentacji wyróżniamy dwa rodzaje rybosomów – **70 S** i **80 S**.

Komórki prokariotyczne zawierają tylko rybosomy 70 S, a komórki eukariotyczne – oba rodzaje rybosomów. Rybosomy 80 S występują w cytoplazmie komórki eukariotycznej jako **rybosomy wolne** (cytozolowe) lub **związane z błonami siateczki śródplazmatycznej**. Związek rybosomów z siateczką nie jest stały. Tworzy się on tylko na czas syntezy białek.



Rybosom (wizualizacja komputerowa).



Rybosomy związane z siateczką śródplazmatyczną (obraz spod TEM).

Rybosomy, które kończą syntezę białka, odłączają się od błon siateczki śródplazmatycznej, a w ich miejsce przyłączają się inne. Rybosomy wolne wraz z rybosomami związanymi z siateczką śródplazmatyczną tworzą pulę **rybosomów cytoplazmatycznych**.

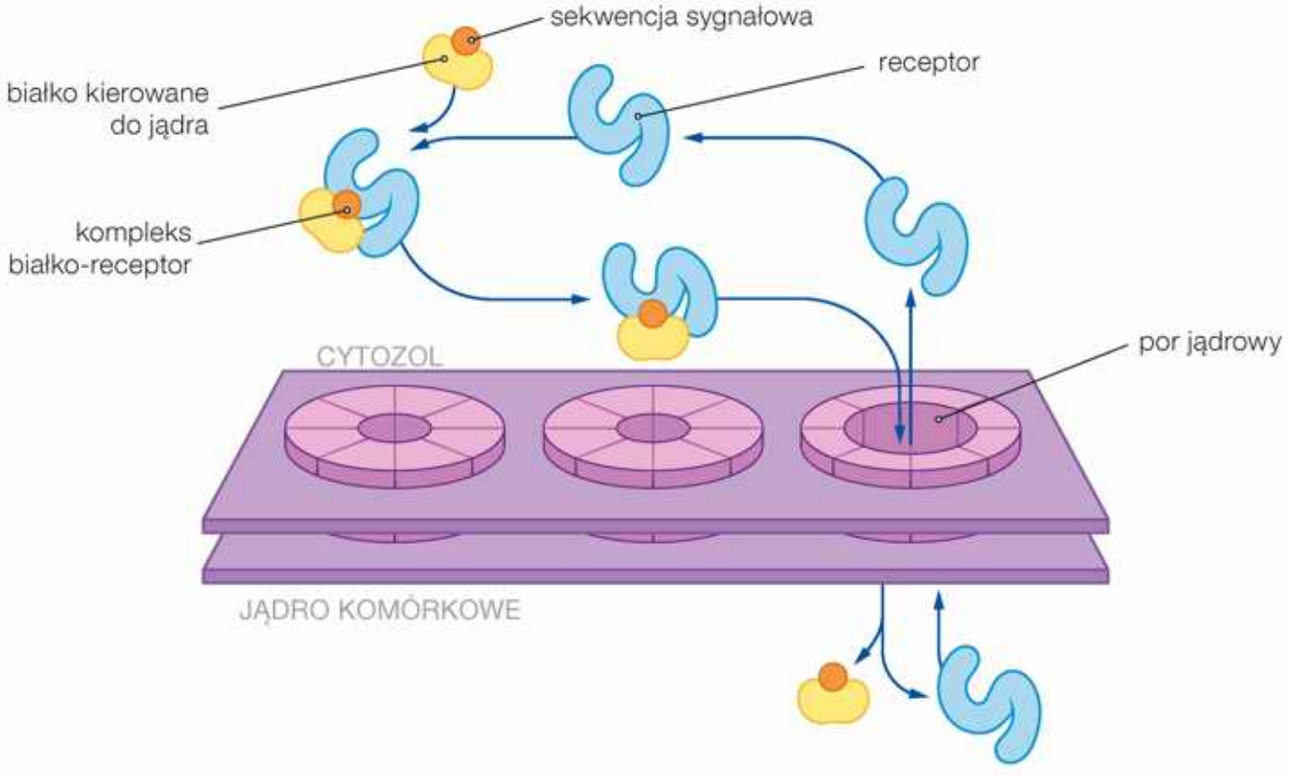
Na rybosomach związanych z siateczką śródplazmatyczną odbywa się biosynteza białek kierowanych poza komórkę, białek błonowych oraz enzymów lizosomów i wakuol. Pozostałe białka są wytwarzane na rybosomach wolnych.

Rybosomy wolne 70 S w komórce eukariotycznej znajdują się wewnątrz **mitochondriów** i **chloroplastów**, gdzie przeprowadzają syntezę białek kodowanych odpowiednio przez DNA mitochondrialny i DNA chloroplastowy. Rybosomy te przypominają budową rybosomy prokariotyczne, co jest jednym z argumentów przemawiających za teorią endosymbiozy.

Dowiedz się więcej

Skąd białko wie, dokąd ma iść?

Na wolnych rybosomach cytoplazmatycznych powstaje olbrzymia liczba różnych białek. Część z nich musi pozostać w cytozolu, a część jest kierowana do różnych organelli komórkowych: jądra komórkowego, mitochondriów, chloroplastów i peroksysomów. Za wędrówkę białek do organelli odpowiadają sekwencje sygnałowe białek, czyli krótkie odcinki tych białek, które znajdują się na jednym z końców łańcucha polipeptydowego. To od nich zależy, do jakiego przedziału komórki trafi dane białko, np. białka kierowane do jądra mają inną sekwencję sygnałową niż białka kierowane do mitochondriów czy chloroplastów. Brak sekwencji sygnałowej powoduje, że białko pozostaje w cytozolu komórki.

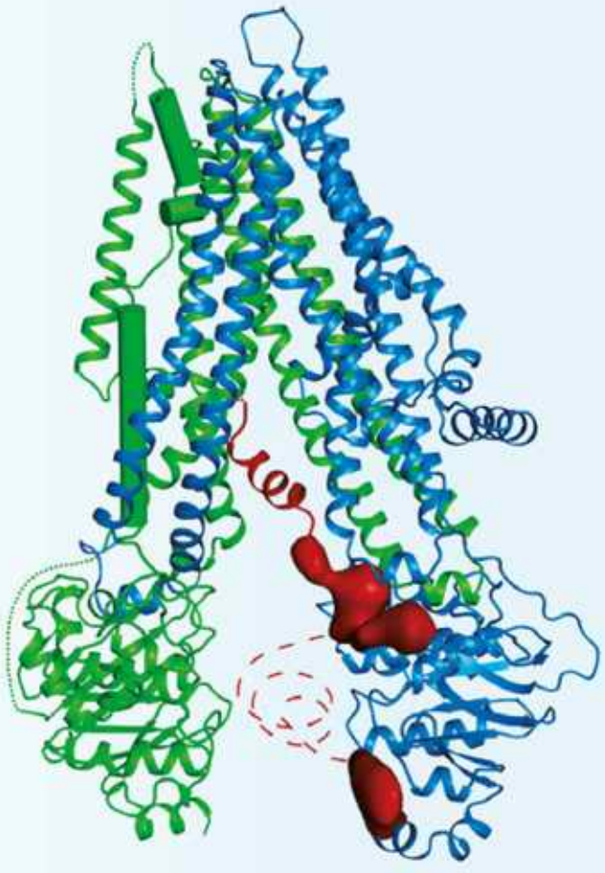


Jeśli białko ma trafić do jądra komórkowego, jego sekwencja sygnałowa jest rozpoznawana przez odpowiedni receptor znajdujący się w cytozolu. Połączenie białka z receptorem umożliwia jego przejście przez por jądrowy do wnętrza jądra. Tam białko zostaje odłączone, a receptor wraca do cytozolu, gdzie może przyłączyć następne białko kierowane do jądra.

Biologia w **medycynie**

Czy białka opiekuńcze mogą się przyczyniać do choroby?

Zwykle struktury likwidujące nieprawidłowe białka chronią organizm przed chorobami. Jednak w przypadku mukowiscydozy dzieje się inaczej. Mukowiscydoza jest chorobą genetyczną, spowodowaną błędem w genie kodującym białko kanału chlorkowego. Kanały te odpowiadają za transport jonów chlorkowych przez błony komórkowe. Znajdują się m.in. w błonach komórek wyścielających przewody trzustki i dróg oddechowych. Białko kanału chlorkowego jest wytwarzane na rybosomach siateczki śródplazmatycznej szorstkiej, a następnie trafia do jej wnętrza. Tam zachodzi jego fałdowanie w strukturę trzeciorzędową. W efekcie mutacji struktura przestrzenna tego białka różni się nieco od struktury białka prawidłowego. Mimo tego zmienione białko mogłoby funkcjonować zupełnie poprawnie jako kanał chlorkowy. Jednak obecne w siateczce szorstkiej białka opiekuńcze rozpoznają je jako białko nieprawidłowe i kierują do likwidacji. Skutkiem jest brak kanałów chlorkowych w błonach komórkowych, co prowadzi do powstawania gęstego śluzu. Zalega on w przewodach trzustki i dróg oddechowych. Powoduje to poważne zaburzenia w działaniu układów pokarmowego i oddechowego.



Białko kanału chlorkowego o prawidłowej strukturze przestrzennej (model 3D) opuszcza siateczkę śródplazmatyczną i jest transportowane do błony komórkowej.

Aparat Golgiego

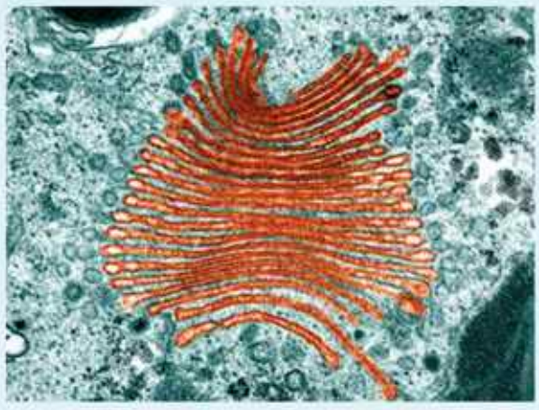
Aparat Golgiego (AG) powstaje z siateczki śródplazmatycznej. Składa się on z wielu płaskich, rozszerzających się na końcach **woreczków** (cystern), ułożonych w stos. Na brzegach stosu tworzą się różnej wielkości **pęcherzyki**. Liczba aparatów Golgiego w komórce zależy od jej typu i waha się od jednego do kilkuset. Najwięcej tych struktur znajduje się w komórkach wydzielniczych, m.in. w komórkach gruczołów dokrewnych (np. tarczycy) oraz w komórkach gruczołów wydzielania zewnętrznego (np. ślinianek). Funkcjonowanie aparatu Golgiego wiąże się ściśle z działaniem siateczki śródplazmatycznej. Od cystern i kanalików siateczki odrywają się bowiem pęcherzyki, które przenoszą białka oraz lipidy do aparatu Golgiego. Tam białka i lipidy są ostatecznie **modyfikowane**, a następnie **sortowane** i **pakowane** w pęcherzyki transportujące. Pęcherzyki te przenoszą gotowe związki do miejsca ich przeznaczenia, czyli:

- na zewnątrz komórki (np. hormony, enzymy trawienne przewodu pokarmowego, składniki substancji międzykomórkowej),
- do błony komórkowej oraz błon niektórych organelli (np. białka błonowe lizosomów, peroksysomów i wakuol),
- do wnętrza organelli (np. enzymy trawienne lizosomów, białka zapasowe wakuol).

U roślin w cysternach aparatu Golgiego są syntetyzowane **polisacharydy** – pektyny i hemicelulozy – wykorzystywane do budowy ściany komórkowej.

Jak działa aparat Golgiego?

Siateczka śródplazmatyczna i aparat Golgiego stanowią w komórce główny szlak, którym białka syntetyzowane na rybosomach są transportowane do miejsca ich przeznaczenia. Sposób transportu białek różni się w zależności od ich funkcji i miejsca działania.



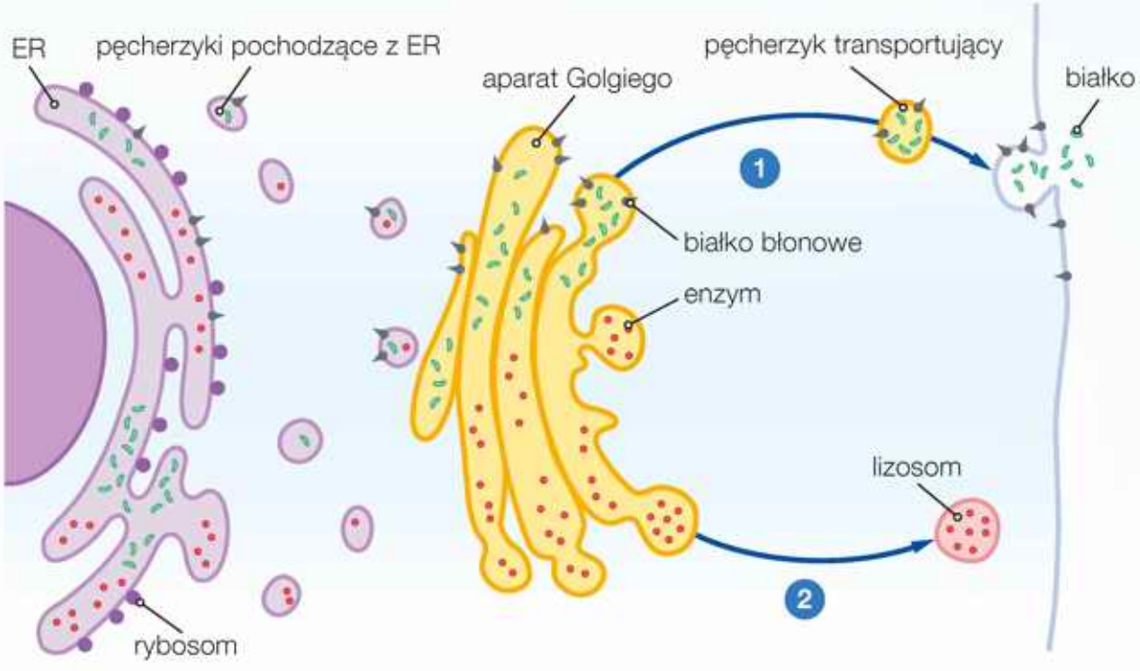
Aparat Golgiego (obraz spod TEM).

1 Białka błonowe oraz białka wydzielane poza komórkę

Powstają w siateczce śródplazmatycznej szorstkiej. Następnie są transportowane do aparatu Golgiego, gdzie niektóre z białek błonowych ulegają modyfikacjom. Dotyczy to głównie glikoprotein oraz lipoprotein, które łączą się z błoną poprzez wiązania kowalencyjne z lipidami. W pierwszym wypadku do białek wytworzonych w RER zostają przyłączone reszty cukrowe, a w drugim – reszty kwasów tłuszczowych. Gotowe gliko- i lipoproteiny wbudowują się w błony aparatu Golgiego. Z błon tych tworzą się następnie pęcherzyki, wewnątrz których gromadzą się białka przeznaczone do wydzielenia poza komórkę. Pęcherzyki transportujące wędrują do błony komórkowej i się z nią zlewają. W ten sposób wzrasta powierzchnia błony oraz zachodzi wydzielanie białek.

2 Enzymy lizosomów

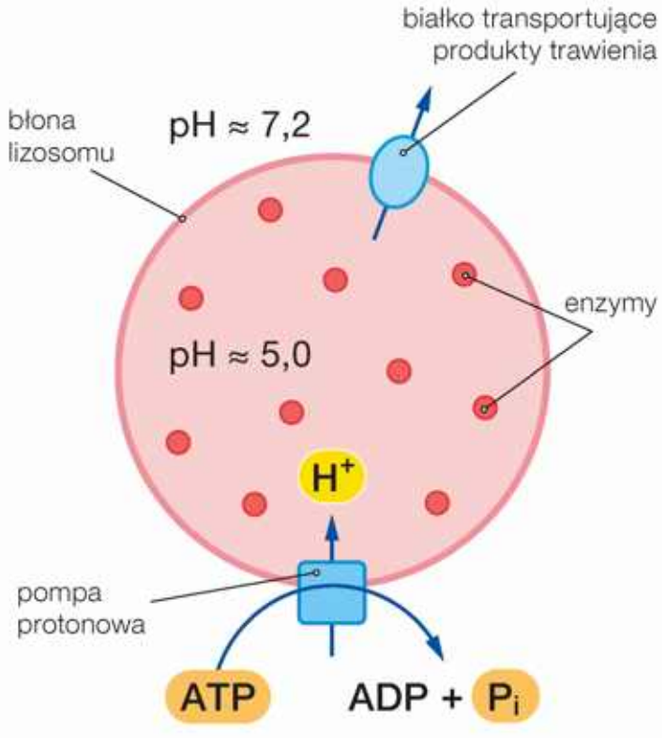
Powstają w siateczce śródplazmatycznej szorstkiej. Pęcherzykami transportującymi docierają one do aparatu Golgiego, gdzie ulegają ostatecznym modyfikacjom. Następnie są pakowane w pęcherzyki, które odłączają się od cystern aparatu Golgiego i tworzą lizosomy.



Lizosomy

Lizosomy to niewielkie pęcherzyki otoczone jedną błoną, występujące w komórkach **zwierząt** i niektórych **protistów**. Zawierają one **enzymy**, które rozkładają złożone związki organiczne do związków prostszych. Lizosomy są szczególnie liczne w komórkach fagocytujących. W organizmie człowieka takimi komórkami są głównie leukocyty, które uczestniczą w reakcjach odpornościowych. Fagocytują one mikroorganizmy chorobotwórcze oraz inne obce cząstki.

Enzymy lizosomalne są aktywne wyłącznie w środowisku kwasowym (pH ≈ 5), dlatego w błonach lizosomów znajdują się **pompy protonowe**, które aktywnie transportują jony H^+ do wnętrza tych struktur. Wśród enzymów trawiennych lizosomów znajdują się takie, które rozkładają białka oraz lipidy. W związku z tym zarówno błona lizosomu, jak i cytoplazma komórki muszą być zabezpieczone przed strawieniem. Błonę lizosomu pokrywa od wewnątrz warstwa bardzo odpornych chemicznie cukrów, a cytoplazmę komórki chroni obojętny odczyn cytozolu. Enzymy trawienne lizosomu tracą w nim bowiem swoją aktywność.



Budowa lizosomu.

W lizosomach zachodzi **trawienie wewnątrzkomórkowe** m.in. zużytych lub uszkodzonych organelli komórki oraz składników dostarczonych w wyniku endocytozy. Końcowe produkty trawienia, takie jak aminokwasy, cukry proste i nukleotydy, są transportowane przez błonę lizosomu do cytozolu. Tam mogą być wykorzystane do nowych syntez w obrębie komórki lub przetransportowane dalej, poza jej granice. Jeśli trawienie jest niekompletne, w obrębie lizosomu pozostają niestrawione resztki pobranych substancji, które są usuwane z komórki w efekcie egzocytozy.

Peroksysomy

Peroksysomy to drobne pęcherzyki otoczone jedną błoną, występujące we wszystkich komórkach eukariotycznych. Powstają one z siateczki śródplazmatycznej gładkiej i zawierają **enzymy**, które są produkowane na wolnych rybosomach cytoplazmatycznych. Enzymy te katalizują różnorodne reakcje zachodzące z udziałem tlenu, m.in.:

- rozkład kwasów tłuszczowych na dwuwęglowe fragmenty,
- wytwarzanie mieliny, z której są zbudowane otoczki komórek nerwowych,
- neutralizowanie związków szkodliwych, np. alkoholu etylowego, oraz obcych organizmowi, np. leków.

Produktem procesów utleniania zachodzących w peroksysomach jest **nadtlenek wodoru** (H_2O_2). Związek ten zalicza się do reaktywnych form tlenu, które są bardzo szkodliwe dla komórek. Powodują one uszkodzenia białek, nukleotydów oraz lipidów błonowych, co skutkuje rozwojem poważnych chorób. Dlatego peroksysomy zawierają enzym – **katalazę**, który rozkłada nadtlenek wodoru do wody i tlenu zgodnie z równaniem reakcji: $2\,H_2O_2 \rightarrow 2\,H_2O + O_2\uparrow$.

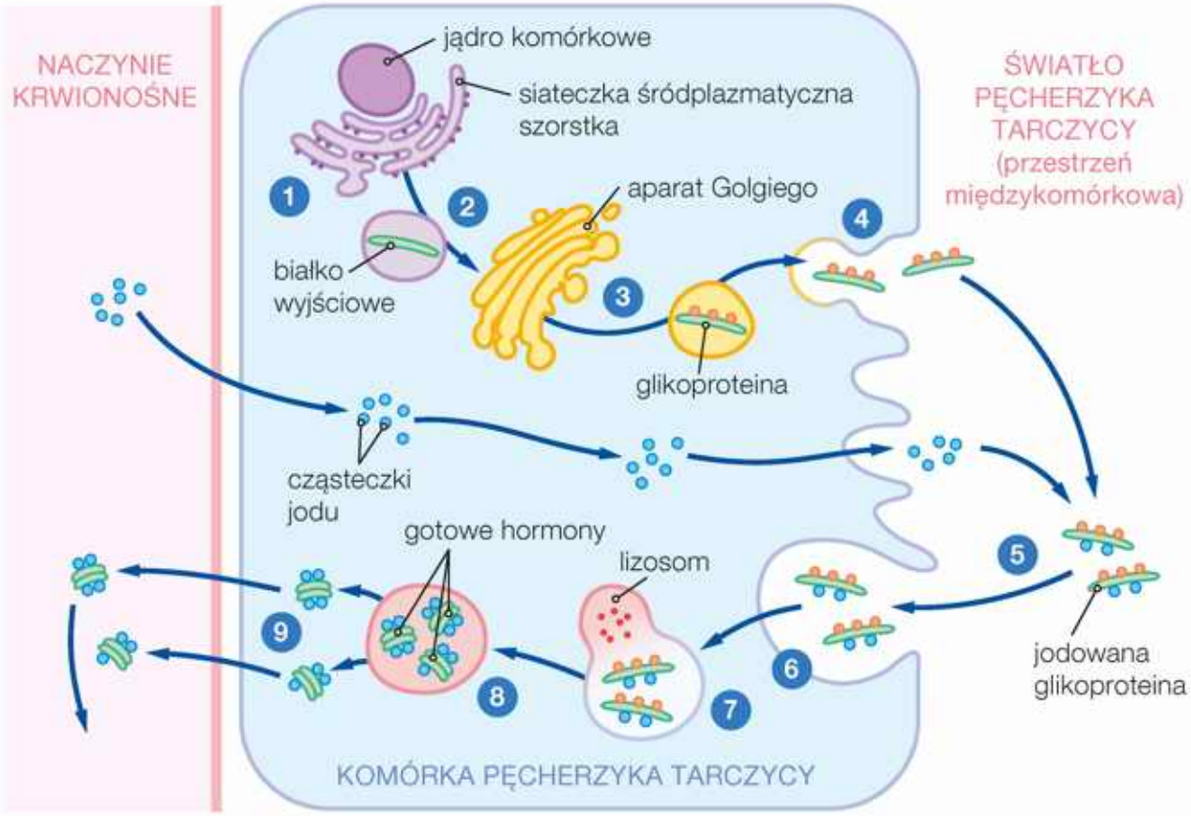
Czy wiesz, że...

Katalaza jest enzymem o bardzo dużej aktywności. W ciągu jednej minuty rozkłada ona do wody i tlenu około sześć milionów cząsteczek nadtlenku wodoru.

Dowiedz się więcej

Rola przedziałów komórkowych w wytwarzaniu hormonów tarczycy

Przedziały komórkowe ograniczone błonami biologicznymi tworzą spójny system, którego prawidłowe działanie umożliwia funkcjonowanie komórki i całego organizmu. Przykładem takiego działania jest wytwarzanie hormonów tarczycy w jej pęcherzykach. Rozpoczyna się ono od syntezy białka wyjściowego, które w kolejnych przedziałach komórki oraz w płynie pęcherzyka przechodzi szereg modyfikacji.



Etapy powstawania hormonów tarczycy:

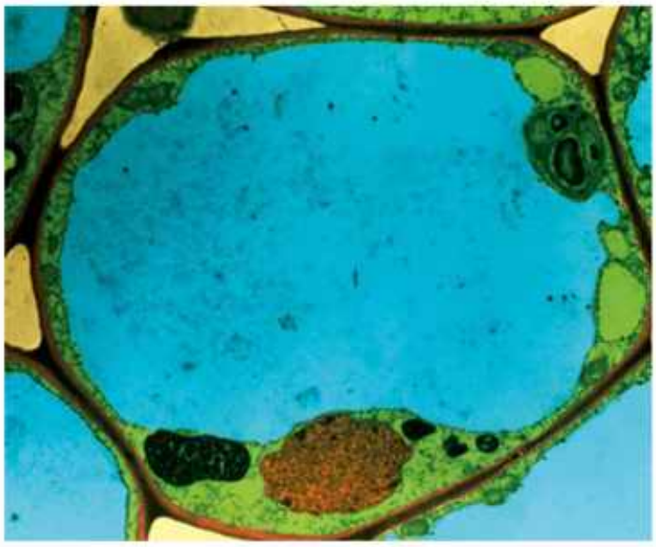
1. Na rybosomach siateczki śródplazmatycznej szorstkiej jest syntetyzowane białko wyjściowe hormonów tarczycy.
2. Cząsteczki tego białka są transportowane w pęcherzykach do aparatu Golgiego.
3. W aparacie Golgiego białko wyjściowe ulega modyfikacji, polegającej na przyłączeniu reszt cukrowych. Powstaje glikoproteina, która w pęcherzykach transportujących wędruje do błony komórkowej.
4. Glikoproteina jest uwalniana do światła pęcherzyka na drodze egzocytozy.
5. W świetle pęcherzyka glikoproteina ulega jodowaniu.
6. Jodowana glikoproteina na drodze endocytozy dostaje się z powrotem do komórki pęcherzyka.
7. Pęcherzyk z jodowaną glikoproteiną łączy się z lizosomem.
8. Enzymy lizosomu wycinają fragmenty glikoproteiny – w wyniku cięcia powstają hormony tarczycy.
9. Hormony tarczycy są wydzielane z komórki do krwi. Ich wydzielanie następuje tylko w momencie odebrania przez komórkę odpowiedniego sygnału.

Wakuole roślinne

Wakuole roślinne mają postać pęcherzyków otoczonych jedną błoną zwaną **tonoplastem**. Ich wnętrze wypełnia **sok komórkowy**, który jest wodnym roztworem różnych substancji.

Do podstawowych funkcji wakuol roślinnych należą:

- utrzymywanie odpowiedniego stopnia uwodnienia, czyli jędrności (turgoru) komórek,
- magazynowanie jonów i substancji zapasowych; do tych ostatnich należą cukry zapasowe magazynowane w komórkach większości organów roślinnych oraz białka zapasowe magazynowane w komórkach nasion,
- magazynowanie ubocznych produktów przemiany materii, np. kryształów szczawianu wapnia,
- gromadzenie glikozydów, alkaloiów i garbników.



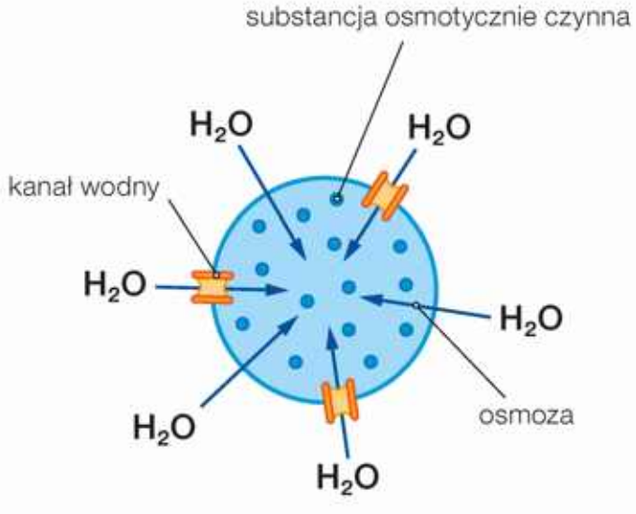
Wakuola dojrzałej komórki roślinnej (obraz spod TEM, barwiony komputerowo) zajmuje niekiedy nawet 90% jej objętości.

Glikozydy (żółte flawony oraz czerwone, niebieskie lub fioletowe antocyjany) nadają kwiatom i owocom jaskrawe barwy. Zwiększają w ten sposób atrakcyjność rośliny dla zwierząt zapylających kwiaty lub rozsiewających nasiona. **Alkaloidy** i **garbniki** pełnią funkcje obronne. Mają one działanie silnie trujące, odstraszają zapachem lub pogarszają walory smakowe roślin. Dzięki temu chronią roślinę przed roślinożercami oraz patogenami.

W komórkach roślin występują również **wakuole lityczne**, które zawierają **enzymy trawienne**. Uczestniczą one w degradacji m.in. zużytych organelli. W wyniku ich działania powstają także martwe tkanki roślinne, np. drewno.

Substancje osmotycznie czynne wakuoli roślinnej

W skład soku komórkowego wchodzi wiele substancji osmotycznie czynnych. Należą do nich m.in. cukry rozpuszczalne – glukoza, fruktoza i sacharoza. Nagromadzenie tych substancji w wakuoli powoduje napływ wody do jej wnętrza. Może to zachodzić na dwa sposoby: osmotycznie przez półprzepuszczalny tonoplast oraz przez kanały wodne tonoplastu. W wyniku napływu wody wakuola pęcznieje, a turgor komórki rośnie. Przemieszczaniu się zbyt dużej ilości wody przeciwdziała ściana komórkowa, która zabezpiecza komórkę przed pęknięciem. Dzięki temu komórki roślinne, w odróżnieniu od zwierzęcych, mogą magazynować substancje osmotycznie czynne.



Napływ wody do wakuoli zwiększa stopień uwodnienia komórek roślinnych oraz powoduje ich wzrost.

Obserwacja

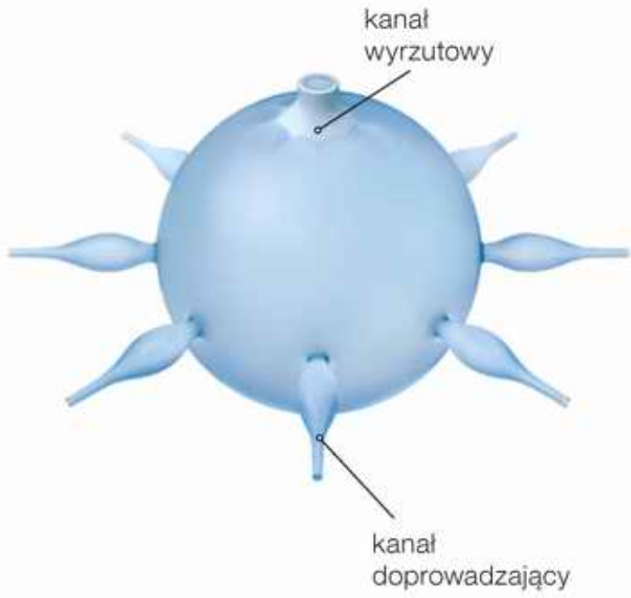
Obserwacja mikroskopowa kryształów szczawianu wapnia w wakuolach komórek roślinnych

Wykonaj preparaty zewnętrznego (suchego) liścia cebuli oraz liścia bluszczu. Następnie obserwuj je pod mikroskopem. Napisz, w jakiej formie występują kryształy szczawianu wapnia w wakuolach obserwowanych komórek roślin.



Wodniczki protistów

Wakuole protistów są nazywane wodniczkami. U organizmów tych wyróżnia się dwa rodzaje wodniczek – **wodniczki pokarmowe**, odpowiedzialne za trawienie pokarmu, oraz **wodniczki tętniące**, których funkcją jest **osmoregulacja**, czyli usuwanie nadmiaru wody z komórki. Wodniczki tętniące występują wyłącznie u protistów słodkowodnych, których komórki nie mają ściany komórkowej. Słodka woda jest hipotoniczna w stosunku do cytozolu komórek protistów, dlatego osmotycznie napływa do ich wnętrza. Zbyt duży napływ wody grozi pęknięciem komórki, dlatego jest ona nieustannie zbierana i usuwana na zewnątrz przez krążące w cytozolu wodniczki tętniące. Najprostsze z nich są zwykłymi pęcherzykami, jednak u niektórych organizmów spotyka się wodniczki o skomplikowanej budowie.



Niektóre wodniczki tętniące protistów mają specjalne kanały doprowadzające wodę oraz kanały wyrzutowe, otwierające się na zewnątrz komórki.

Polecenia kontrolne

1. Wykaż związek między budową a funkcją siateczki śródplazmatycznej szorstkiej.
2. Wyjaśnij, na czym polegają funkcjonalne powiązania między strukturami siateczki śródplazmatycznej, aparatu Golgiego oraz błony komórkowej.
3. Określ, jaką funkcję pełnią lizosomy w komórkach protistów.
4. Wymień dwie funkcje wakuol roślinnych i określ, na czym one polegają.

3.7. Ściana komórkowa

Zwróć uwagę na:
- związek między budową a funkcjami ściany komórkowej,
- funkcje połączeń międzykomórkowych u roślin.

Komórki większości organizmów są otoczone z zewnątrz ścianą komórkową, zbudowaną zwykle z polisacharydów. Struktura ta jest jednocześnie wytrzymała i elastyczna, dzięki czemu chroni komórkę, ale pozwala również na jej wzrost i rozwój. Bezpośrednio pod ścianą komórkową znajduje się **protoplast** – część komórki ograniczona błoną komórkową.

Ściana komórkowa

Ściana komórkowa stanowi zewnętrzną warstwę komórek **bakterii**, **grzybów**, **roślin** oraz niektórych **protistów**. Jej główny składnik chemiczny jest inny u każdej grupy systematycznej organizmów. Na przykład u bakterii jest to **mureina**, u grzybów – **chityna**, a u roślin – **celuloza**.

Funkcje ściany komórkowej:
- nadaje komórce kształt,
- chroni komórkę przed uszkodzeniami mechanicznymi,
- zabezpiecza komórkę przed pęknięciem w środowisku hipotonicznym,
- chroni komórkę przed wnikaniem do jej wnętrza drobnoustrojow chorobotwórczych,
- bierze udział w transporcie wody.

Ściana komórkowa roślin

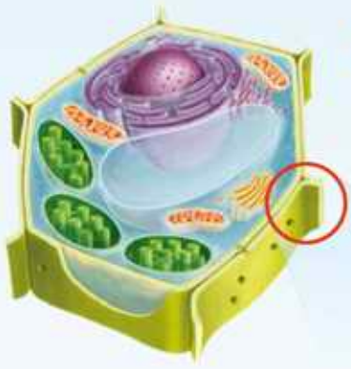
U roślin podstawowym składnikiem ściany komórkowej jest **celuloza** – polisacharyd zbudowany z kilku tysięcy reszt glukozy. Jego synteza odbywa się z udziałem enzymu zlokalizowanego w błonie komórkowej. Poszczególne łańcuchy celulozy łączą się ze sobą wiązaniami wodorowymi, tworząc równolegle ułożone wiązki – **mikrofibryle**. W ten sposób powstaje włóknisty szkielet ściany komórkowej. Przestrzenie między włóknami szkieletu wypełnia macierz, zbudowana z **hemiceluloz**, **pektyn**, **białek** i **wody**. Hemicelulozy i pektyny to polisacharydy o łańcuchach krótszych niż łańcuchy celulozy oraz rozgałęzionych. Są one syntetyzowane w aparatach Golgiego, a następnie przenoszone do ściany komórkowej w pęcherzykach transportujących.

W ścianach komórkowych jest znacznie mniej białek niż polisacharydów. Pełnią one jednak bardzo ważne funkcje budulcowe i enzymatyczne. Na szczególną uwagę zasługują białka enzymatyczne. Biorą one udział w wytwarzaniu związków chemicznych, m.in. **ligniny**, **kutyny** i **suberyny**, które modyfikują ściany komórkowe i nadają im charakterystyczne właściwości.

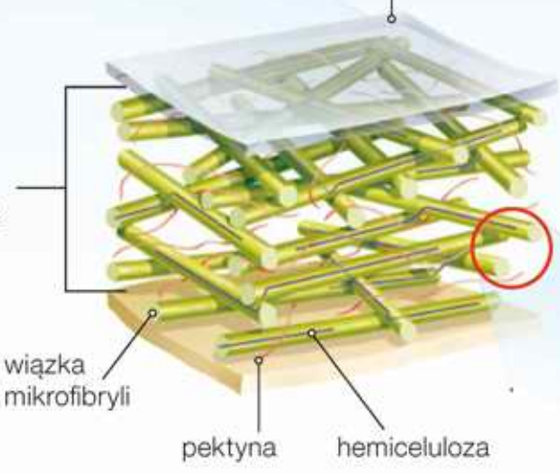
Wyróżniamy dwa główne rodzaje ścian komórkowych: pierwotne i wtórne.
- **Ściany pierwotne** występują w młodych komórkach roślin, a ich budowa trwa do momentu ustania wzrostu komórki. W przeliczeniu na jednostkę biomasy[1] ściany te zawierają około: 5% celulozy, 30% hemiceluloz i pektyn, 5% białek i 60% wody.
- **Ściany wtórne** tworzą się po zakończeniu wzrostu komórki. Są grubsze i bardziej wytrzymałe od ścian pierwotnych. Powstają przez odkładanie się w ścianach pierwotnych nowych włókien celulozy oraz przez **wysycanie** lub **powlekanie** tych ścian innymi związkami. Zawierają więcej celulozy i mniej białek oraz wody niż ściany pierwotne.

[1] **Biomasa** (świeża masa) – całkowita masa organizmów lub ich części, wyrażona w jednostkach masy, np. w gramach (g).

Poziomy organizacji pierwotnej ściany komórkowej u roślin



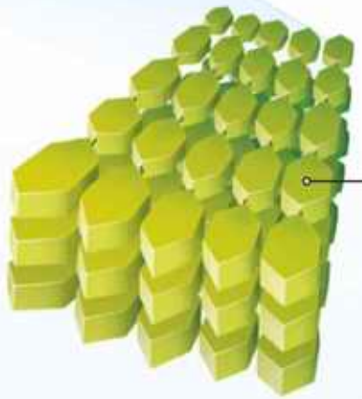
1 Ściany pierwotne oddzielone blaszką środkową, tworzą razem wspólną ścianę pierwotną między dwiema sąsiadującymi komórkami.



2 Blaszka środkowa, zbudowana z pektyn, spaja ściany komórkowe dwóch sąsiadujących ze sobą komórek.

3 Szkielet ściany komórkowej składa się z wiązek mikrofibryli. Te z kolei są zbudowane z łańcuchów celulozy.

5 Przestrzeń między wiązkami mikrofibryli wypełnia macierz, w której skład wchodzą hemicelulozy, pektyny, woda oraz białka.



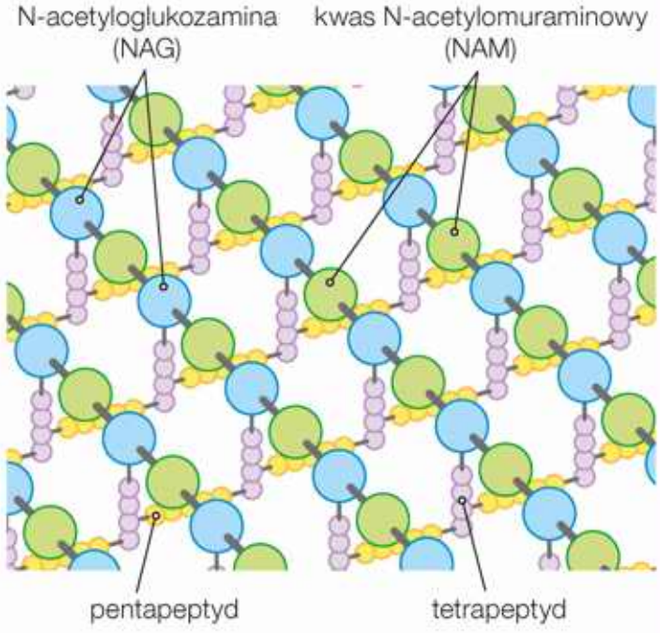
4 Łańcuch celulozy składa się z reszt glukozy połączonych wiązaniami 1,4-β-glikozydowymi.

Główne substancje modyfikujące wtórne ściany komórkowe		
lignina	**kutyna**	**suberyna**
Występuje m.in. w komórkach drewna roślin. Nadaje ścianom komórkowym sztywność oraz umożliwia pionowy transport wody w roślinie.	Wchodzi w skład kutykuli pokrywającej komórki skórki pędu. Zabezpiecza przed nadmiernym parowaniem wody z organów roślinnych.	Występuje w komórkach korkowicy, która okrywa m.in. łodygi roślin drzewiastych. Nadaje ścianom komórkowym sztywność oraz zapobiega przenikaniu wody.
		

Jak jest zbudowana ściana komórkowa bakterii?

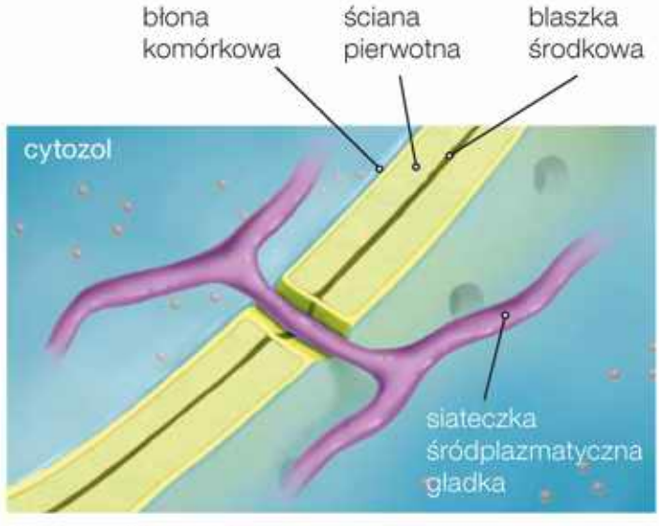
Dowiedz się więcej

Ściana komórkowa bakterii może mieć różną grubość. Jej głównym składnikiem jest mureina – peptydoglikan, zbudowany z sacharydów i peptydów. Do sacharydów mureiny należą: N-acetyloglukozamina, w skrócie NAG, oraz kwas N-acetylomuraminowy, w skrócie NAM. Peptydy występujące w ścianie komórkowej bakterii składają się z czterech aminokwasów (tetrapeptydy) lub z pięciu aminokwasów (pentapeptydy). Naprzemiennie ułożone cząsteczki NAG i NAM tworzą długie łańcuchy połączone ze sobą za pomocą peptydów. Ściana komórkowa bakterii jest sztywna i mocna, dzięki czemu chroni komórki m.in. przed pękaniem w środowisku hipotonicznym.



Połączenia międzykomórkowe

Komórki budujące tkanki stanowią funkcjonalną całość dzięki temu, że są ze sobą połączone. Sąsiadujące komórki roślinne silnie spaja blaszka środkowa. Znajduje się ona między ścianami pierwotnymi tych komórek i jest zbudowana z pektyn. Kiedy **blaszka środkowa** ulega rozpuszczeniu, komórki się rozsuwają. Można to zaobserwować m.in. w dojrzewających mięsistych owocach, których tkanki stopniowo miękną i kruszeją. Sąsiadujące komórki roślinne kontaktują się ze sobą za pomocą **plazmodesm**. Są to cienkie pasma cytoplazmy, otoczone błoną komórkową, które przenikają z komórki do komórki dzięki znajdującym się w ich ścianach licznym jamkom. Plasmodesmy łączą nie tylko cytozol, lecz także siateczki środplazmatyczne obu komórek. Mogą też – w zależności od potrzeb komórki – pojawiać się i znikać bądź otwierać i zamykać. Plasmodesmy umożliwiają transport wielu substancji, m.in. jonów i niewielkich czasteczek. Tą drogą mogą również przenikać między komórkami wirusy, które powodują choroby roślin.



Budowa plazmodesmy.

Polecenia kontrolne

1. Podaj trzy funkcje ściany komórkowej.
2. Omów budowę ściany komórkowej roślin.
3. Określ, czym się różni pierwotna ściana komórkowa od wtórnej ściany komórkowej.
4. Określ, w jaki sposób są ze sobą połączone komórki roślin.

3.8. Cykl komórkowy. Mitoza

Zwróć uwagę na:
- fazy cyklu komórkowego oraz zachodzące w nich zmiany ilości DNA i liczby chromosomów,
- procesy zachodzące na poszczególnych etapach mitozy oraz jej znaczenie,
- przebieg cytokinezy w komórkach roślinnych i zwierzęcych,
- znaczenie apoptozy dla prawidłowego rozwoju i funkcjonowania organizmu wielokomórkowego.

Wszystkie komórki budujące organizmy po pewnym czasie giną. Aby zachować ciągłość życia na Ziemi, stale muszą więc powstawać nowe. Tworzą się one wskutek podziału komórek już istniejących. Zanim jednak komórka zacznie się dzielić, najpierw musi urosnąć, zwiększyć liczbę swoich organelli oraz podwoić swój materiał genetyczny. Dopiero wówczas może nastąpić jej podział. U organizmów eukariotycznych ogół tych procesów, czyli wzrost i podział komórki, nazywamy **cyklem komórkowym (cyklem życiowym komórki)**.

Cykl życiowy komórki eukariotycznej

Cykl komórkowy trwa od momentu powstania komórki do momentu jej podziału na dwie komórki potomne.

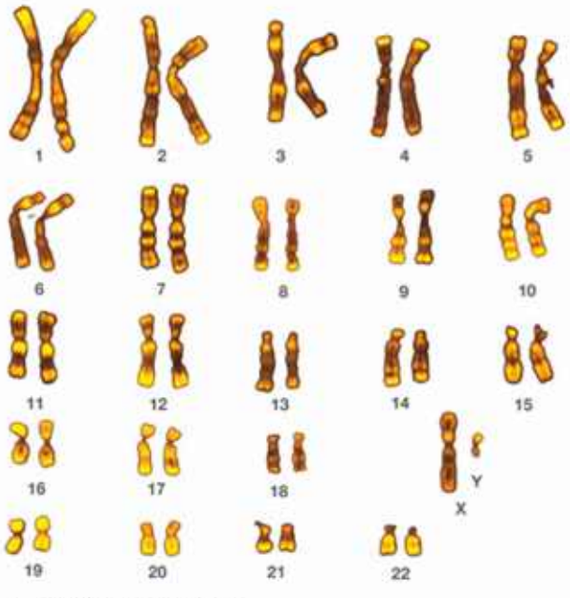
Można w nim wyróżnić dwa główne etapy:
- **interfazę**, czyli stan między podziałami, podczas którego komórka zwiększa swoje rozmiary, powiela organelle komórkowe oraz podwaja materiał genetyczny,
- **fazę M**, czyli podział komórki, na który składają się podział jądra komórkowego, czyli **kariokineza**, oraz podział cytoplazmy, czyli **cytokineza**.

Kariokinezę zachodzącą w cyklu komórkowym nazywamy mitozą. Innym znanym Ci rodzajem kariokinezy jest mejoza.

Uwaga! Dla uproszczenia terminami *„mitoza"* i *„mejoza"* często określa się cały proces podziału komórki (kariokinezę i cytokinezę łącznie).

Chromosomy homologiczne

Organizmy diploidalne mają w swoich komórkach podwójny zestaw chromosomów – jeden odziedziczony po ojcu, a drugi po matce. Każdy chromosom występuje więc w dwóch kopiach. Kopie te zwykle mają taką samą długość i w określonych miejscach zawierają te same geny. Takie odpowiadające sobie chromosomy nazywamy **chromosomami homologicznymi**. U ludzi występują 23 pary chromosomów. Pary 1–22 to chromosomy autosomalne, takie same u kobiet i u mężczyzn. Ostatnia 23. para to chromosomy płciowe. U kobiet są to dwa chromosomy X, natomiast u mężczyzn – jeden chromosom X i jeden Y. Chromosomy X i Y mają różną długość oraz tylko niektóre jednakowe geny.



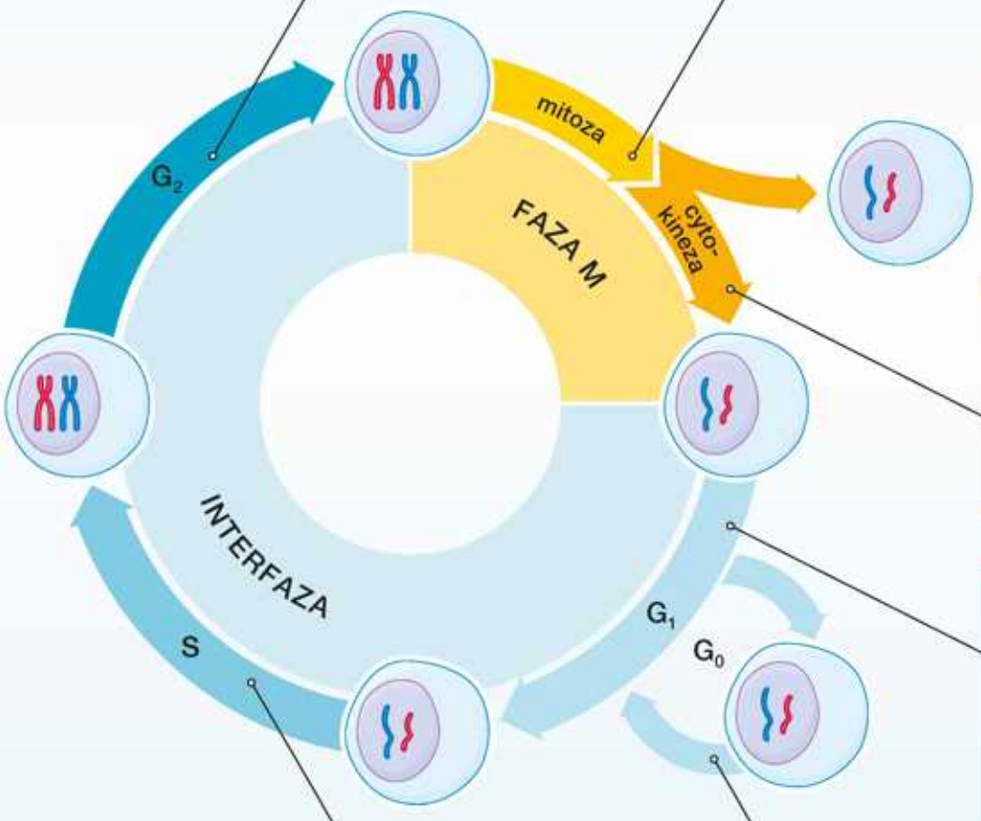
Kariotyp człowieka.
Na zdjęciu są widoczne chromosomy w formie najbardziej upakowanej. Dzięki temu można porównać ich wielkość oraz ułożenie w pary.

Cykl komórkowy

Cykl komórkowy składa się z interfazy i fazy M. Interfaza dzieli się na trzy kolejne fazy: G_1, S i G_2. W ich trakcie następuje przygotowanie komórki do podziału. Faza M jest to podział komórki, podczas którego najpierw zachodzi kariokineza, czyli mitoza, a następnie cytokineza.

Faza G_2
W trakcie tej fazy następuje nasilenie syntezy białek (z wyjątkiem histonów, które powstały w fazie S), w tym białek uczestniczących w podziale komórki. Zachodzi też podział organelli półautonomicznych (mitochondriów i plastydów).

Mitoza
Jest to podział jądra komórkowego na dwa identyczne pod względem genetycznym jądra potomne.



Cytokineza
To podział cytoplazmy. W wyniku mitozy oraz cytokinezy z jednej komórki macierzystej powstają dwie komórki potomne.

Faza G_1
W trakcie tej fazy następuje wzrost rozmiarów i zawartości komórki oraz przygotowanie do kolejnej fazy, polegające m.in. na syntezie enzymów niezbędnych do replikacji DNA.

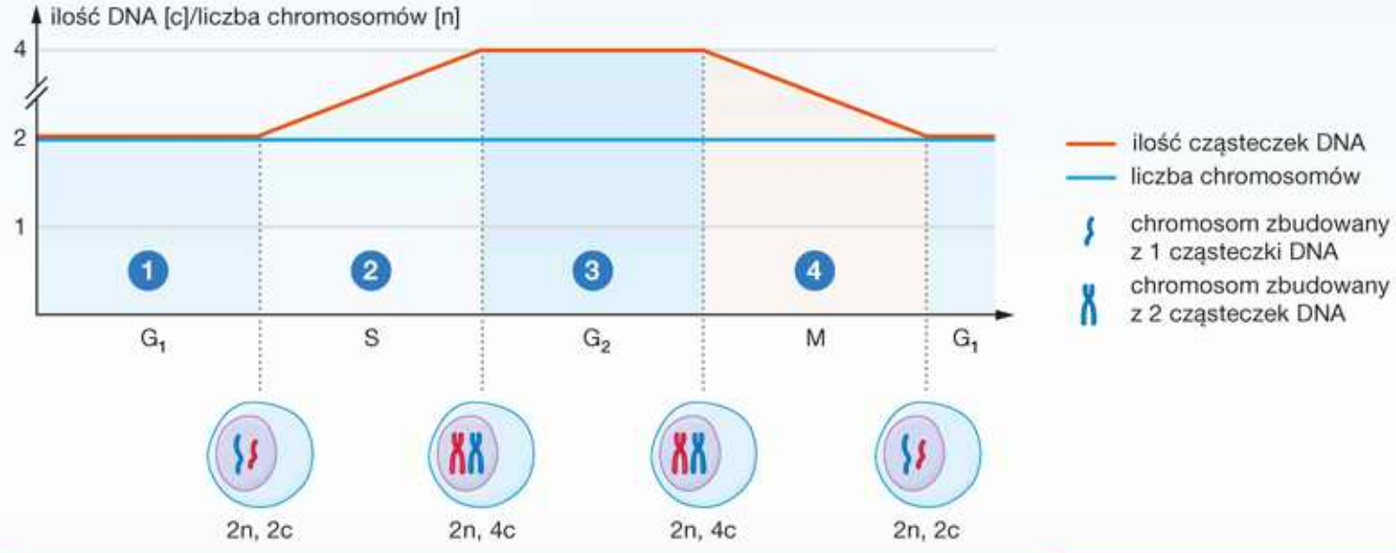
Faza S
Podczas fazy S następuje podwojenie ilości DNA (replikacja DNA) oraz synteza histonów. Następnie nowo powstałe cząsteczki DNA łączą się z wytworzonymi białkami histonowymi. Dzięki tym procesom każda komórka potomna otrzyma materiał genetyczny identyczny z komórką rodzicielską.

Faza G_0
Jest to faza spoczynkowa, inaczej wyjście z cyklu. Niektóre komórki w fazie G_0 (np. komórki nerwowe) nie przygotowują się do kolejnego podziału, lecz przekształcają się w komórki określonego typu. Nie replikują wówczas DNA ani się nie dzielą. Komórki z fazy G_0 mogą wrócić do cyklu, np. pod wpływem hormonów.

Zmiany zawartości DNA w cyklu komórkowym

Liczba chromosomów (n) oraz ilość DNA (c) zmieniają się w poszczególnych fazach cyklu komórkowego. W niedzielącej się komórce diploidalnej liczbę chromosomów oznacza się symbolem 2n, ponieważ chromosomy występują w niej w parach. Z kolei ilość cząsteczek DNA oznacza się symbolem 2c, ponieważ każdy chromosom z pary jest zbudowany z jednej cząsteczki DNA.

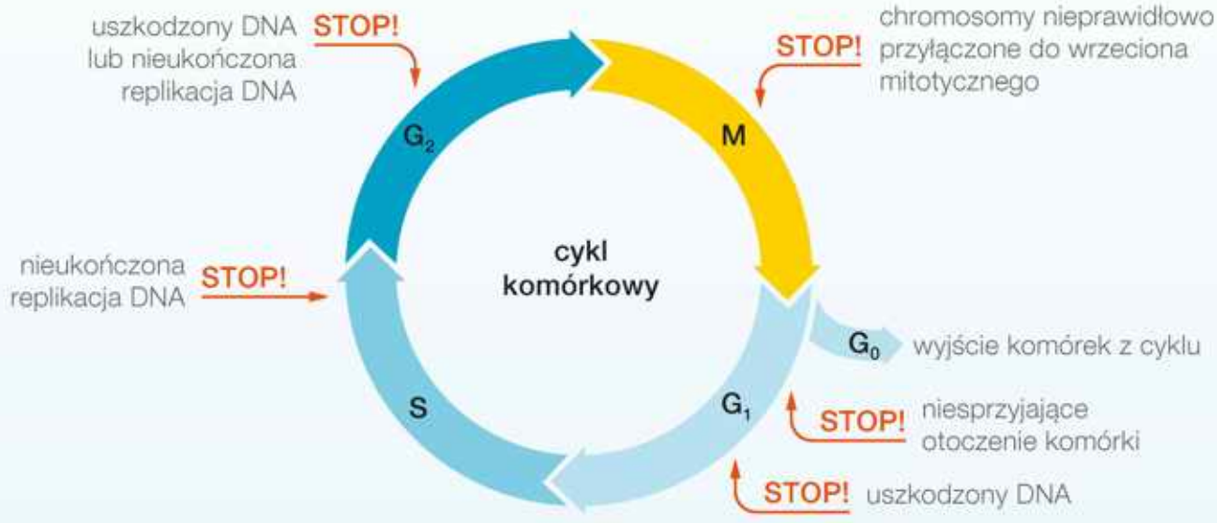
1. W fazie G_1 ilość DNA wynosi 2c, a liczba chromosomów – 2n.
2. W fazie S następuje replikacja DNA. W jej wyniku każdy chromosom składa się z dwóch takich samych cząsteczek DNA. Liczba chromosomów pozostaje bez zmian i wynosi 2n, ale zwiększa się ilość DNA z 2c do 4c.
3. W fazie G_2 pozostaje tyle samo DNA i chromosomów, ile było pod koniec fazy S.
4. Podczas fazy M każda z komórek potomnych otrzymuje po jednej cząsteczce DNA z każdego chromosomu. W związku z tym pod koniec fazy M komórki potomne mają dokładnie taką samą liczbę cząsteczek DNA i chromosomów, co komórka rodzicielska, czyli 2n i 2c.



Dowiedz się więcej

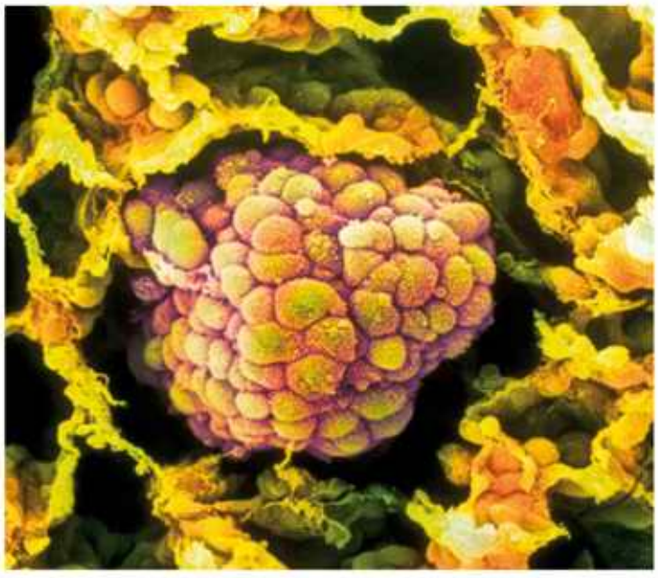
Układ kontroli cyklu komórkowego

W komórkach eukariotycznych nad prawidłowym przebiegiem cyklu komórkowego czuwa specjalny układ kontroli cyklu komórkowego, złożony z białek regulatorowych. Na skutek nieprawidłowych procesów układ ten może na pewien czas zatrzymać cykl w określonych punktach (oznaczonych na ilustracji jako miejsca STOP!).



Zaburzenia cyklu komórkowego

Zaburzenia kontroli cyklu komórkowego mogą powodować niekontrolowane, nadmierne podziały komórek. Prowadzi to do przemiany komórki prawidłowej w komórkę nowotworową, co określa się mianem **transformacji nowotworowej**. Przykładem zaburzenia, które może spowodować transformację nowotworową komórki, jest brak lub obecność nieprawidłowej wersji białka regulatorowego p53. Białko p53 jest odpowiedzialne m.in. za zatrzymanie cyklu w fazie G_1, gdy uszkodzony jest DNA. Jeśli cykl komórkowy się nie zatrzyma, nastąpi replikacja wadliwego DNA i zwiększy prawdopodobieństwo powstania nowotworu.

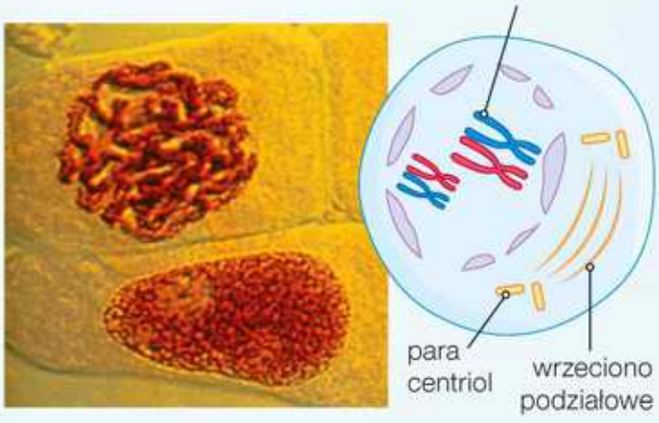


Komórki nowotworowe (obraz spod SEM) nadmiernie się dzielą i nie tworzą prawidłowej tkanki.

Mitoza

Mitoza jest procesem ciągłym, jednak umownie dzieli się ją na cztery fazy: profazę, metafazę, anafazę i telofazę. Zachodzi m.in. w komórkach somatycznych (komórkach ciała) zwierząt oraz roślin, co umożliwia ich wzrost i rozwój. Mitoza prowadzi do powstania dwóch komórek potomnych o niezmienionej liczbie chromosomów.

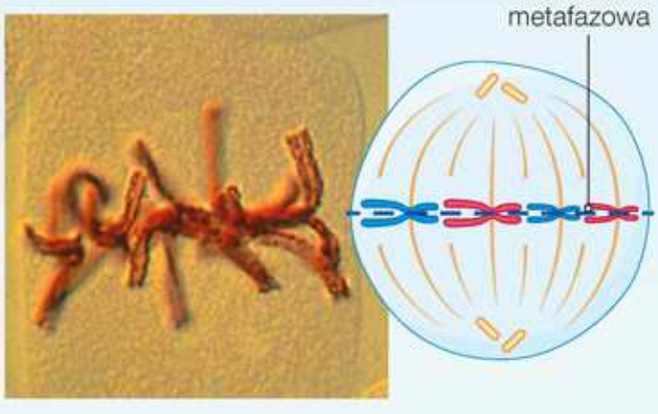
Profaza



W profazie:

- następuje kondensacja chromosomów – każdy jest zbudowany z dwóch chromatyd,
- zanikają otoczka jądrowa i jąderko,
- powstaje **wrzeciono podziałowe** (tzw. wrzeciono kariokinetyczne) zbudowane z **mikrotubul**. Wrzeciono umożliwia kontrolowane przemieszczanie się chromosomów podczas podziału komórki, chromosomy przytwierdzają się do włókien wrzeciona w miejscach określanych jako **centromery**.

Metafaza



W metafazie:

- chromosomy osiągają maksymalny poziom kondensacji – są krótkie, grube i dobrze widoczne pod mikroskopem optycznym,
- chromosomy połączone z włóknami wrzeciona podziałowego układają się w płaszczyźnie równikowej komórki. Tworzą w ten sposób tzw. **płytkę metafazową**.

Znaczenie mitozy

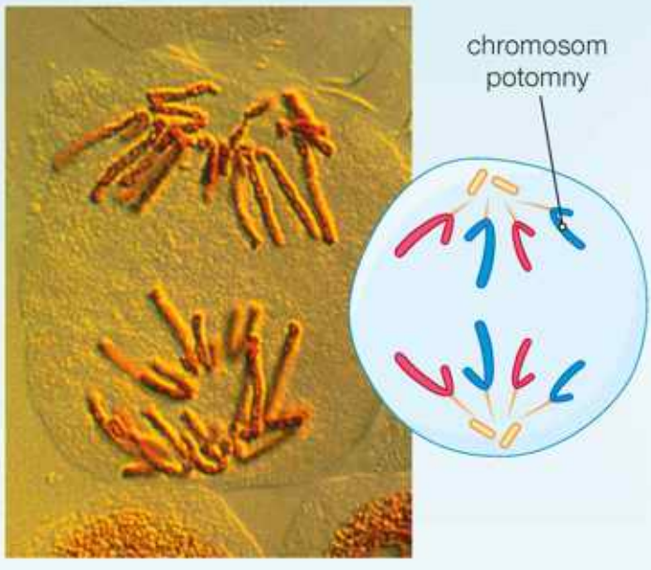
Mitoza oraz następująca po niej cytokineza powodują zwiększenie liczby komórek identycznych pod względem genetycznym. Umożliwia to:

- wzrost i rozwój organizmów,
- regenerację uszkodzonych lub utraconych elementów budowy organizmu (komórek, tkanek, a nawet całych organów), np. zabliźnianie się ran i odrastanie części ciała (m.in. ogona u jaszczurki),
- wymianę zużytych komórek na nowe, np. wymianę komórek naskórka,
- bezpłciowe rozmnażanie się wielu organizmów, np. protistów, grzybów i roślin.



Przykładem bezpłciowego (wegetatywnego) rozmnażania się roślin jest rozmnażanie truskawek przez rozłogi. Z rośliny macierzystej powstaje identyczna pod względem genetycznym roślina potomna.

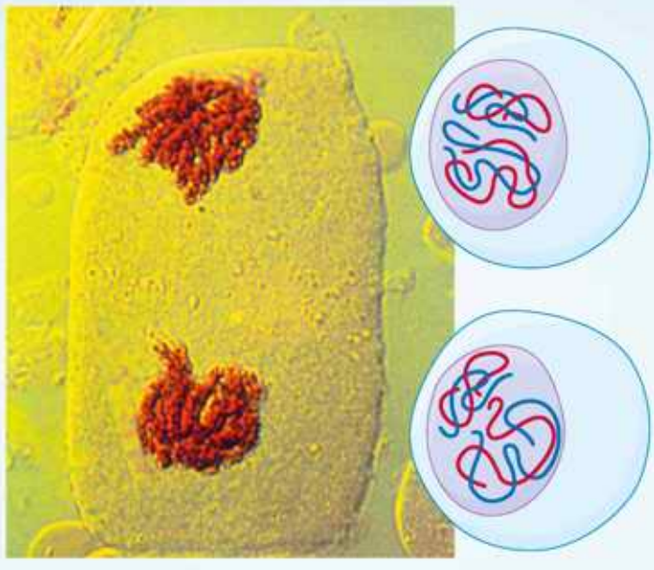
Anafaza



W anafazie:

- następuje podział centromerów, co prowadzi do rozdzielenia każdego chromosomu na dwie chromatydy. Od tego momentu każda chromatyda staje się odrębnym chromosomem, tzw. **chromosomem potomnym**,
- chromosomy potomne przemieszczają się do przeciwległych biegunów komórki dzięki skracającym się włóknom wrzeciona podziałowego.

Telofaza

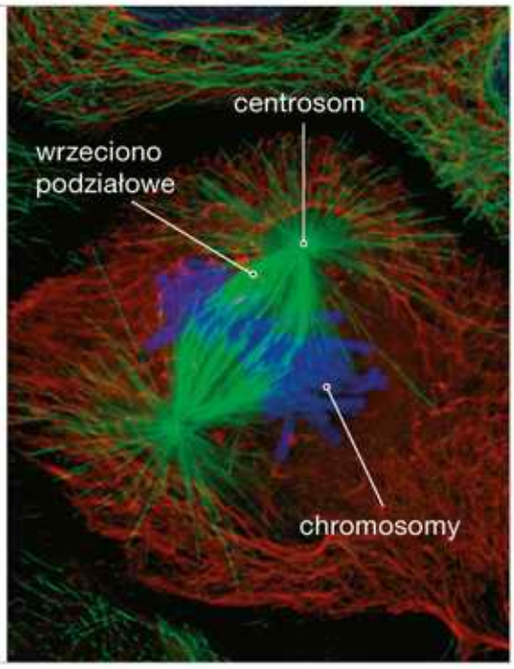


W telofazie:

- struktura chromosomów potomnych podlega stopniowemu rozluźnieniu (dekondensacji),
- wokół chromosomów potomnych tworzy się otoczka jądrowa oraz zaczyna się formować jąderko,
- zanika wrzeciono podziałowe. Wyjątek mogą stanowić komórki niektórych roślin, u których pozostałości mikrotubul wrzeciona kariokinetycznego uczestniczą w cytokinezie,
- na przeciwległych biegunach komórki zaczynają się tworzyć dwa jądra potomne.

Wrzeciono kariokinetyczne

W komórkach roślin i zwierząt wrzeciona kariokinetyczne (podziałowe) formują się w odmienny sposób. U zwierząt w powstawaniu wrzeciona uczestniczy **centrosom** – centrum organizacji mikrotubul, z którego wyrasta sieć mikrotubul komórki. Wewnątrz centrosomu znajduje się para centrioli zbudowanych z mikrotubul. W fazach S/G_2 interfazy następuje podwojenie centrosomu. W profazie centrosomy przemieszczają się do przeciwległych biegunów komórki, gdzie uczestniczą w formowaniu włókien wrzeciona podziałowego. Podczas cytokinezy zostają rozdzielone do komórek potomnych. W większości komórek roślinnych nie ma centrosomu. Wrzeciono podziałowe powstaje w nich jedynie z udziałem białek motorycznych komórki.

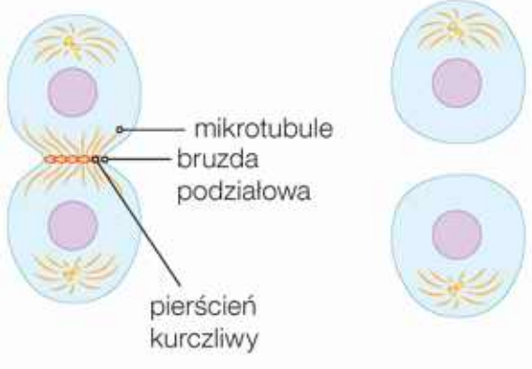


Cytokineza

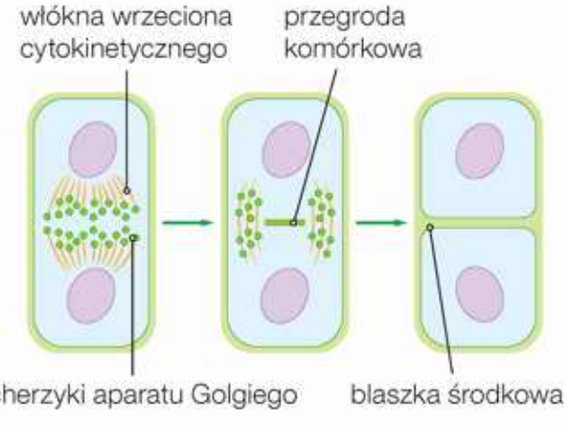
Podział cytoplazmy (cytozolu i organelli komórkowych) w komórkach zwierzęcych zaczyna się w anafazie, a w komórkach roślinnych – na początku telofazy.

W komórkach zwierzęcych cytokineza rozpoczyna się w momencie, gdy filamenty aktynowe (mikrofilamenty) i miozynowe tworzą w płaszczyźnie równikowej komórki specjalną strukturę – **pierścień kurczliwy**, przylegający do wewnętrznej strony błony komórkowej. Kurcząc się, pierścień ten powoduje powstanie niewielkiego przewężenia, tzw. bruzdy podziałowej. Zaciskający się pierścień kurczliwy ostatecznie prowadzi do całkowitego rozdziału cytozolu i zanurzonych w nim organelli do obu komórek potomnych.

W komórce roślinnej z pozostałości wrzeciona kariokinetycznego formuje się specjalna struktura nazywana **wrzecionem cytokinetycznym**. W płaszczyźnie równikowej wrzeciona cytokinetycznego układają się pęcherzyki aparatu Golgiego. Są one wypełnione pektynami i hemicelulozami – związkami niezbędnymi do budowy blaszki środkowej i pierwotnej ściany komórkowej. Pęcherzyki łączą się ze sobą, tworząc błoniastą strukturę nazywaną przegrodą komórkową. Gdy błona przegrody komórkowej połączy się z błoną komórki macierzystej, następuje podział cytoplazmy na dwie komórki potomne. Zawartość przegrody tworzy między komórkami blaszkę środkową. Następnie po obu stronach blaszki środkowej komórki potomne budują nowe ściany komórkowe.



Cytokineza w komórce zwierzęcej odbywa się dzięki obecności pierścienia kurczliwego.

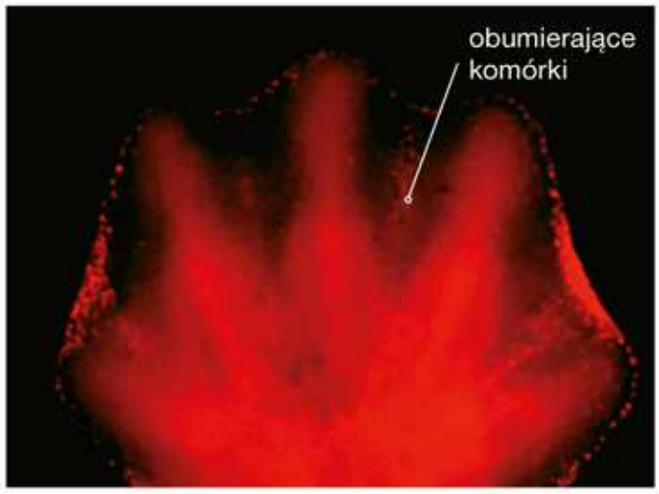


Cytokineza w komórce roślinnej odbywa się dzięki obecności wrzeciona cytokinetycznego.

Apoptoza – programowana śmierć komórki

Aby organizm mógł prawidłowo funkcjonować, liczba komórek budujących jego ciało musi podlegać ścisłej regulacji. Dlatego podczas gdy jedne komórki stale się dzielą, inne podlegają genetycznie zaprogramowanej śmierci komórkowej – **apoptozie**, nazywanej również **programowaną śmiercią komórki**. Jest to proces naturalny, który umożliwia m.in.:

- eliminację niepotrzebnych, powstałych w nadmiernej ilości komórek – np. podczas rozwoju embrionalnego znaczna część komórek nerwowych obumiera i tylko niektóre z nich uczestniczą w tworzeniu się układu nerwowego,
- usuwanie struktur, które przestały pełnić swoją funkcję na danym etapie rozwoju organizmu, np. zanik ogona kijanki żaby podczas przeobrażania się w dorosłego osobnika,
- kształtowanie części ciała, np. zanik błony pławnej między palcami podczas rozwoju embrionalnego ssaków,
- eliminację komórek uszkodzonych, zainfekowanych, nieprawidłowych, błędnie umiejscowionych, np. usuwanie limfocytów T i B, które rozpoznają własne antygeny jako nieprawidłowe.

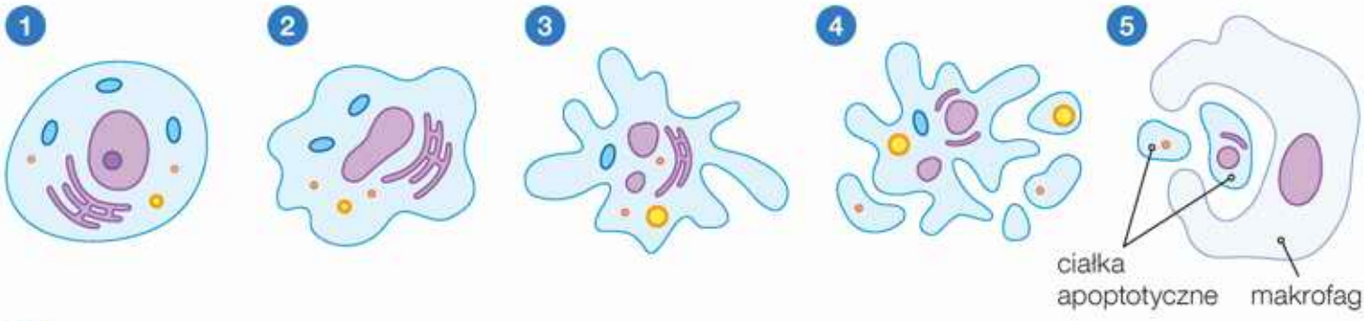


Formowanie się palców dłoni i stóp w rozwoju embrionalnym ssaków jest możliwe dzięki temu, że komórki rejonów międzypalcowych ulegają apoptozie. Na zdjęciu widać wybarwioną fluorescencyjnie łapę zarodka myszy. Jaśniej świecące punkty to komórki w trakcie programowanej śmierci.

Przebieg apoptozy

Apoptoza przebiega w taki sposób, aby zawartość komórki nie wylała się do przestrzeni międzykomórkowej. Chroni to komórki sąsiadujące z obumierającą przed uszkodzeniami.

Etapy apoptozy

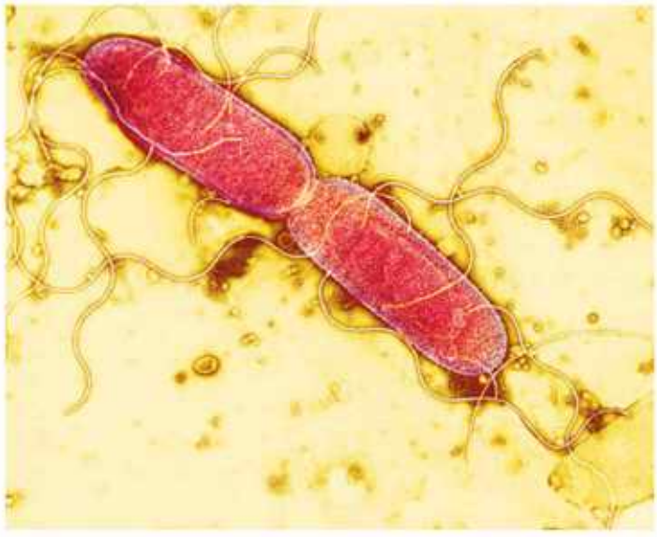


1. Komórka funkcjonuje normalnie do rozpoczęcia apoptozy. Moment ten jest ściśle regulowany zewnątrz- i wewnątrzkomórkowo.
2. Po rozpoczęciu apoptozy jądro komórkowe obkurcza się, a DNA ulega fragmentacji. Komórka traci wodę i kurczy się, a jej cytoszkielet się rozpada (ulega degradacji).
3. Następnie zanika otoczka jądrowa, a błona obumierającej komórki zaczyna się uwypuklać.
4. Komórka rozpada się na małe, otoczone błoną pęcherzyki, tzw. ciałka apoptotyczne.
5. Ciałka apoptotyczne są pochłaniane i trawione przez sąsiadujące komórki lub makrofagi – komórki żerne układu odpornościowego. W ten sposób po obumarłej komórce nie pozostaje żaden ślad.

Dowiedz się więcej

Podział prosty komórek bakterii

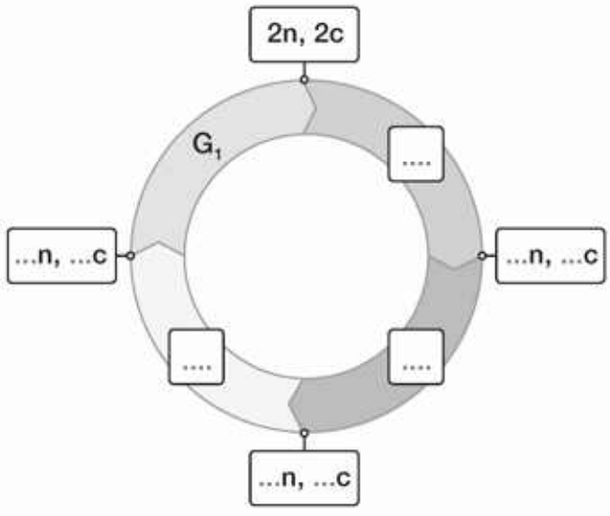
Bakterie rozmnażają się przez podział prosty komórki. Podział ten przebiega inaczej niż u organizmów eukariotycznych, ponieważ bakterie nie mają jądra komórkowego, a ich DNA znajduje się bezpośrednio w cytozolu. Przed podziałem bakteryjne DNA ulega replikacji, a w trakcie podziału komórki obie kopie materiału genetycznego są rozdzielane do powstających komórek potomnych. W komórkach bakterii nie występują centrosomy ani wrzeciono podziałowe, naukowcy przypuszczają więc, że rozdział kopii DNA zachodzi podczas wzrostu komórki. Każda z kopii jest przyczepiona do błony i ściany komórkowej w innym miejscu. W trakcie wzrostu komórki bakterii obie kopie odsuwają się od siebie, co umożliwia ich rozdzielenie.



Bakterie *Escherichia coli* w trakcie podziału prostego (zdjęcie spod TEM, barwione komputerowo).

Polecenia kontrolne

1. Przerysuj poniższy schemat do zeszytu. Podpisz na schemacie fazy cyklu komórkowego. Następnie określ liczbę cząsteczek DNA (c) i liczbę chromosomów (n) występujących w komórce w każdym ze wskazanych miejsc.



2. Uzasadnij konieczność replikacji DNA przed podziałem komórki.
3. Wykonaj w zeszycie rysunek ilustrujący przebieg metafazy mitozy dla komórki, w której 2n = 6.
4. Wyjaśnij, czym się różni cytokineza komórek zwierzęcych i roślinnych.
5. Podaj przykłady trzech sytuacji, w których apoptoza jest konieczna do prawidłowego rozwoju i funkcjonowania organizmu wielokomórkowego.

3.9. Mejoza

Zwróć uwagę na:
- przebieg i znaczenie mejozy,
- znaczenie procesów *crossing-over* oraz niezależnej segregacji chromosomów,
- różnice między mejozą a mitozą.

Podział mitotyczny umożliwia organizmom m.in. wzrost, rozwój i rozmnażanie bezpłciowe. Natomiast do rozmnażania płciowego organizmy potrzebują podziału jądra komórkowego, który umożliwia im wytworzenie komórek o **zredukowanej o połowę** liczbie chromosomów. Redukcja liczby chromosomów jest niezbędna do tego, aby organizmy powstałe w procesie zapłodnienia, czyli połączenia się plemnika i komórki jajowej, miały dokładnie taką samą liczbę chromosomów, co inni przedstawiciele danego gatunku. Takim specjalnym rodzajem podziału jądra komórkowego jest **mejoza**.

Mejoza

Mejoza jest podziałem jądra komórkowego, dzięki któremu z jednej komórki macierzystej powstają **cztery** komórki o zredukowanej o połowę liczbie chromosomów. Oznacza to, że z jednej komórki diploidalnej w wyniku mejozy powstają cztery komórki haploidalne. Dlatego proces ten jest również nazywany **podziałem redukcyjnym**. Mejoza zachodzi wyłącznie u organizmów eukariotycznych (jądrowych). U roślin i grzybów umożliwia wytwarzanie **mejospor**, czyli haploidalnych zarodników. Z mejospor rozwija się pokolenie haploidalne, które dzięki podziałom mitotycznym wytwarza następnie haploidalne gamety. U zwierząt mejoza umożliwia **gametogenezę**, czyli proces wytwarzania gamet.

Uwaga! Mitoza zachodzi w komórkach diploidalnych i haploidalnych. Z kolei mejoza zachodzi jedynie w komórkach diploidalnych. Rozpoczęcie przez komórkę podziału mejotycznego jest równoznaczne z jej wyjściem z cyklu życiowego właściwego dla komórki diploidalnej.

Mejoza trwa znacznie dłużej niż mitoza. U niektórych gatunków roślin nawet 50–100 godz., a u wielu gatunków zwierząt jeszcze dłużej.

Czy wiesz, że...

U kobiet podział mejotyczny pojedynczej komórki może trwać nawet ponad 40 lat. Dzieje się tak, ponieważ komórki macierzyste gamet rozpoczynają mejozę pod koniec okresu płodowego, a więc jeszcze przed urodzeniem się dziewczynki. Podział mejotyczny zostaje jednak zahamowany na początkowym etapie, a jego dokończenie następuje tuż przed każdą owulacją. Oznacza to, że pojedyncza komórka macierzysta gamet może trwać w stanie zatrzymanej mejozy aż do ostatniej owulacji kobiety.



Komórka jajowa i plemnik, choć znacznie różnią się wielkością, zawierają dokładnie taką samą liczbę chromosomów. Liczba ta jest o połowę mniejsza niż liczba chromosomów w komórkach ciała. Na fotografii widać gamety w momencie zapłodnienia (obraz spod SEM, barwiony komputerowo).

Przebieg mejozy

Mejoza obejmuje dwa sprzężone ze sobą podziały – I (pierwszy) podział mejotyczny oraz II (drugi) podział mejotyczny. Każdy z nich, podobnie jak w mitozie, składa się z czterech faz: profazy, metafazy, anafazy i telofazy.

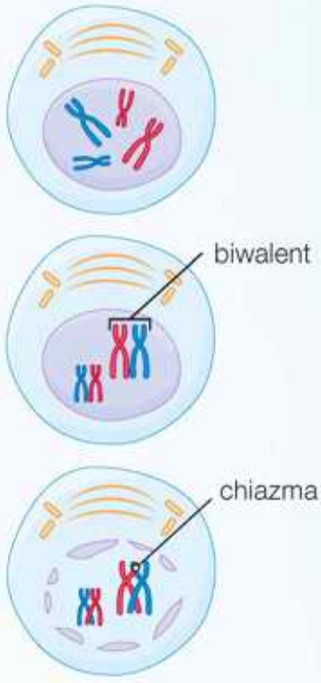
Pierwszy podział mejotyczny

Przed I podziałem mejotycznym DNA ulega replikacji. Następnie w trakcie tego podziału dochodzi do **redukcji ilości materiału genetycznego** i **liczby chromosomów**.

Profaza I

W profazie I:

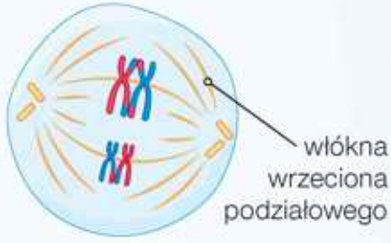
- następuje stopniowy zanik otoczki jądrowej i jąderka oraz formowanie się wrzeciona kariokinetycznego. Chromosomy ulegają wówczas kondensacji – w wyniku replikacji każdy chromosom jest zbudowany z dwóch cząsteczek DNA, połączonych centromerem;
- chromosomy homologiczne układają się w pary. Tworzą w ten sposób tzw. **biwalenty**. Proces układania się chromosomów w pary nosi nazwę koniugacji. Na skutek wcześniejszego podwojenia materiału genetycznego każdy z chromosomów jest zbudowany z dwóch chromatyd, a zatem biwalent składa się z czterech chromatyd, co określa się mianem **tetrady chromatyd**. W tym czasie między chromosomami homologicznymi zwykle następuje wymiana niektórych odcinków chromatyd. Proces ten nosi nazwę ***crossing-over*** [wym. krosing ołwer];
- chromosomy homologiczne poszczególnych biwalentów zaczynają się stopniowo rozdzielać. Ostatecznie jedynymi miejscami ich połączeń pozostają tzw. **chiazmy**. Są to rejony, w których nastąpiła wymiana fragmentów chromatyd. Zanika otoczka jądrowa i tworzy się wrzeciono podziałowe.



Metafaza I

W metafazie I:

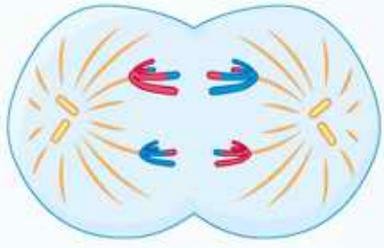
- pary chromosomów homologicznych (biwalentów) przesuwają się do płaszczyzny równikowej komórki;
- włókna ostatecznie uformowanego wrzeciona podziałowego łączą się z centromerami chromosomów.



Anafaza I

W anafazie I:

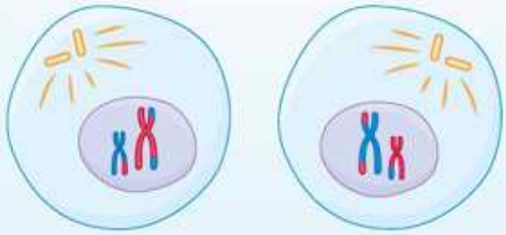
- następuje rozdzielenie chromosomów homologicznych. Przemieszczają się one do biegunów komórki losowo, po jednym z każdej pary. Każdy z wędrujących chromosomów w dalszym ciągu składa się z dwóch chromatyd połączonych centromerem. W efekcie rozdzielenia chromosomów homologicznych komórki potomne odziedziczą już tylko po jednym chromosomie z każdej pary.



Telofaza I

W telofazie I:

- zgrupowane na biegunach chromosomy ulegają częściowej dekondensacji;
- odtwarzają się otoczki jądrowe i jąderka oraz zachodzi cytokineza.



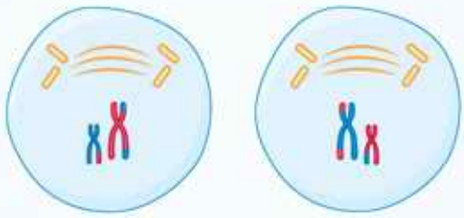
Drugi podział mejotyczny

Przed II podziałem mejotycznym nie dochodzi do replikacji DNA. Proces II podziału mejotycznego przypomina mitozę. W jego wyniku każdy chromosom ulega podziałowi, a rozdzielone chromatydy stają się chromosomami potomnymi. Do II podziału mejotycznego przystępują obie komórki potomne powstałe w wyniku I podziału. Dlatego w efekcie II podziału mejotycznego tworzą się cztery haploidalne jądra, a po cytokinezie – cztery komórki potomne, z których każda zawiera pojedynczy zestaw chromosomów (n).

Profaza II

W profazie II:

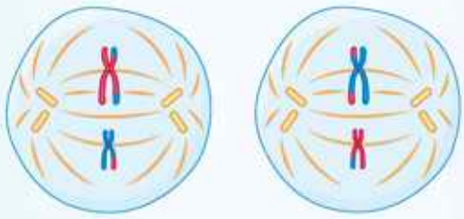
- chromosomy ponownie ulegają kondensacji,
- zanika otoczka jądrowa i jąderko,
- formuje się wrzeciono podziałowe.



Metafaza II

W metafazie II:

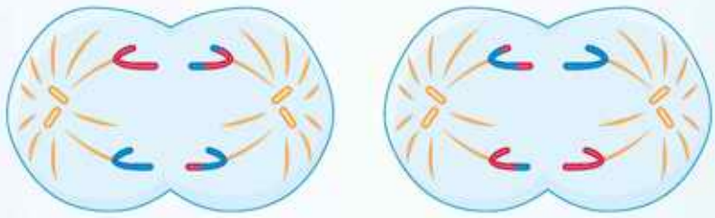
- chromosomy ustawiają się w płaszczyźnie równikowej komórki,
- mikrotubule wrzeciona podziałowego przyczepiają się do centromerów chromosomów.



Anafaza II

W anafazie II:

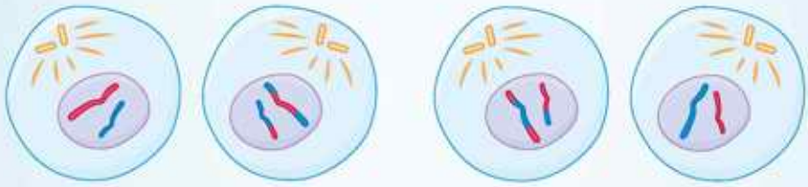
- włókna wrzeciona skracają się,
- następuje podział centromerów i chromatydy jako chromosomy potomne wędrują do biegunów komórki.



Telofaza II

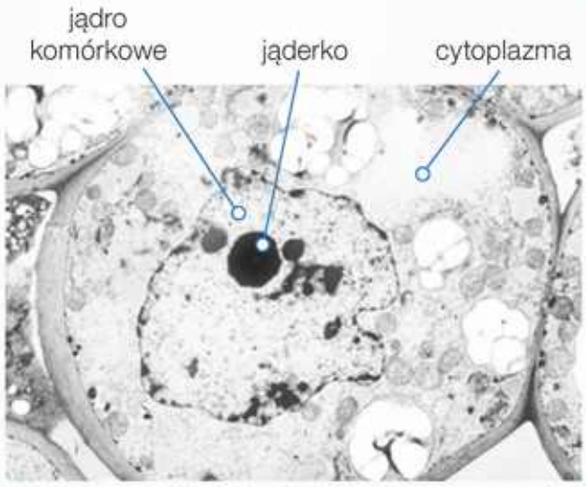
W telofazie II:

- struktura chromosomów rozluźnia się,
- odtwarza się otoczka jądrowa i jąderko oraz zachodzi cytokineza.



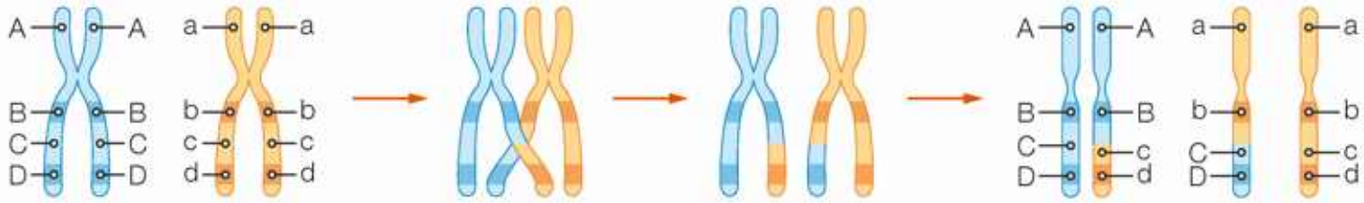
Dlaczego podczas mitozy i mejozy jąderko zanika?

Jąderko to obszar w obrębie jądra komórkowego, w którym następuje intensywne odczytywanie informacji genetycznej – głównie synteza rRNA na podstawie DNA. W trakcie mitozy i mejozy jąderko zanika, ponieważ DNA ulega kondensacji. Podczas obu tych podziałów nie zachodzi też odczytywanie informacji genetycznej oraz synteza białek.



Crossing-over

Crossing-over to proces, podczas którego następuje wymiana niektórych odcinków chromatyd między chromosomami homologicznymi. Para chromosomów homologicznych zawsze zawiera te same geny, jednak ich wersje, czyli allele[1], w poszczególnych chromosomach mogą się od siebie różnić, np. pierwszy chromosom może zawierać same dominujące allele genów (A, B, C, D), a drugi – recesywne (a, b, c, d). W wyniku *crossing-over* powstają chromatydy o odmiennej kombinacji tych alleli. Prowadzi to do powstania zygoty o zmodyfikowanej kombinacji cech. *Crossing-over* stanowi podstawę zróżnicowania genetycznego osobników w obrębie gatunku.



biwalent (tetrada chromatyd) | *crossing-over* (wymiana fragmentów chromatyd) | chromosomy homologiczne po *crossing-over* | chromosomy po anafazie II

Znaczenie mejozy

Kluczowym następstwem mejozy jest wytworzenie z diploidalnej komórki macierzystej komórek potomnych o haploidalnej liczbie chromosomów. Dzięki temu proces ten umożliwia:

- rozmnażanie płciowe organizmów – dzięki mejozie powstają haploidalne gamety u zwierząt i mejospory (zarodniki haploidalne) u roślin,
- zachowanie stałej liczby chromosomów, charakterystycznej dla wszystkich osobników danego gatunku – podczas mejozy zachodzi redukcja liczby chromosomów w gametach, co zapobiega zwielokrotnianiu liczby chromosomów w zygocie i powstającym z niej organizmie potomnym,
- zróżnicowanie genetyczne osobników tego samego gatunku – w trakcie mejozy następuje *crossing-over* (wymiana fragmentów chromatyd chromosomów homologicznych) w profazie I oraz losowe rozchodzenie się chromosomów podczas anafazy I.

Zróżnicowanie genetyczne osobników w obrębie gatunku jest kluczowe dla jego przetrwania. Dzięki temu, że w każdym pokoleniu powstają osobniki o nowych kombinacjach alleli, wśród potomstwa mają szansę znaleźć się osobniki, które przetrwają w zmieniających się warunkach środowiska. Taką zmianą w środowisku może być spadek zawartości tlenu w zbiorniku wodnym lub pojawienie się w ekosystemie nowego drapieżnika.

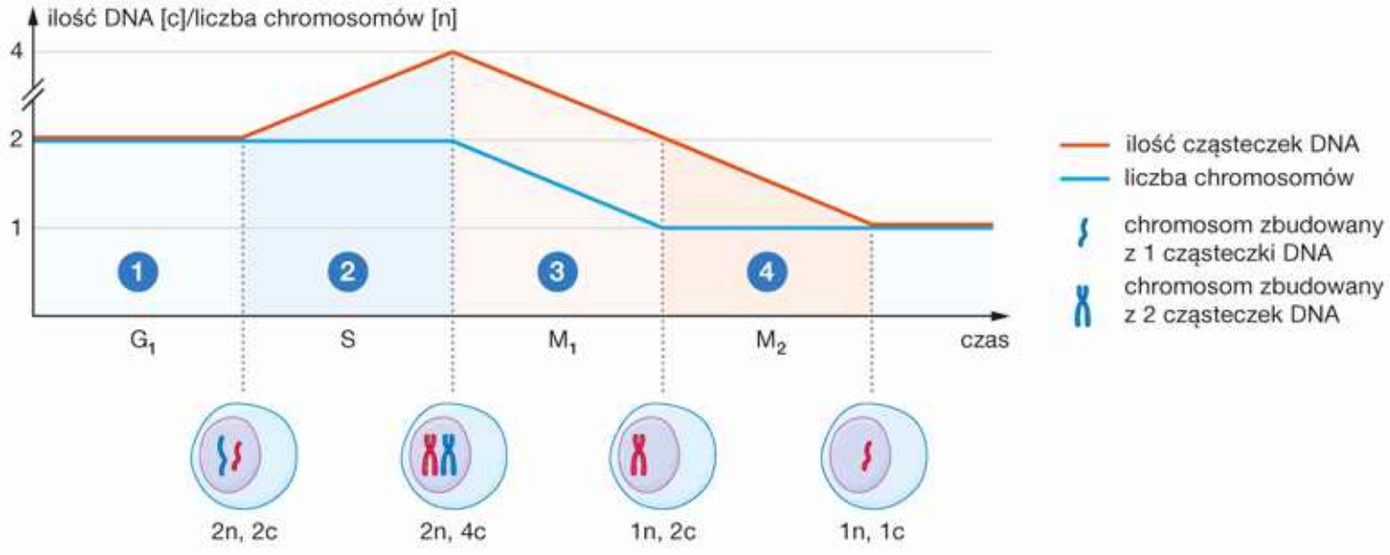
Czy wiesz, że...

U bakterii nie zachodzi mejoza, a w związku z tym również rozmnażanie płciowe. Organizmy te rozmnażają się przez podział prosty komórki. Jednak i u nich występuje proces, podczas którego materiał genetyczny ulega rekombinacji. Jest nim koniugacja. Polega ona na przekazywaniu przez jedną komórkę bakterii części swojego DNA drugiej komórce. W ten sposób bakterie mogą przekazywać informację genetyczną, która warunkuje np. oporność na określony antybiotyk.

[1] **Allel** – wersja genu.

Zmiany zawartości DNA w komórce ulegającej mejozie

Zanim komórka przystąpi do podziału mejotycznego, odbywa cykl komórkowy, podczas którego następuje replikacja DNA. Następnie w trakcie I podziału mejotycznego dochodzi do redukcji ilości materiału genetycznego i liczby chromosomów. W trakcie II podziału mejotycznego zmniejsza się jedynie ilość DNA.



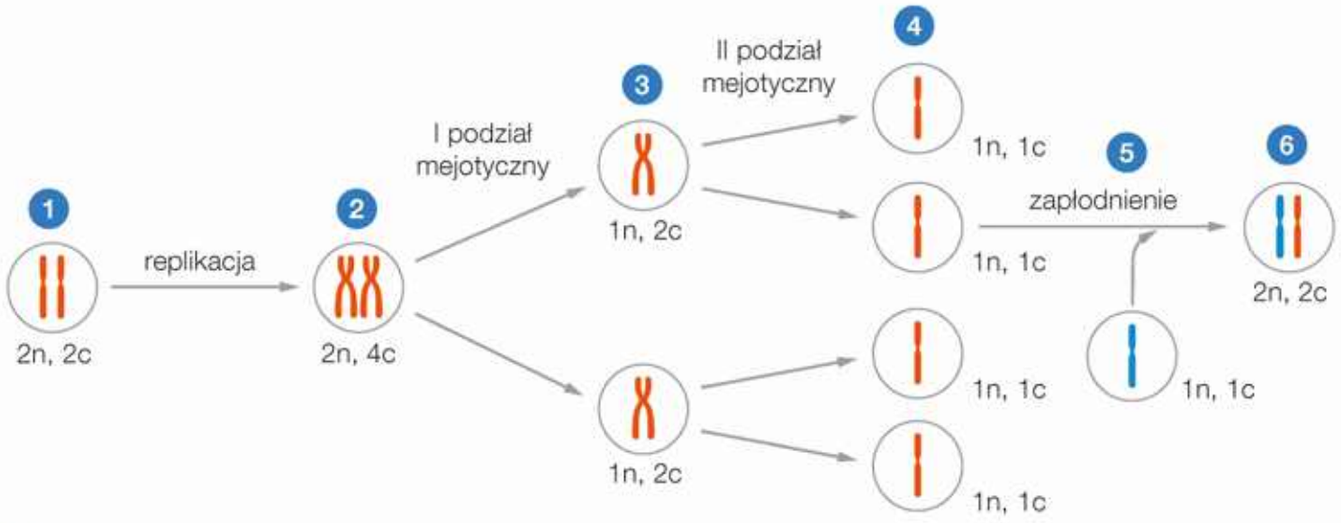
1. W fazie G_1 liczba chromosomów wynosi 2n, a ilość DNA – 2c.
2. Podczas fazy S następuje replikacja DNA – ilość DNA podwaja się do poziomu 4c. Liczba chromosomów się nie zmienia.
3. W trakcie I podziału mejotycznego następuje redukcja liczby chromosomów z 2n do 1n (do komórek potomnych trafia po jednym chromosomie homologicznym z pary) i ilości DNA z 4c do 2c (każdy chromosom nadal jest zbudowany z dwóch chromatyd).
4. Po II podziale mejotycznym liczba chromosomów się nie zmienia (chromatydy stają się chromosomami), a ilość DNA obniża się do poziomu 1c.

Porównanie mitozy z mejozą

mitoza	mejoza
• zachodzi w komórkach diploidalnych i haploidalnych • obejmuje jeden podział • prowadzi do wytworzenia dwóch komórek potomnych o takiej samej liczbie chromosomów i takiej samej kombinacji alleli co komórka macierzysta • umożliwia wzrost i rozwój organizmu, gojenie się ran, odtwarzanie zużytej lub zniszczonej tkanki	• zachodzi w komórkach diploidalnych • obejmuje dwa następujące po sobie podziały • prowadzi do wytworzenia czterech komórek potomnych o zredukowanej o połowę liczbie chromosomów w stosunku do komórki macierzystej i zmodyfikowanej kombinacji alleli w chromosomach • umożliwia rozmnażanie płciowe oraz pozwala na zachowanie charakterystycznej dla gatunku stałej liczby chromosomów

Zmiany zawartości DNA podczas zapłodnienia

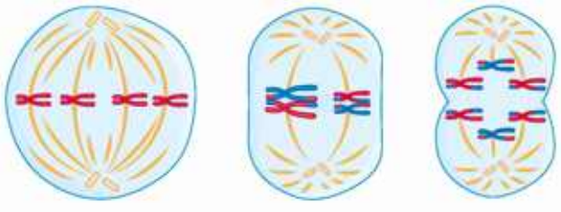
Zmiany ilości DNA i liczby chromosomów w różnych komórkach człowieka można prześledzić na przykładzie wytwarzania gamet i zapłodnienia.



1. Komórka macierzysta gamet ma taką samą liczbę chromosomów i taką samą ilość DNA co pozostałe komórki ciała człowieka, czyli odpowiednio: 2n i 2c.
2. W wyniku replikacji podwaja się ilość DNA z 2c do 4c, natomiast liczba chromosomów pozostaje bez zmian.
3. Po I podziale mejotycznym o połowę zmniejsza się liczba chromosomów oraz ilość DNA – odpowiednio do 1n i 2c.
4. W wyniku II podziału mejotycznego powstają gamety, których liczba chromosomów wynosi 1n, a ilość DNA – 1c.
5. Podczas zapłodnienia gamety rodziców łączą się i przekazują powstającej zygocie swój materiał genetyczny.
6. W efekcie zapłodnienia powstaje zygota, której liczba chromosomów wynosi 2n, a ilość DNA – 2c.

Polecenia kontrolne

1. Poniżej przedstawiono trzy komórki w trakcie podziału mejotycznego.



   a. Podaj liczbę chromosomów pojedynczej komórki haploidalnej powstałej w wyniku każdego z przedstawionych podziałów.
   b. Określ, w jakiej fazie oraz którego podziału (I czy II) znajduje się każda z przedstawionych komórek.
2. Jeśli wiesz, że komórka diploidalna organizmu człowieka zawiera 46 chromosomów, podaj:
   a. liczbę chromatyd powstających podczas profazy I podziału mejotycznego tej komórki,
   b. liczbę chromosomów w ludzkiej gamecie.

Podsumowanie

1 Komórka – najmniejsza jednostka strukturalna i funkcjonalna organizmu, zdolna do wykonywania czynności życiowych.

Poziomy organizacji komórkowej organizmów:
- organizmy jednokomórkowe – zbudowane tylko z jednej komórki, która wykonuje wszystkie czynności życiowe,
- formy kolonijne – zespoły komórek, z których każda może żyć również samodzielnie,
- organizmy wielokomórkowe – zbudowane z wielu zależnych od siebie komórek, które mogą tworzyć plechy lub tkanki.

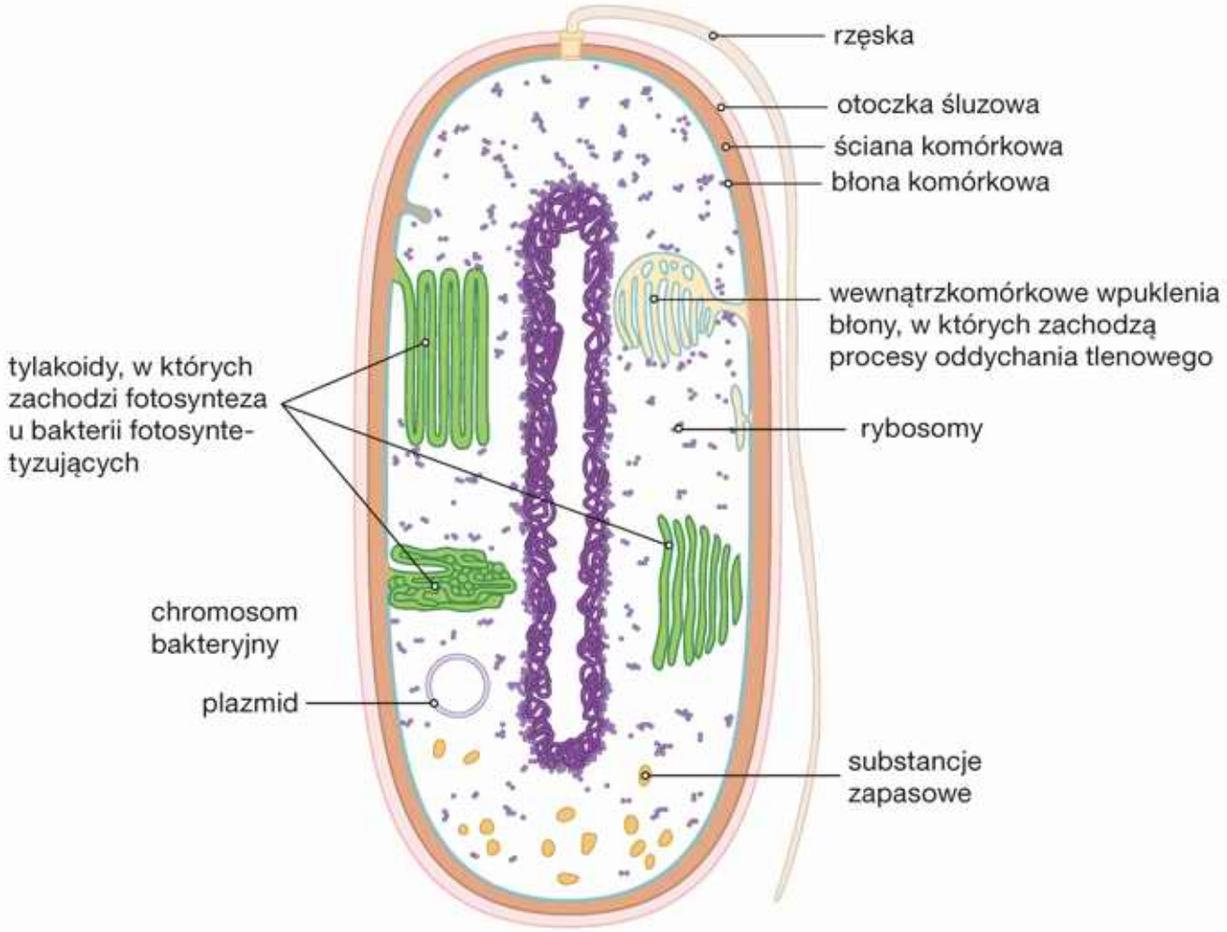
2 Rodzaje komórek ze względu na obecność jądra komórkowego

Komórki	
prokariotyczne (bezjądrowe)	eukariotyczne (jądrowe)
komórki bakterii	komórki roślinne, zwierzęce i grzybowe

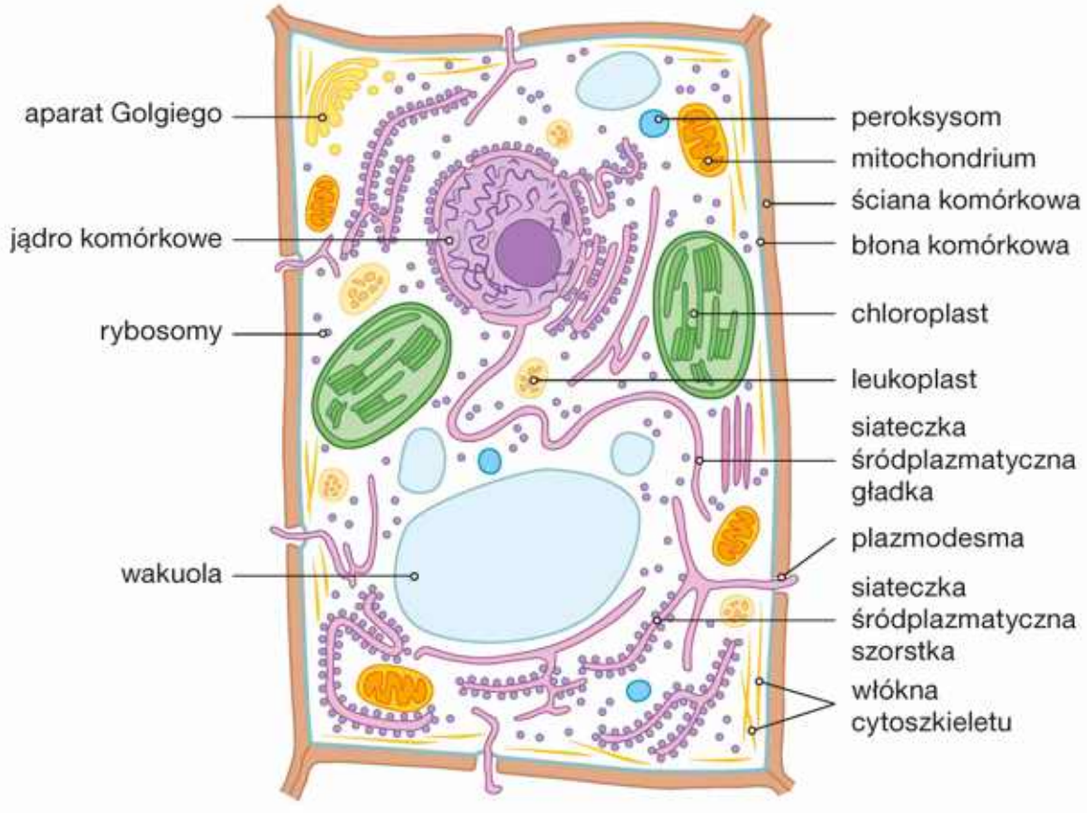
3 Porównanie komórki prokariotycznej z komórkami eukariotycznymi

Struktura komórki	Komórka prokariotyczna	Komórka eukariotyczna		
		zwierzęca	roślinna	grzybowa
Jądro komórkowe	– (jego funkcję pełni nukleoid)	+	+	+
Ściana komórkowa	zbudowana z mureiny	–	zbudowana z celulozy	zbudowana z chityny
Błona komórkowa	+	+	+	+
Cytozol	+	+	+	+
Cytoszkielet	–	+	+	+
Mitochondria	– (w niektórych komórkach ich funkcje pełnią wewnątrzkomórkowe wpuklenia błony)	+	+	+
Chloroplasty	– (w komórkach sinic ich funkcje pełnią tylakoidy)	–	+	–
Siateczka śródplazmatyczna	–	+	+	+
Rybosomy	+	+	+	+
Aparat Golgiego	–	+	+	+
Lizosomy	–	+	– (u roślin funkcję tę pełnią enzymy zawarte w wakuoli)	–
Peroksysomy	–	+	+	+
Wakuole	–	+	+	+

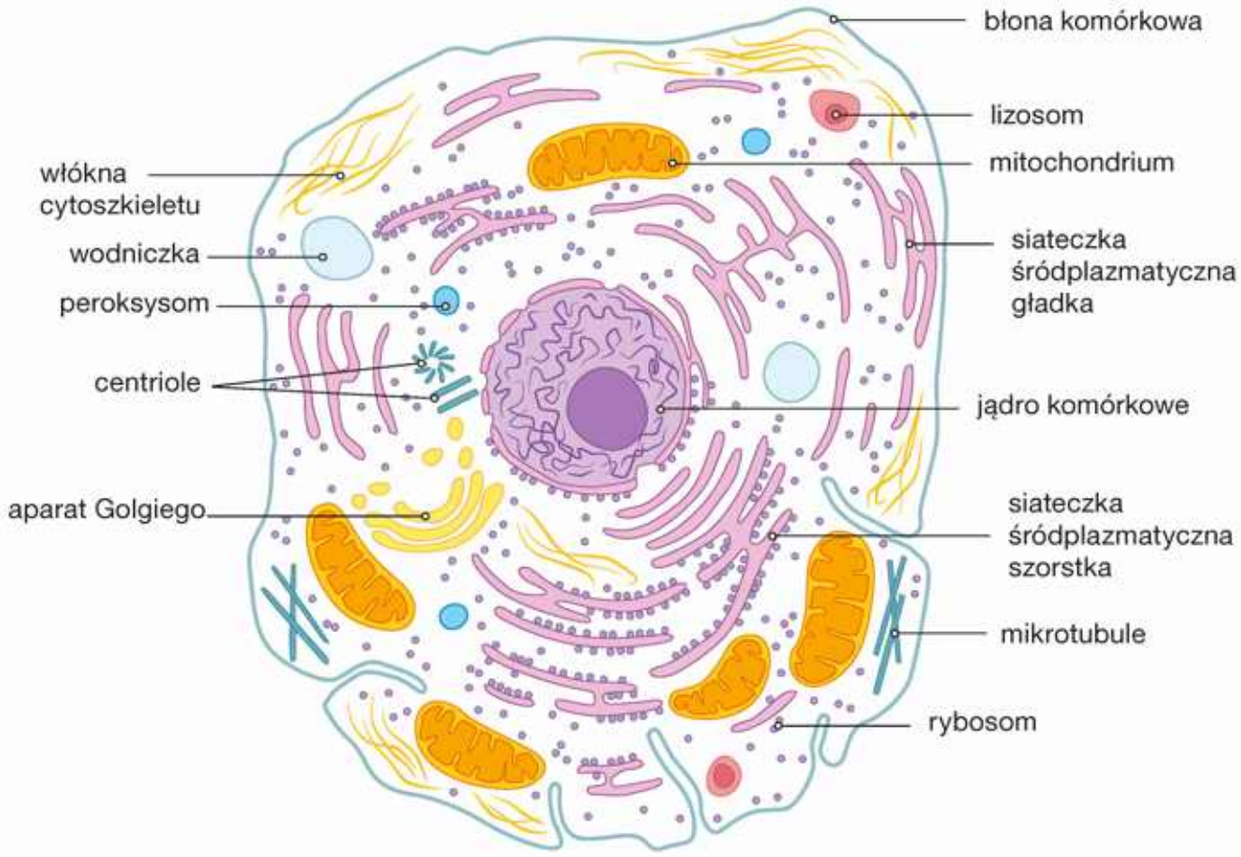
4 Porównanie budowy komórek



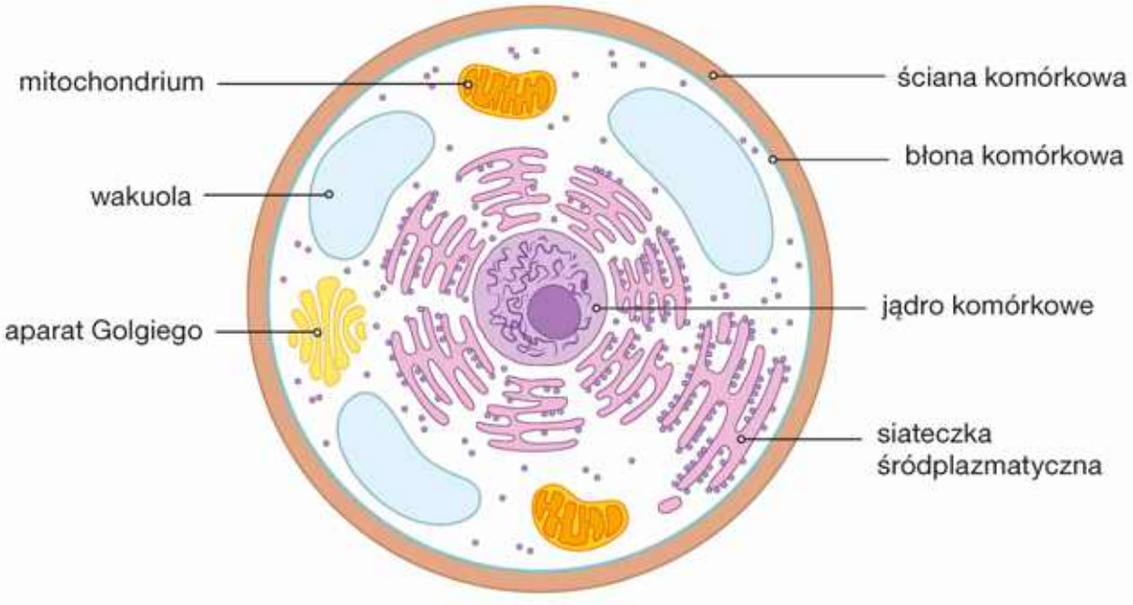
Komórka bakteryjna (prokariotyczna).



Komórka roślinna (eukariotyczna).



Komórka zwierzęca (eukariotyczna).

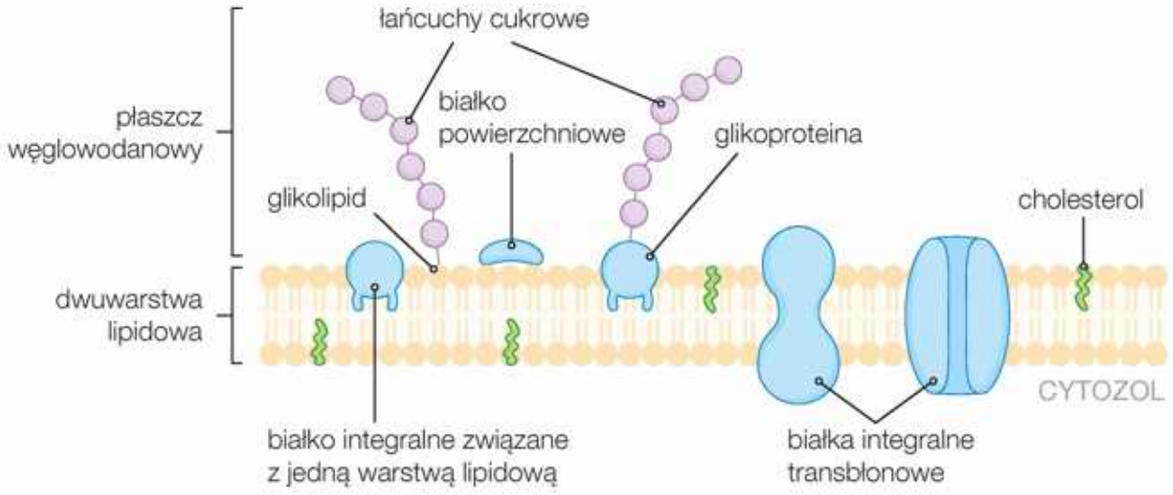


Komórka grzybowa (eukariotyczna).

5 Błony biologiczne

Błony biologiczne – błony białkowo-lipidowe, które otaczają komórkę (błony komórkowe) oraz większość organelli komórkowych (błony śródplazmatyczne).
Funkcje błon biologicznych:

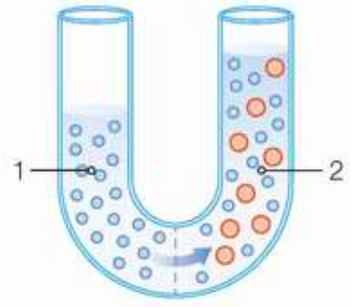
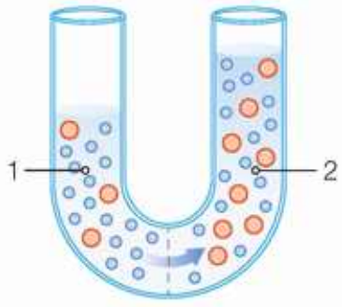
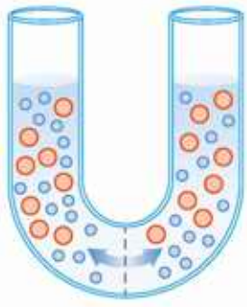
- są barierami ochronnymi, które zabezpieczają komórki i organelle przed zmianami składu chemicznego, uszkodzeniami mechanicznymi oraz wnikaniem drobnoustrojów chorobotwórczych,
- odbierają sygnały z otoczenia i przekazują je do wnętrza komórek lub organelli,
- pośredniczą w wymianie substancji między środowiskami, które rozdzielają.



6 Transport przez błony biologiczne

Rodzaje transportu błonowego			
bierny – zgodny z różnicą stężeń substancji po obu stronach błony		**czynny – niezgodny z różnicą stężeń substancji po obu stronach błony**	**transport pęcherzykowy**
transport bezpośrednio przez dwuwarstwę lipidową	transport z udziałem białek błonowych		
dyfuzja prosta – sposób transportu małych cząsteczek niepolarnych i polarnych; odmianą dyfuzji prostej jest osmoza	dyfuzja ułatwiona przez: • białka kanałowe – sposób transportu niektórych jonów oraz małych cząsteczek polarnych • białka nośnikowe – sposób transportu większych cząsteczek polarnych bez ładunku	transport przez: • pompy – sposób transportu jonów • białka nośnikowe – sposób sprzężonego transportu jonów i cząsteczek związków chemicznych	transport w pęcherzykach oderwanych od błony: • endocytoza – transport ładunku ze środowiska komórki do jej wnętrza • egzocytoza – transport ładunku z komórki na zewnątrz

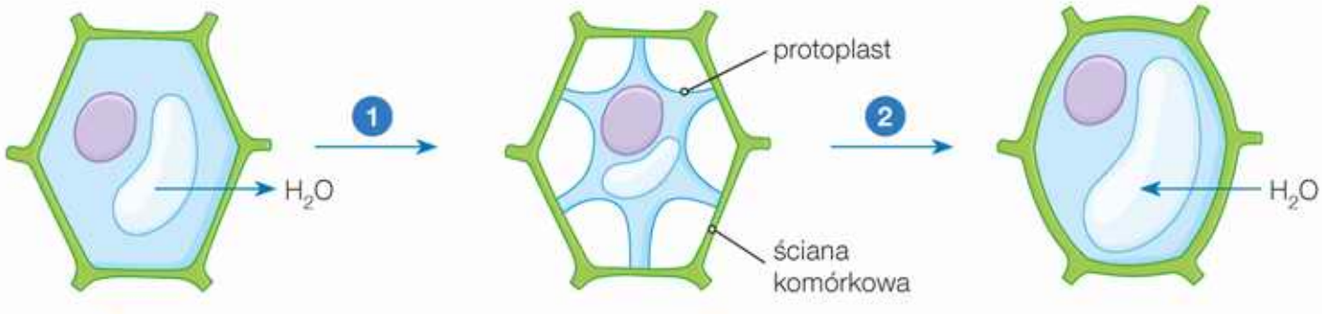
7 **Osmoza** – odmiana dyfuzji prostej, która polega na przenikaniu wody przez błonę biologiczną.

Osmoza w układzie 1. woda – 2. roztwór	Osmoza w układzie 1. roztwór hipotoniczny – 2. roztwór hipertoniczny	Osmoza w układzie dwóch roztworów izotonicznych
 błona półprzepuszczalna	 błona półprzepuszczalna	 błona półprzepuszczalna

8 **Osmoza w komórkach zwierzęcych i roślinnych**

	Rodzaj roztworu		
Rodzaj komórki	**Rozwór izotoniczny**	**Roztwór hipertoniczny**	**Roztwór hipotoniczny**
Komórka zwierzęca	Wymienia osmotycznie wodę z otoczeniem, a ilość wody wpływającej do komórki jest taka sama jak ilość wody wypływającej.	Oddaje osmotycznie wodę do otoczenia, wskutek czego się kurczy i ostatecznie rozpada.	Pobiera osmotycznie wodę z otoczenia, wskutek czego pęcznieje i ostatecznie pęka.
Komórka roślinna	Wymienia osmotycznie wodę z otoczeniem, a ilość wody wpływającej do komórki jest taka sama jak ilość wody wypływającej.	Oddaje osmotycznie wodę do otoczenia, co powoduje odwodnienie cytozolu oraz zmniejszenie objętości wakuoli. Skutkiem jest kurczenie się protoplastu i jego odstawanie od sztywnej ściany komórkowej.	Pobiera osmotycznie wodę z otoczenia aż do osiągnięcia stanu maksymalnej jędrności. Następnie przestaje pobierać wodę, ponieważ nie pozwala jej na to sztywna ściana komórkowa.

9 **Plazmoliza i deplazmoliza**



1 **Plazmoliza** to zjawisko odstawania protoplastu od ściany komórkowej obserwowane po umieszczeniu komórki roślinnej w roztworze hipertonicznyma.

2 **Deplazmoliza** to powrót splazmolizowanej komórki do stanu sprzed plazmolizy po umieszczeniu jej w wodzie lub roztworze hipotonicznym.

10 **Cytozol** – roztwór koloidalny złożony z: wody, składników odżywczych, jonów i struktur białkowych tworzących cytoszkielet.
Cytoszkielet – sieć włókienek białkowych w postaci mikrotubul, filamentów aktynowych (mikrofilamentów) i filamentów pośrednich obecna w komórkach eukariotycznych.

Funkcje cytoszkieletu:
- tworzenie szlaków transportu komórkowego,
- zapewnienie komórce odporności na urazy mechaniczne,
- ruch komórki (ruch wewnątrzkomórkowy oraz ruch za pomocą wici i rzęsek).

11 Organelle komórkowe

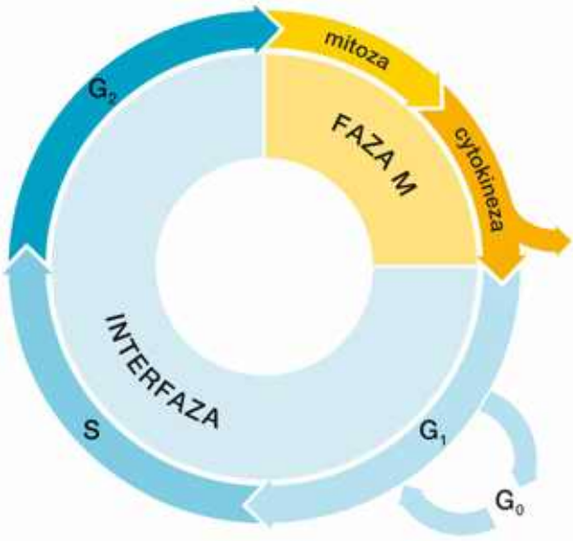
Nazwa	Charakterystyka
Organelle otoczone dwiema błonami	
Jądro komórkowe	• Zawiera DNA w postaci liniowych cząsteczek tworzących chromosomy. • Kontroluje przebieg procesów życiowych komórki oraz odpowiada za powielanie DNA.
Mitochondria	• Zachodzi w nich oddychanie tlenowe, w którego wyniku ze związków organicznych jest uwalniana energia niezbędna komórce.
Chloroplasty	• Występują w komórkach roślin oraz protistów roślinopodobnych. • Zachodzi w nich fotosynteza, czyli wytwarzanie związków organicznych z prostych związków nieorganicznych z udziałem światła.
Organelle otoczone jedną błoną	
Siateczka śródplazmatyczna szorstka	• Jest pokryta rybosomami. • Jest miejscem syntezy białek, np. wydzielanych poza komórkę oraz budujących błony.
Siateczka śródplazmatyczna gładka	• Jest miejscem syntezy lipidów, magazynowania jonów oraz detoksykacji trucizn.
Aparat Golgiego	• Odpowiada głównie za modyfikowanie, sortowanie i transport białek.
Lizosomy	• Zachodzi w nich trawienie wewnątrzkomórkowe.
Peroksysomy	• Są miejscem zachodzenia reakcji utleniania różnych związków oraz neutralizacji reaktywnych form tlenu.
Wakuole	• Odpowiadają za stan uwodnienia komórek, magazynują różne substancje oraz biorą udział w procesie trawienia.
Organelle nie otoczone błoną	
Rybosomy	• Przeprowadzają syntezę białek.
Centrosomy	• Uczestniczą w podziałach komórek.

12 Ściana komórkowa

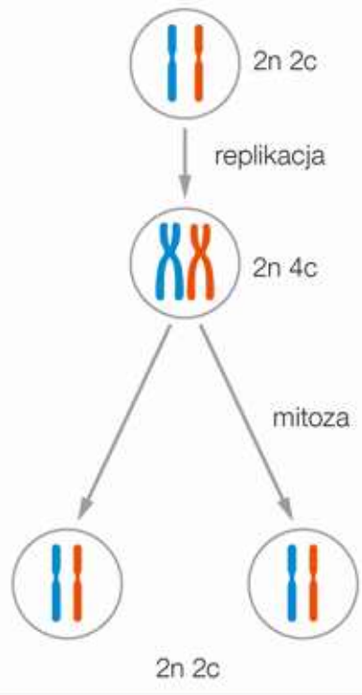
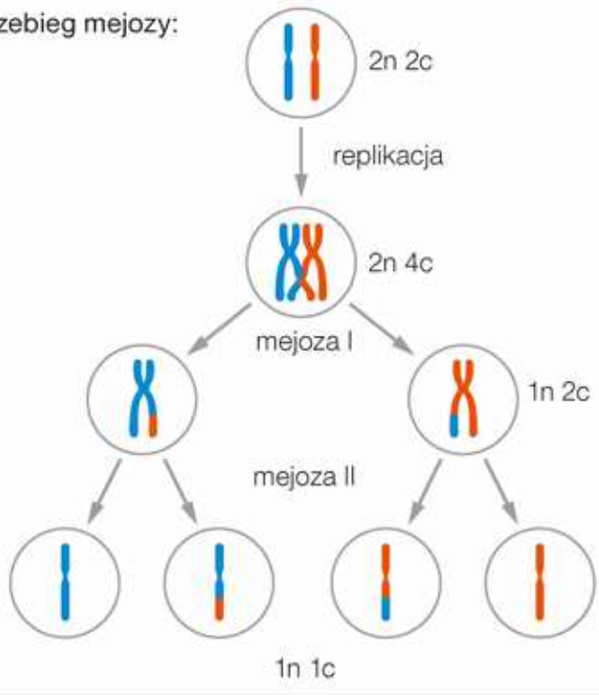
Funkcje ściany komórkowej:
- nadawanie kształtu komórce,
- ochrona przed uszkodzeniami mechanicznymi i wnikaniem organizmów chorobotwórczych.

13 Cykl komórkowy – uporządkowany ciąg procesów zachodzących w trakcie życia komórki, obejmujący wzrost komórki, a następnie jej podział na dwie komórki potomne. Składa się z interfazy, czyli okresu międzypodziałowego, obejmującego fazy G_1, S i G_2, oraz z fazy M, czyli mitozy i cytokinezy.

Fazy cyklu komórkowego:
- Faza M – mitoza (kariokineza) i cytokineza,
- Faza G_1 – etap wzrostu komórki i przygotowanie do fazy replikacji DNA,
- Faza S – faza replikacji, czyli syntezy DNA na matrycy DNA. Dochodzi w niej do podwojenia ilości materiału genetycznego, co umożliwia zajście następnego podziału komórki,
- Faza G_2 – synteza białek uczestniczących w podziale komórki,
- Faza G_0 – faza spoczynkowa, charakterystyczna dla komórek, które ulegają specjalizacji i tracą zdolność podziałów.



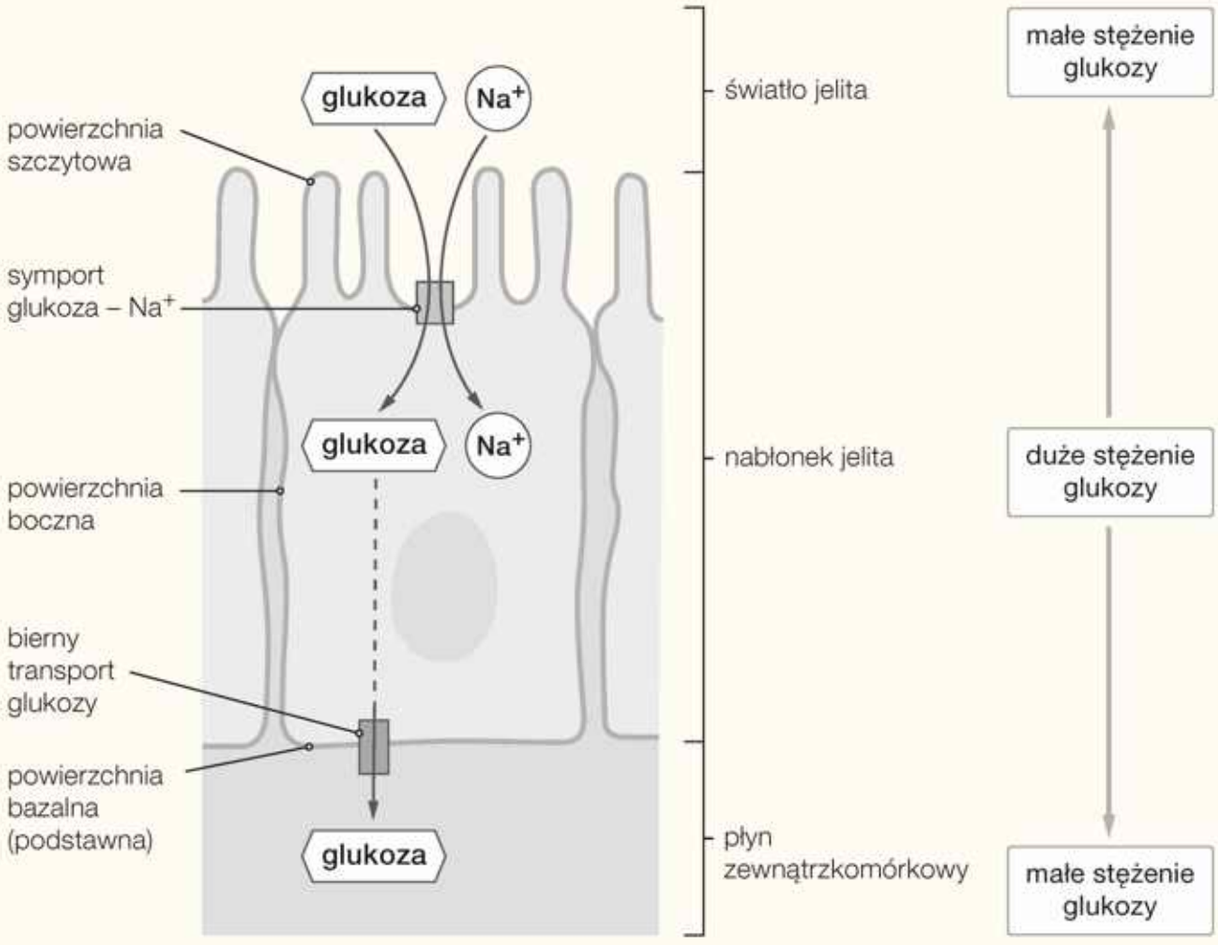
14 Rodzaje podziałów komórki

Mitoza	Mejoza
• W jej wyniku powstają dwie komórki potomne – każda z nich zawiera taki sam zestaw chromosomów, co komórka macierzysta. • Zachodzi w komórkach somatycznych (budujących ciało) – haploidalnych lub diploidalnych. • Umożliwia wzrost organizmów oraz procesy regeneracji tkanek i narządów. • Dla wielu organizmów jest sposobem rozmnażania bezpłciowego. Przebieg mitozy:  	• W jej wyniku powstają cztery komórki potomne – każda z nich otrzymuje zestaw chromosomów zredukowany o połowę w stosunku do komórki macierzystej. • Zachodzi w diploidalnych komórkach macierzystych gamet i niektórych typów zarodników (mejospor). • Prowadzi do powstania komórek haploidalnych – gamet lub zarodników. • Umożliwia rozmnażanie płciowe oraz rekombinację genetyczną, która zapewnia zachowanie bioróżnorodności. Przebieg mejozy: 

Sposób na zadania

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Schemat przedstawia transport glukozy ze światła jelita do płynu zewnątrzkomórkowego przez komórkę nabłonka jelitowego.



a) Wyjaśnij, dlaczego transport glukozy między światłem jelita a nabłonkiem jelitowym odbywa się w odmienny sposób niż transport tej substancji między nabłonkiem jelitowym a płynem zewnątrzkomórkowym.

b) Określ, które stwierdzenia dotyczące białek uczestniczących w transporcie glukozy są prawdziwe. Zaznacz P, jeśli stwierdzenie jest prawdziwe, albo F – jeśli jest fałszywe.

1.	Białka transportujące glukozę ze światła jelita do komórki nabłonka jelitowego i białka transportujące tę substancję z nabłonka jelitowego do płynu zewnątrzkomórkowego należą do białek transbłonowych.	P	F
2.	Sprzężony transport jonów i cząsteczek związków chemicznych, np. symport glukoza-Na^+, odbywa się przez białka nośnikowe.	P	F
3.	Transport bierny glukozy zachodzi przez białka kanałowe, ponieważ cząsteczki glukozy są stosunkowo małe i mają charakter polarny.	P	F

Wskazówki

Podpunkt a)

1. Aby udzielić poprawnej odpowiedzi na to pytanie, należy dokładnie przeanalizować dołączony do zadania schemat. Zwróć uwagę na sposób transportu glukozy do wnętrza komórki nabłonkowej oraz na zewnątrz komórki nabłonkowej. Zastanów się, czym różnią się oba rodzaje transportu. Informacje na ten temat znajdziesz na s. 89 we fragmencie **Transport bierny i czynny** oraz na s. 92–93 we fragmencie **Transport przez błony biologiczne z udziałem białek błonowych**.
2. Zwróć uwagę na strzałkę umieszczoną po prawej stronie schematu. Wskazuje ona na stężenie glukozy w świetle jelita, komórce nabłonkowej jelita i płynie zewnątrzkomórkowym. Porównaj stężenie glukozy w każdym z tych elementów i zastanów się, czy transport glukozy między poszczególnymi obszarami zachodzi zgodnie gradientem stężeń czy wbrew gradientowi stężeń.
3. Na podstawie wszystkich tych informacji sformułuj odpowiedź.

Podpunkt b)

Zdanie nr 1

1. Przypomnij sobie, czym są białka transbłonowe. Informacje na ten temat znajdziesz na s. 87 we fragmencie **Białka błonowe**.
2. Przeanalizuj schemat. Zwróć uwagę na sposób, w jaki przedstawiono umiejscowienie białek transportujących glukozę na błonie komórkowej. Zastanów się nad ich funkcją (transport substancji z jednej strony błony komórkowej na drugą jej stronę) i na podstawie wszystkich tych informacji określ, czy białka transportujące glukozę należą do białek transbłonowych.

Zdanie nr 2

1. Przypomnij sobie, czym jest transport sprzężony (symport) oraz czym są białka nośnikowe. Informacje na te tematy znajdziesz na s. 92–93 we fragmencie **Transport przez błony biologiczne z udziałem białek błonowych**.
2. Zastanów się, czy symport może się odbywać przez białka nośnikowe. Informacje na ten temat znajdziesz we wskazanym powyżej fragmencie podręcznika.

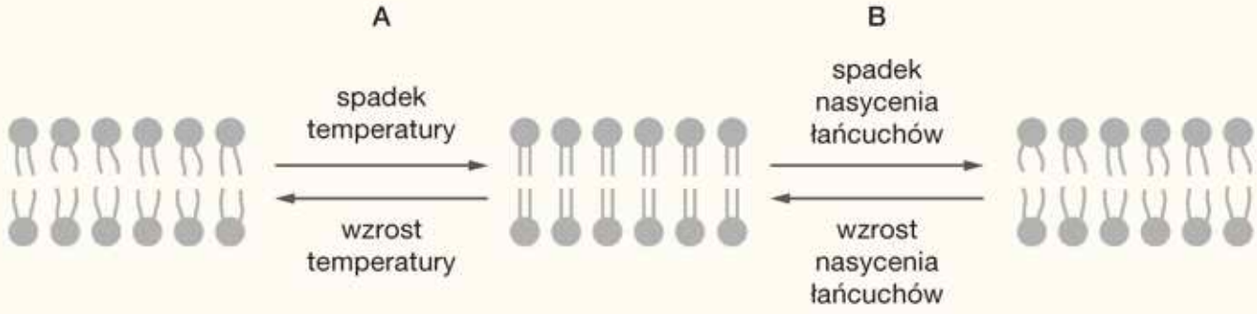
Zdanie nr 3

1. Przypomnij sobie, jakie cząsteczki są transportowane przez białka kanałowe. Informacje na ten temat znajdziesz na s. 92–93 we fragmencie **Transport przez błony biologiczne z udziałem białek błonowych**.
2. Zastanów się, czy glukoza jest małą cząsteczką o charakterze polarnym. Informacje na temat polarności cząsteczek znajdziesz na s. 31–33 we fragmencie **Wiązania chemiczne**, a na temat budowy glukozy na s. 38–39 w temacie **Budowa i funkcje sacharydów**.

Zadania powtórzeniowe

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Schemat przedstawia wpływ temperatury (A) i nasycenia łańcuchów kwasów tłuszczowych (B) na upakowanie fosfolipidów w błonie komórkowej. Upakowanie to decyduje o stopniu płynności błony, a ten z kolei o jej przepuszczalności.



a) W każdym zdaniu podkreśl właściwe określenie.

O płynności błon biologicznych decyduje ruchliwość *hydrofobowych* / *hydrofilowych* części fosfolipidów. Płynność ta zwiększa się wraz ze wzrostem liczby *nasyconych* / *nienasyconych* kwasów tłuszczowych. Maleje natomiast przy *spadku* / *wzroście* temperatury.

b) Określ zależność między stopniem płynności błony biologicznej a jej przepuszczalnością.

2 Uczniowie przeprowadzili proste doświadczenie. Przygotowali dwie połówki bulwy ziemniaka i każdą z nich ułożyli powierzchnią przekroju na szalce, tak aby były stabilne. Następnie ścięli wierzchołki bulw i w każdej z nich wycięli wgłębienie o głębokości 2 cm oraz szerokości 1,5 cm. Jedno wgłębienie wypełnili sproszkowaną sacharozą, czyli cukrem pudrem, natomiast drugie skrobią. Po pewnym czasie uczniowie zanotowali, co zaobserwowali w każdej z prób. Cukier odciągnął wodę z otaczającej tkanki, natomiast w przypadku skrobi nie nastąpiły żadne zmiany.

a) Sformułuj problem badawczy do opisanego doświadczenia.

b) Wyjaśnij, dlaczego skrobia nie jest substancją osmotycznie czynną.

c) Określ, jakie byłyby wyniki doświadczenia, jeśli wgłębienie w bulwie ziemniaka zostałoby wypełnione wodą destylowaną. Odpowiedź uzasadnij, uwzględnij przy tym różnice stężeń wody i soku w bulwie ziemniaka.

3 Pstrość kwiatów tulipana to choroba wirusowa, która atakuje tulipany i lilie. Powoduje plamy oraz smugi na liściach i płatkach kwiatów. Chorobę roznoszą żerujące na roślinach mszyce. Ich aparat gębowy ma postać kłujki, która przebija zewnętrzną tkankę roślinną. Dzięki niej mszyce mogą wysysać sok z roślin.

Wyjaśnij, dlaczego, mimo obecności sztywnych ścian komórkowych w komórkach tulipana, pstrość kwiatów nie ogranicza się do miejsca żerowania mszycy, ale jest roznoszona po całej roślinie.

4 Przedziały komórkowe ograniczone błonami biologicznymi tworzą system umożliwiający funkcjonowanie poszczególnych komórek i całego organizmu. Elementy tego systemu współdziałają m.in. podczas syntezy, modyfikacji i transportu białek przeznaczonych do wbudowania w błonę komórkową.

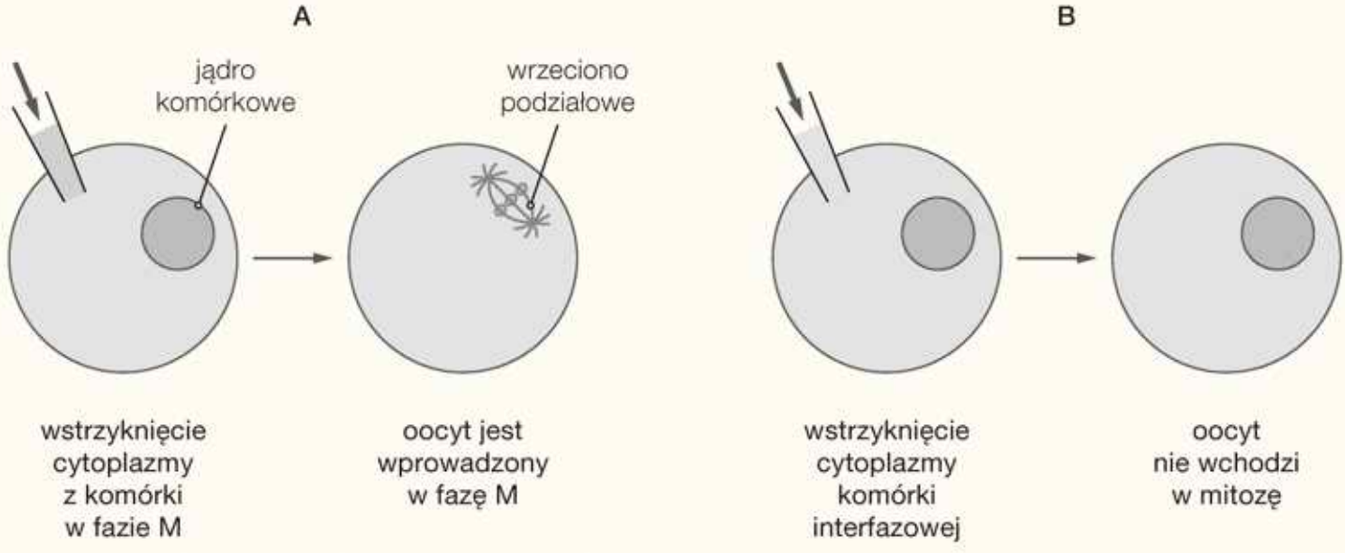
a) Podanym w tabeli strukturom komórkowym przyporządkuj numery 1–4 tak, aby przedstawiały kolejność zachodzących w nich procesów podczas syntezy, modyfikacji i transportu białek przeznaczonych do wbudowania w błonę komórkową.

Struktura komórkowa	Nr
błona komórkowa	5
siateczka śródplazmatyczna gładka	?
pęcherzyk transportujący	?
aparat Golgiego	?
siateczka śródplazmatyczna szorstka	?

b) Określ, w jakiej strukturze komórkowej do białek błonowych są dodawane reszty kwasów tłuszczowych.

5 Przeprowadzono doświadczenie, w którym do oocytów żaby z rodzaju *Xenopus* wstrzyknięto cytoplazmę z komórek znajdujących się w dwóch różnych fazach cyklu komórkowego. Oocyt jest komórką dającą początek komórce jajowej i u żab z rodzaju *Xenopus* jest zatrzymany tuż przed pierwszym podziałem mejotycznym – znajduje się w stadium odpowiadającym fazie G_2 cyklu komórkowego.

Poniżej przedstawiono wyniki tego doświadczenia.



Na podstawie: B. Alberts i in., *Podstawy biologii komórki*, Warszawa 1999, s. 579.

a) Na podstawie przedstawionych wyników doświadczenia sformułuj wniosek dotyczący różnicy w aktywności biologicznej oocytu po wstrzyknięciu do niego cytoplazmy komórek znajdujących się w różnych fazach cyklu komórkowego.

b) Podaj jeden proces zachodzący w komórkach zwierzęcych podczas fazy G_2.

6 Dziki bez czarny to pospolity krzew o czarnofioletowych mięsistych owocach, które są chętnie zjadane przez ptaki. Zawierają one m.in. węglowodany, kwasy organiczne i sole mineralne, a także antocyjany, które nadają im barwę, oraz karotenoidy. Ptaki trawią owoce i korzystają z zawartych w nich związków, natomiast nasiona przechodzą przez ich przewód pokarmowy nietknięte. Dzięki temu ptaki przyczyniają się do ich rozsiewania.

a) Wyjaśnij, w jaki sposób obecność antocyjanów w owocach dzikiego bzu czarnego wpływa na sposób rozsiewania jego nasion.

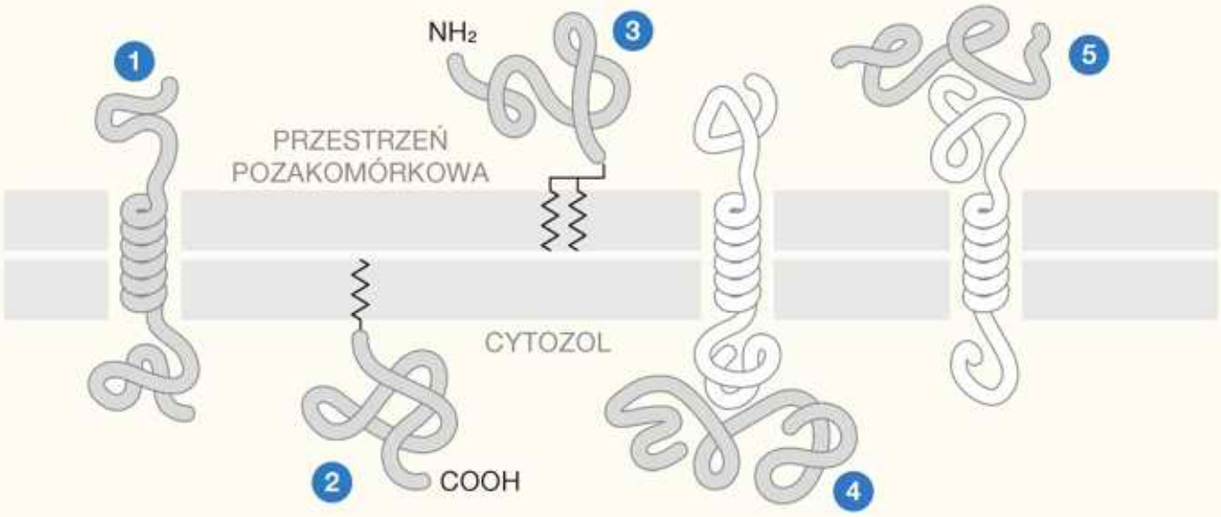
b) Zaznacz w tabeli wiersz, w którym poprawnie określono miejsce występowania antocyjanów oraz karotenoidów w komórkach owoców dzikiego bzu czarnego.

	Antocyjany	Karotenoidy
A.	chromoplasty	ściana komórkowa
B.	wakuola	wakuola
C.	wakuola	chromoplasty
D.	ściana komórkowa	cytozol

7 Ekspresja genów to szereg procesów prowadzących od syntezy RNA aż do wytworzenia białek. Organelle komórkowe, które biorą w niej udział to jądro komórkowe oraz rybosomy.

Opisz proces powstawania rybosomów. W odpowiedzi wymień elementy komórki, w których zachodzą poszczególne jego etapy.

8 Białka – stały składnik błon biologicznych – są w różny sposób związane z dwuwarstwą lipidową i pełnią różne funkcje. Na rysunku przedstawiono sposoby związania białek z dwuwarstwą lipidową błony komórkowej.



a) Określ, jaki charakter chemiczny – hydrofilowy czy hydrofobowy – ma α-helisa białka oznaczonego na rysunku numerem 1. Odpowiedź uzasadnij.

b) Podaj nazwę rodzaju wiązania chemicznego, za którego pomocą białka powierzchniowe oznaczone numerami 2 i 3 są najprawdopodobniej połączone z cząsteczkami lipidów narysowanych zygzakowatą linią.

c) Opisz, w jaki sposób białka powierzchniowe oznaczone numerami 4 i 5 są najprawdopodobniej związane z dwuwarstwą lipidową.

d) Podaj przykłady dwóch odmiennych funkcji, które pełnią białka w błonach biologicznych.



4. Metabolizm

To było w szkole podstawowej!

☑ **Fotosynteza** – proces, w którym z dwutlenku węgla i wody, z udziałem energii świetlnej, powstają substancje pokarmowe i tlen.

dwutlenek węgla + woda —(światło, chlorofil)→ substancje pokarmowe + tlen

☑ **Oddychanie komórkowe** – proces, który zachodzi w komórce. Polega on na rozkładzie substancji pokarmowych i uwolnieniu zawartej w nich energii.

glukoza + tlen → dwutlenek węgla + woda + energia

☑

Sposoby uzyskiwania energii

oddychanie tlenowe	fermentacja
Polega na rozkładzie substancji pokarmowych **z udziałem tlenu** i uwolnieniu zawartej w nich energii.	Polega na rozkładzie substancji pokarmowych **bez udziału tlenu** i uwolnieniu zawartej w nich energii.

4.1. Podstawowe zasady metabolizmu

Zwróć uwagę na:
- przemiany anaboliczne i kataboliczne oraz powiązania między nimi,
- związek między budową ATP a jego funkcją biologiczną,
- mechanizmy powstawania ATP,
- znaczenie NAD^+, FAD i $NADP^+$ w procesach utleniania i redukcji,
- różnice między szlakami metabolicznymi liniowymi a cyklami metabolicznymi.

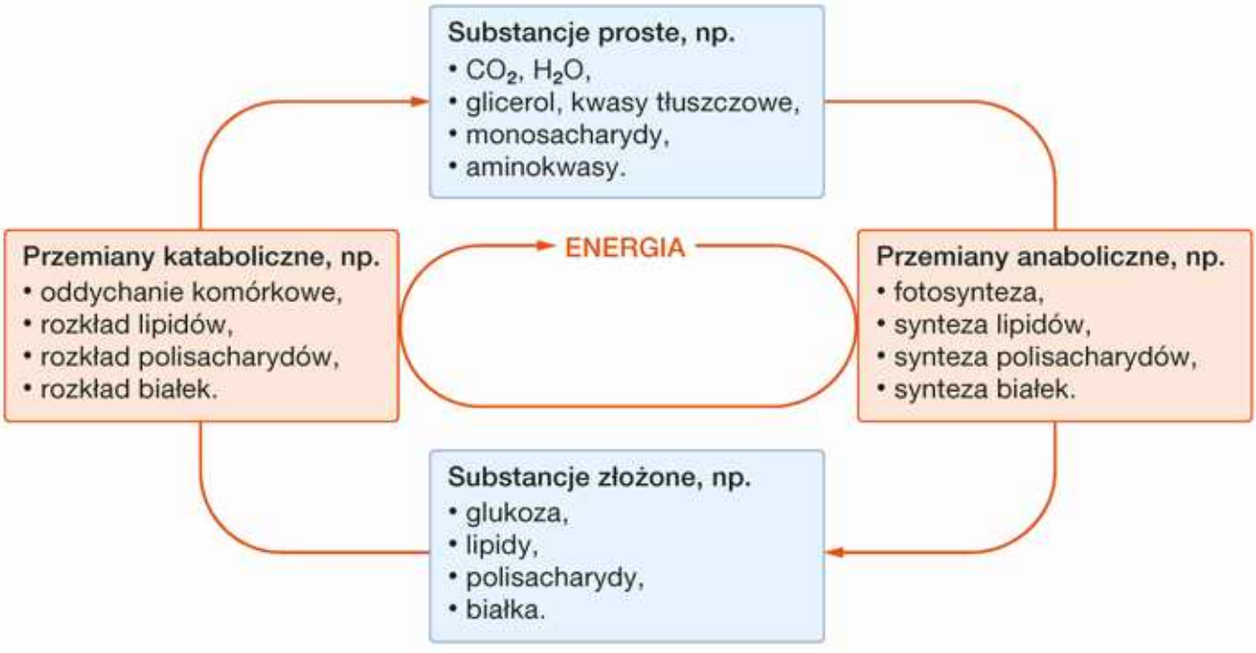
W każdej żywej komórce zachodzą równocześnie tysiące zależnych od siebie reakcji chemicznych, którym towarzyszą przemiany energii. Całość przemian chemicznych i energetycznych komórki nazywamy **metabolizmem**.

Kierunki przemian metabolicznych

Wyróżnia się dwa kierunki przemian metabolicznych:

- **anabolizm**, czyli reakcje **syntezy** złożonych związków chemicznych z substancji prostszych. Reakcje te są zwykle **endoergiczne**, co oznacza, że wymagają dostarczenia energii, np. w postaci energii świetlnej lub energii chemicznej. Z tego powodu produkty większości reakcji anabolicznych są bardziej zasobne w energię niż substraty.
  Przykład reakcji anabolicznej (fotosynteza):
  $6\,CO_2 + 6\,H_2O + 2870\,kJ \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2$
- **katabolizm**, czyli reakcje **rozkładu** złożonych związków chemicznych do substancji prostszych. Reakcje te są zwykle **egzoergiczne**, co oznacza, że w ich trakcie zachodzi uwalnianie energii. Z tego powodu produkty większości reakcji katabolicznych są mniej zasobne w energię niż substraty. Część uwolnionej energii rozprasza się w postaci ciepła, a część zostaje zmagazynowana w związkach wysokoenergetycznych, głównie w ATP.
  Przykład reakcji katabolicznej (oddychanie tlenowe):
  $C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2 \rightarrow 6\,CO_2 + 6\,H_2O + 2870\,kJ$

Uwaga! Od opisanej reguły zdarzają się wyjątki. Istnieją np. reakcje anaboliczne, które zachodzą z uwolnieniem energii, a ich produkty są mniej zasobne w energię niż substraty. Do takich reakcji należy np. synteza amoniaku z azotu i wodoru.

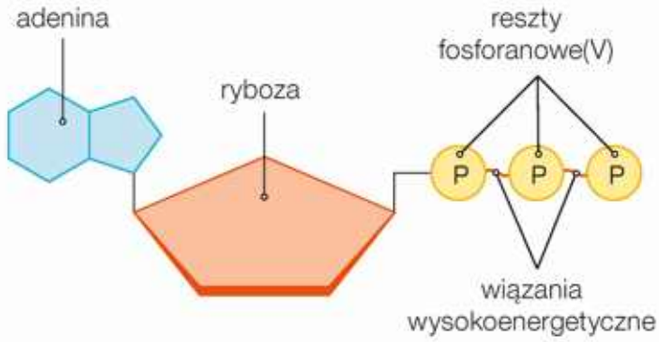


Uniwersalne przenośniki energii w komórce

Organizm wykorzystuje energię nie tylko do przemian anabolicznych, czyli syntezy różnych związków, ale również do poruszania się, transportu substancji przez błony biologiczne i wielu innych procesów. Energia ta pochodzi przede wszystkim z przemian katabolicznych, głównie z oddychania komórkowego. Przemiany, które prowadzą do uwolnienia energii, są więc w komórce powiązane z przemianami, które wymagają dostarczenia energii. Dlatego zachodzą one równocześnie, choć zwykle w różnych miejscach komórki.

Żeby energia uwolniona w przemianach katabolicznych mogła zostać efektywnie wykorzystana przez organizm, w komórce muszą istnieć związki chemiczne, które ją magazynują i przenoszą. Są nimi **uniwersalne przenośniki energii**, do których należą głównie **wolne rybonukleotydy** (ATP, GTP, CTP, UTP).

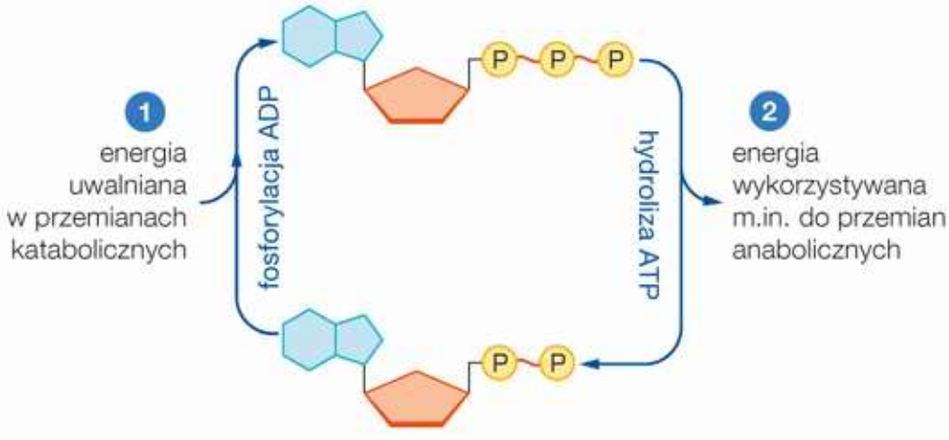
Podstawowym rybonukleotydem wykorzystywanym w przemianach metabolicznych jest **adenozynotrifosforan – ATP**, zbudowany z rybozy, adeniny i trzech reszt fosforanowych(V). Wiązania między poszczególnymi resztami fosforanowymi(V) nazywamy **wiązaniami wysokoenergetycznymi.** Są one niestabilne, dlatego łatwo ulegają rozerwaniu pod wpływem wody.



ATP jest związkiem krótkotrwałym – czas trwania jego cząsteczek w komórkach wynosi średnio ok. 1 min, a podczas intensywnego wysiłku ok. 0,5 min.

Cykl ATP–ADP

Podstawowym sposobem magazynowania i uwalniania energii w komórkach jest cykl ATP–ADP. Polega on na naprzemiennych reakcjach syntezy ATP z ADP i P oraz rozkładu ATP do ADP i P.



1 Synteza ATP jest sprzężona z reakcjami katabolicznymi. Energia uwolniona w wyniku tych reakcji zostaje wykorzystana do fosforylacji ADP, czyli przyłączenia do niego reszty fosforanowej(V).

$$ADP + P + 30{,}5\ kJ \rightarrow ATP + H_2O$$

2 Powstały ATP jest szybko zużywany na potrzeby przemian anabolicznych lub innych procesów wymagających dostarczenia energii. Energia zmagazynowana w ATP zostaje uwolniona w wyniku hydrolizy tego związku, czyli jego rozkładu do ADP i reszty fosforanowej(V), z udziałem wody.

$$ATP + H_2O \rightarrow ADP + P + 30{,}5\ kJ$$

Mechanizmy fosforylacji ADP

Fosforylacja, czyli przyłączenie reszty fosforanowej(V) do ADP, zachodzi w komórce na dwa sposoby.

Sposób 1 – fosforylacja substratowa

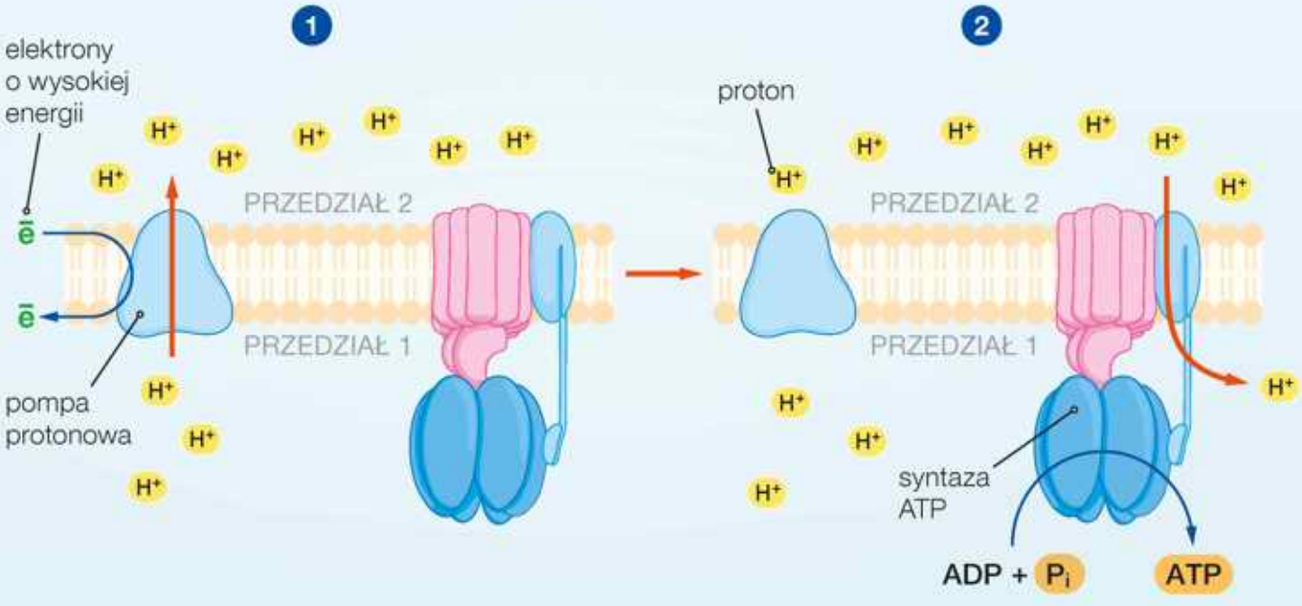
Polega na odłączeniu reszty fosforanowej, oznaczonej symbolami -P lub ~P, od **organicznego substratu** o wyższej energii i przyłączeniu jej do ADP. W rezultacie powstaje inny związek organiczny o niższej energii oraz ATP.



Sposób 2 – chemiosmoza

Polega na syntezie ATP z ADP i nieorganicznego fosforanu, oznaczonego symbolem P_i (ang. *inorganic phosphate*) z udziałem **gradientu protonowego**. Gradient protonowy jest to różnica stężeń protonów (H^+) po dwóch stronach błony biologicznej. Stanowi on źródło energii wykorzystywane przez enzymatyczny kompleks białkowy – **syntazę ATP** – do przeprowadzania reakcji fosforylacji. Gradient protonowy jest wytwarzany w poprzek błon biologicznych dzięki działaniu błonowych pomp protonowych. Błony te oddzielają różne przedziały organelli otoczonych dwiema błonami u komórek eukariotycznych lub różne przedziały komórki u bakterii.

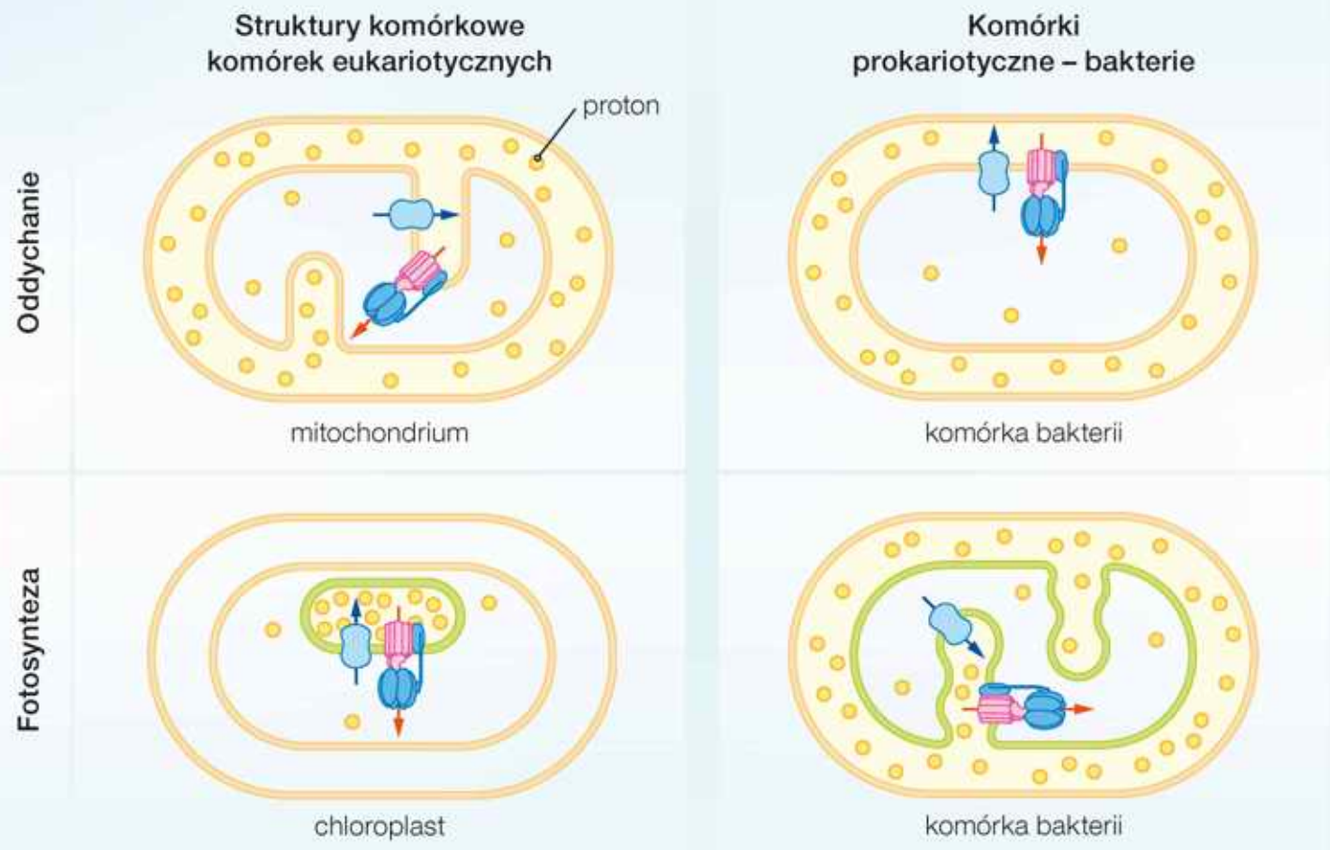
Przebieg chemiosmozy



1. Gradient protonowy powstaje dzięki transportowi elektronów przez szereg przenośników zlokalizowanych w błonie. Elektrony te, w zależności od rodzaju procesu metabolicznego, mają różne źródła. Zawsze jednak są obdarzone wysoką energią, która zostaje wykorzystana przez pompy protonowe do transportu protonów wbrew gradientowi stężeń z przedziału 1. do przedziału 2.
2. Kiedy stężenie protonów w przedziale 2. osiągnie wysokie wartości, przepływają one z powrotem do przedziału 1. Tym razem transport protonów zachodzi zgodnie z gradientem stężeń przez kanał syntazy ATP. W rezultacie powstaje ATP.

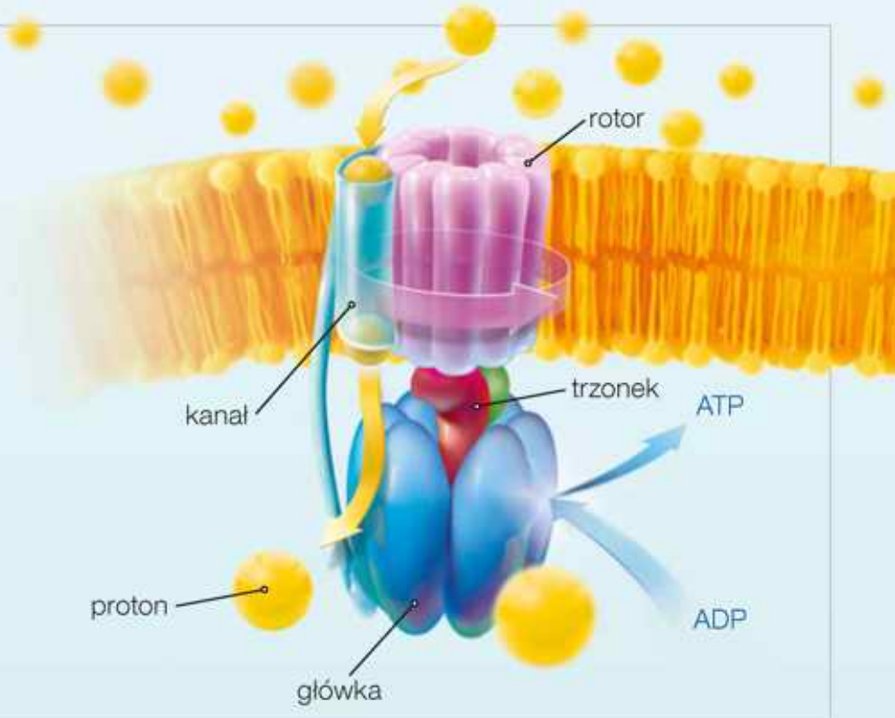
Gdzie zachodzi chemiosmoza?

Fosforylacja z udziałem gradientu protonowego zachodzi głównie w trakcie procesów oddychania tlenowego – **fosforylacja oksydacyjna** – i fotosyntezy – **fosforylacja fotosyntetyczna**. U organizmów eukariotycznych oddychanie zachodzi w mitochondriach, gdzie gradient protonowy jest wytwarzany w poprzek wewnętrznej błony mitochondrialnej, natomiast fotosynteza – w chloroplastach, gdzie gradient protonowy jest wytwarzany w poprzek błon tylakoidów. W komórkach prokariotycznych gradient protonowy powstaje w poprzek błony komórkowej zarówno podczas oddychania, jak i podczas fotosyntezy.



Budowa i działanie syntazy ATP

Syntaza ATP jest dużym kompleksem białkowym, zbudowanym z wielu podjednostek, umocowanym w poprzek błony biologicznej. Składa się z rotora, trzonka, główki i kanału. Syntaza ATP katalizuje reakcję wytwarzania ATP z ADP i P_i.
W trakcie reakcji przez kanał są transportowane protony. Ich ruch wywołuje szybki obrót rotora oraz przyczepionego do niego trzonka. Wówczas podjednostki stanowiące szczytową część główki przyłączają reszty fosforanowe(V) do ADP. W ten sposób przekształcają energię mechaniczną w energię chemiczną cząsteczek ATP. Wydajność syntazy ATP jest bardzo duża. W ciągu 1 s może ona wytworzyć do 100 cząsteczek ATP.

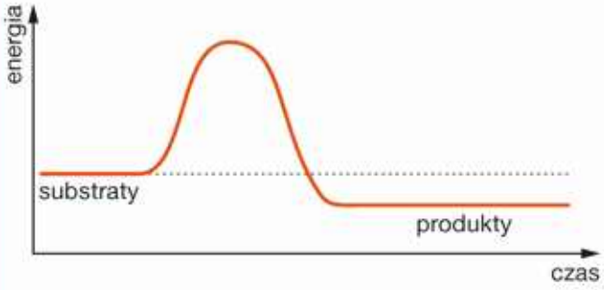


Dowiedz się więcej

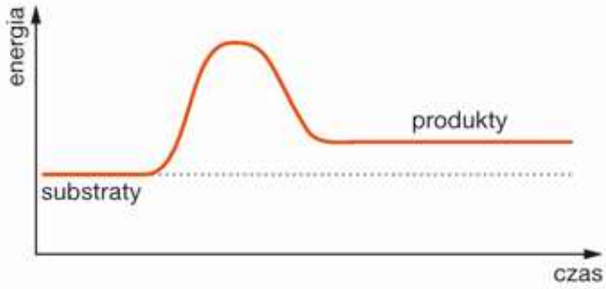
Jak ATP sprzęga metabolizm?

Natura preferuje układy[1] o najniższej możliwej energii i największym stopniu nieuporządkowania. Zatem korzystne są tylko te procesy, które prowadzą do zmniejszenia energii układu lub zwiększenia w nim stopnia nieuporządkowania. Nazywamy je procesami samorzutnymi.

W organizmie zachodzą reakcje zarówno egzoergiczne, jak i endoergiczne. Tylko pierwsze z nich mogą przebiegać samorzutnie, ponieważ w ich wyniku układ traci energię. Reakcje endoergiczne są zawsze wymuszone, ponieważ w ich wyniku układ zyskuje energię. Energia niezbędna do przebiegu reakcji endoergicznych pochodzi z reakcji egzoergicznych. Oba typy reakcji są ze sobą sprzężone za pomocą uniwersalnych przenośników energii.



Reakcja egzoergiczna jest korzystna z punktu widzenia praw fizyki, ponieważ w jej wyniku uwalnia się energia, a jej produkty są mniej zasobne w energię niż substraty.



Reakcja endoergiczna jest niekorzystna z punktu widzenia praw fizyki, ponieważ wymaga stałego dopływu energii, a jej produkty są bardziej zasobne w energię niż substraty.

Przeanalizujmy opisaną sytuację na przykładzie reakcji:

$$\text{substrat A} + \text{ADP} + \text{P}_\text{i} \underset{2}{\overset{1}{\rightleftharpoons}} \text{produkt B} + \text{ATP}$$

1. Reakcja czytana od lewej do prawej strony jest reakcją egzoergiczną ze względu na substrat A i produkt B, ale endoergiczną ze względu na ADP i ATP. Oznacza to, że energia uwolniona z substratu A zostaje zmagazynowana w ATP. Gdy komórka ma dużo substratu A oraz ADP, reakcja przebiega w stronę wytwarzania produktu B oraz ATP.
2. Reakcja czytana od prawej do lewej strony jest reakcją endoergiczną ze względu na substrat A i produkt B, ale egzoergiczną ze względu na ADP i ATP. Oznacza to, że energia uwolniona z ATP zostaje zmagazynowana w substracie A. Gdy komórka ma dużo produktu B oraz ATP, reakcja przebiega w stronę odtwarzania substratu A oraz ADP.

Samorzutność a spontaniczność

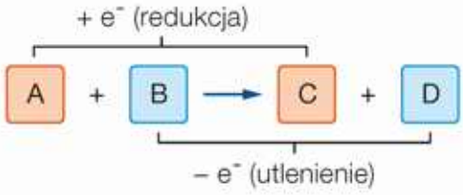
Reakcje samorzutne nie zawsze zachodzą spontanicznie, czyli bezpośrednio po zmieszaniu substratów. Spontaniczność danej reakcji zależy od energii aktywacji, czyli energii, którą należy dostarczyć, żeby zapoczątkować reakcję. Energia aktywacji niektórych reakcji samorzutnych jest niska, dlatego nie trzeba dostarczać jej z zewnątrz. Są to więc reakcje spontaniczne. Istnieją jednak reakcje samorzutne, których energia aktywacji jest wysoka, dlatego do ich zapoczątkowania trzeba jednorazowo dostarczyć określonej porcji energii. Takie reakcje nie są reakcjami spontanicznymi.

[1] **Układ** – ogół substancji znajdujących się w zamkniętym fragmencie przestrzeni, biorących udział w rozpatrywanych procesach (fizycznych i chemicznych).

Reakcje utlenienia-redukcji

Większość reakcji chemicznych zachodzących w komórce należy do reakcji utlenienia-redukcji, nazywanych również reakcjami oksydoredukcyjnymi lub reakcjami redoks. Reakcje te polegają na **wymianie elektronów** między dwiema substancjami. Jedna z substancji – **reduktor** – oddaje elektrony, czyli ulega **utlenieniu**, a druga – **utleniacz** – przyjmuje elektrony, czyli ulega **redukcji**.

Reakcję utlenienia-redukcji można przedstawić uproszczonym równaniem:



Substrat A przyjmuje elektrony od substratu B i przekształca się w produkt C. Natomiast substrat B w wyniku oddania elektronów przekształca się w produkt D.

W komórce reakcje utlenienia-redukcji odbywają się z udziałem związków pośrednich, które nazywamy **uniwersalnymi przenośnikami elektronów**. Należą do nich **dinukleotydy**: **NAD^+**, **$NADP^+$** oraz **FAD**. NAD^+ i FAD uczestniczą głównie w przemianach katabolicznych, a $NADP^+$ – głównie w przemianach anabolicznych.

Uniwersalne przenośniki elektronów występują w dwóch formach – utlenionej i zredukowanej. W formie utlenionej są biorcami elektronów, natomiast w formie zredukowanej – dawcami elektronów. Pobieraniu elektronów towarzyszy przyłączenie protonów – jonów H^+, a oddawaniu elektronów – odłączenie protonów.

- **Utlenione przenośniki elektronów** przyjmują elektrony od utlenianych związków chemicznych i tym samym ulegają redukcji, zgodnie z uproszczonymi równaniami reakcji chemicznych:

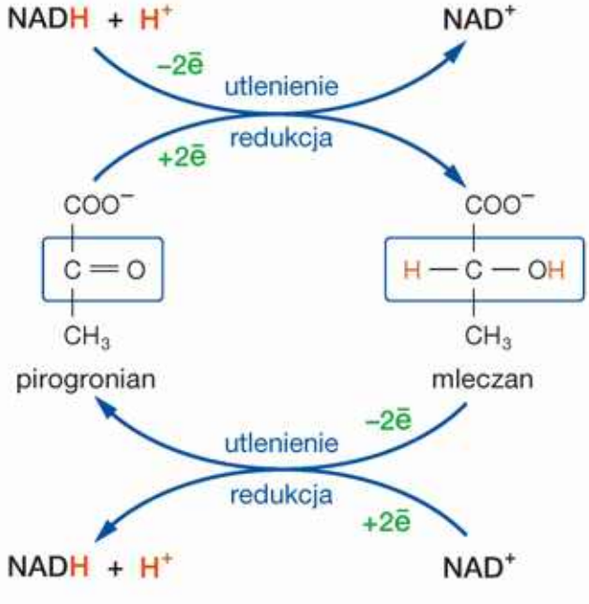
$$NAD^+ + 2e^- + H^+ \rightarrow NADH$$
$$NADP^+ + 2e^- + H^+ \rightarrow NADPH$$
$$FAD + 2e^- + 2\,H^+ \rightarrow FADH_2$$

- **Zredukowane przenośniki elektronów** oddają pobrane elektrony na związki redukowane i tym samym ulegają utlenieniu, zgodnie z uproszczonymi równaniami reakcji chemicznych:

$$NADH \rightarrow NAD^+ + 2e^- + H^+$$
$$NADPH \rightarrow NADP^+ + 2e^- + H^+$$
$$FADH_2 \rightarrow FAD + 2e^- + 2\,H^+$$

Przykładowy mechanizm reakcji utlenienia-redukcji z udziałem NAD^+

Przykładem działania przenośników elektronów w organizmie człowieka jest redukcja pirogronianu do mleczanu i utlenienie mleczanu do pirogronianu z udziałem NAD^+/NADH. Pirogronian jest produktem rozkładu glukozy, który w mięśniach przy braku tlenu ulega redukcji do mleczanu. Przyjmuje wówczas dwa elektrony i jeden proton od NADH, a drugi proton przyłącza z otoczenia. W wyniku tych przemian powstaje mleczan, a NADH utlenia się do NAD^+. Po pewnym czasie wraz z krwią mleczan trafia do wątroby, gdzie ulega utlenieniu z powrotem do pirogronianu. Oddaje wówczas dwa elektrony i jeden proton na NAD^+, a drugi proton uwalnia do otoczenia. Powstaje pirogronian, natomiast NAD^+ redukuje się do NADH.

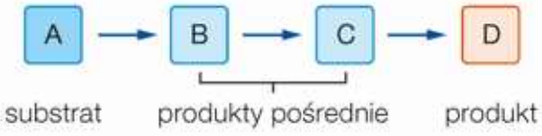


Szlaki i cykle metaboliczne

W komórce pojedyncze reakcje chemiczne zachodzą bardzo rzadko. Zazwyczaj są one połączone w ciągi reakcji chemicznych, zachodzących w określonej kolejności, w których produkt jednej reakcji jest substratem następnej. W zależności od ich przebiegu takie ciągi reakcji chemicznych nazywamy **szlakami metabolicznymi** lub **cyklami metabolicznymi**.

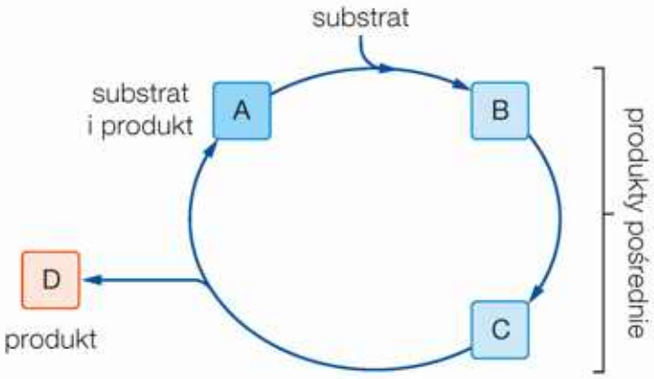
Wszystkie reakcje, które wchodzą w skład szlaków i cykli metabolicznych, wymagają udziału enzymów. Powiązane ze sobą funkcjonalnie szlaki i cykle metaboliczne składają się na skomplikowane procesy metabolizmu komórkowego, m.in. fotosyntezę i oddychanie komórkowe.

Szlaki metaboliczne obejmują ciągi reakcji przebiegających tylko w jednym kierunku, prowadzących do syntezy lub rozkładu określonej substancji.



Szlak metaboliczny.

Cykle metaboliczne, zwane również cyklami przemian metabolicznych, są zamkniętymi ciągami reakcji chemicznych. Oznacza to, że jeden z produktów reakcji końcowej cyklu jest substratem dla pierwszej reakcji kolejnego cyklu.



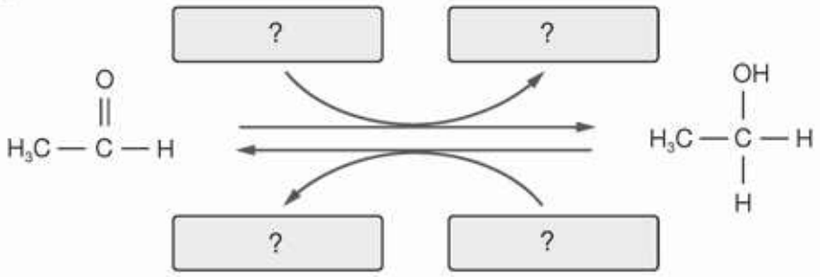
Cykl metaboliczny.

Regulacja przebiegu szlaków metabolicznych

Reakcje metaboliczne w komórce są uruchamiane w odpowiedzi na sygnał docierający do komórki. Nośnikiem sygnałów są **cząsteczki sygnałowe**, do których należą m.in. neuroprzekaźniki i hormony. Większość cząsteczek sygnałowych nie wnika do komórki. Ich sygnał jest odbierany przez odpowiedni receptor w błonie komórkowej, a następnie przekazywany do wnętrza komórki i interpretowany. Dzięki temu następuje odpowiedź (np. uruchomienie szlaku syntezy wybranego związku). Przekazywanie sygnału jest zwykle wieloetapowe, co zapewnia jego lepszą kontrolę, np. umożliwia wzmocnienie lub zahamowanie sygnału na każdym etapie. Zapewnia to szybką reakcję na zmiany zachodzące w otoczeniu komórki.

Polecenia kontrolne

1. Wykaż związek między przemianami anabolicznymi a katabolicznymi zachodzącymi w komórce.
2. Omów, w jaki sposób odbywa się synteza ATP w komórce. Uwzględnij oba mechanizmy fosforylacji.
3. Określ rolę dinukleotydów w procesach oksydoredukcyjnych.
4. Uzupełnij schemat. Wpisz w odpowiednie miejsca NAD^+ i NADH (skrócone nazwy dinukleotydów).

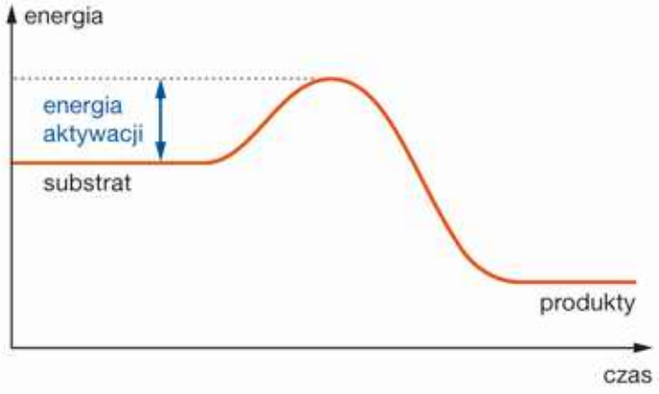


4.2. Budowa i działanie enzymów

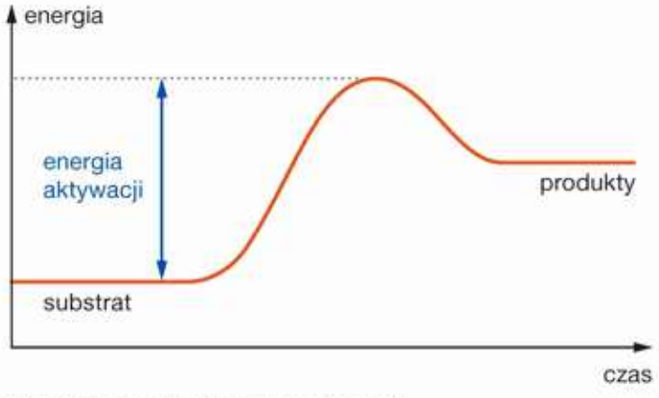
Zwróć uwagę na:
- cechy budowy i właściwości enzymów,
- swoistość substratową enzymów,
- przebieg katalizy enzymatycznej.

Do zapoczątkowania wszystkich reakcji chemicznych, zarówno endoergicznych, jak i egzoergicznych, potrzeba określonej ilości energii. Energia ta, niezbędna m.in. do rozerwania wiązań chemicznych w substratach, nosi nazwę **energii aktywacji**. Jej ilość jest różna w zależności od rodzaju reakcji chemicznej – energia aktywacji reakcji endoergicznych jest zwykle znacznie wyższa niż reakcji egzoergicznych. Niezależnie od tego, czy dla danej reakcji chemicznej energia aktywacji jest niska czy wysoka, reakcja nie rozpocznie się, dopóki wymagana ilość energii nie zostanie dostarczona.

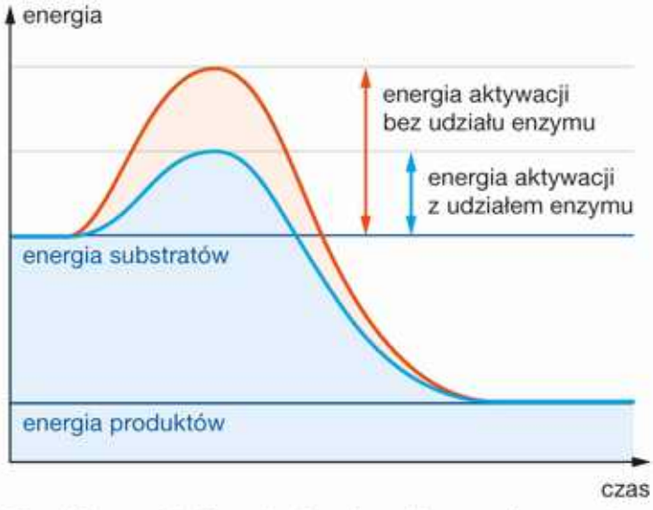
Jednym ze sposobów dostarczenia energii aktywacji jest **ogrzewanie**, czyli podaż energii w postaci ciepła. Jednak w ten sposób nie można dostarczyć energii komórkom. Funkcjonują one bowiem w dość niskich temperaturach – zwykle od kilku stopni poniżej 0°C do 40–45°C. Tak wąski zakres tolerancji wynika z faktu, że w temperaturze poniżej 0°C cytozol zaczyna zamarzać, a powyżej 40°C dochodzi zazwyczaj do denaturacji białek, a tym samym do śmierci komórki. Sposobem na zapoczątkowanie reakcji we względnie niskich i stałych temperaturach, jakie panują w komórce, jest zastosowanie katalizatora. **Katalizator** to substancja, która przyspiesza reakcję przez obniżenie jej energii aktywacji. W komórkach funkcję katalizatorów pełnią specjalne białka – **enzymy**.



Przebieg reakcji egzoergicznej.



Przebieg reakcji endoergicznej.



Przebieg reakcji z użyciem katalizatora (enzymu) i bez użycia katalizatora.

Uwaga! Enzymy, tak jak wszystkie katalizatory, przyspieszają jedynie te reakcje, które mogłyby zajść w danym środowisku bez ich udziału (samorzutnie). Nie wpływają więc na kierunek zachodzącej reakcji. Enzymy ułatwiają zajście reakcji endoergicznych jedynie wówczas, gdy są one sprzężone z reakcjami egzoergicznymi, w których wyniku jest uwalniana energia, np. z hydrolizą ATP.

Czy wiesz, że...

Do sprawnego transportu dwutlenku węgla z tkanek do pęcherzyków płucnych niezbędne jest jego uwodnienie, czyli wytworzenie z CO_2 i H_2O jonu wodorowęglanowego HCO_3^-. Reakcję tę katalizuje enzym – anhydraza węglanowa. Jedna cząsteczka tego enzymu może uwodnić milion cząsteczek CO_2 w ciągu sekundy. Bez pomocy enzymu proces ten zachodziłby 10 mln razy wolniej.

Budowa enzymów

Prawie wszystkie enzymy są białkami. Część enzymów jest zbudowana tylko z łańcuchów polipeptydowych (np. większość enzymów układu pokarmowego, takich jak amylaza ślinowa, pepsyna czy trypsyna). Jednak większość z nich składa się z dwóch elementów: części białkowej, zwanej **apoenzymem**, i części niebiałkowej, zwanej **kofaktorem**. Częścią niebiałkową enzymów mogą być metale w postaci jonów (Zn^{2+}, Mg^{2+}, Mn^{2+}, K^+) lub niewielkie cząsteczki organiczne, zwane **koenzymami**. Jony nieorganiczne zawsze wiążą się z apoenzymem w sposób trwały. Natomiast koenzymy mogą być związane z apoenzymem albo luźno (z możliwością przyłączania się i odłączania), albo trwale. Gdy są związane trwale, noszą nazwę **grup prostetycznych**.

Do koenzymów należą: ATP, NAD^+, FAD, $NADP^+$, a także witaminy (zwłaszcza z grupy B) lub ich pochodne. Jeśli enzym składa się z części białkowej i niebiałkowej, to aby mógł katalizować reakcję, części te muszą tworzyć kompleks.

W obrębie enzymu znajduje się **centrum aktywne** (miejsce aktywne). Jest to obszar, który wiąże cząsteczki substratu i część niebiałkową enzymu, jeśli dany enzym ją ma. Centrum aktywne ma kształt zbliżony do kształtu substratu (lub substratów). Zawiera ono odpowiednio ułożone przestrzennie grupy funkcyjne aminokwasów, które uczestniczą bezpośrednio w tworzeniu niekowalencyjnych wiązań i oddziaływań chemicznych między cząsteczką enzymu a cząsteczką substratu. Wiązania te tworzą się tylko na czas reakcji.

Podział enzymów ze względu na ich budowę

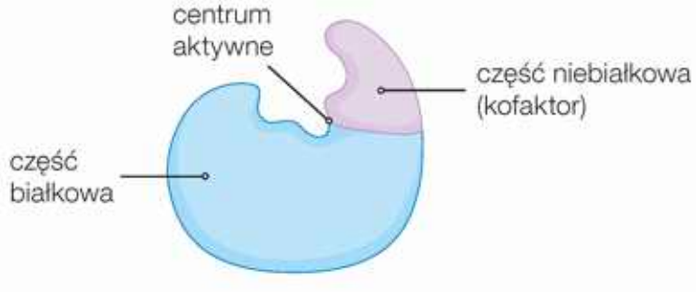
ENZYMY

zbudowane z łańcuchów polipeptydowych



Model enzymu zbudowanego tylko z białka.

zbudowane z łańcuchów polipeptydowych (apoenzymów) i części niebiałkowych (kofaktorów)



Model enzymu zbudowanego z części białkowej i niebiałkowej.

Rodzaje kofaktorów

jony metali, np. żelaza, miedzi, magnezu, cynku	koenzymy	
	• trwale związane z apoenzymem – **grupy prostetyczne**, np. pochodne witamin	• luźno związane z apoenzymem, np. koenzym A, witaminy, NAD^+, FAD

Nazewnictwo i klasyfikacja enzymów

Nazwy potoczne większości enzymów tworzy się przez dodanie zakończenia „-aza" do nazw ich substratów lub nazw katalizowanych reakcji. Na przykład sacharaza jest enzymem katalizującym rozkład sacharozy, a syntaza ATP to enzym, który odpowiada za syntezę ATP. Część enzymów ma nazwy historyczne, które nie dostarczają informacji dotyczących specyfiki ich działania (np. trypsyna to enzym proteolityczny soku trzustkowego).

Właściwości enzymów

Enzymy:

- **są niezwykle efektywne** – przyspieszają reakcje biochemiczne co najmniej milion razy,
- **są swoiste względem substratu** – dany enzym wiąże się wyłącznie z określonym substratem lub substratami, np. maltaza łączy się tylko z maltozą,
- **mają wysoką specyficzność reakcji** – pojedynczy enzym katalizuje jedynie reakcje określonego typu, a niekiedy tylko jedną reakcję chemiczną, np. sacharaza katalizuje wyłącznie rozkład sacharozy do glukozy i fruktozy,
- **nie zużywają się w przebiegu reakcji** – enzymy nie są substratami reakcji, dlatego nie zużywają się w trakcie ich przebiegu i mogą być wykorzystywane wielokrotnie.

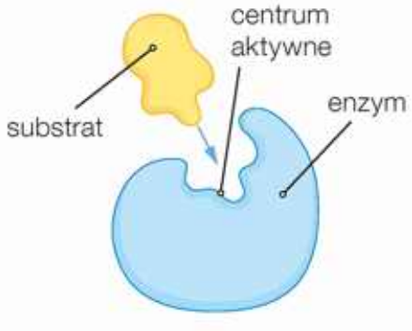
Klasyfikacja enzymów według rodzaju katalizowanej reakcji

Klasa*	Nazwa	Rodzaj katalizowanej reakcji
1.	oksydoreduktazy	utlenianie i redukcja
2.	transferazy	przenoszenie grup funkcyjnych z jednego związku chemicznego na inny
3.	hydrolazy	hydroliza (rozkład związków chemicznych z udziałem cząsteczek wody)
4.	liazy	rozrywanie wiązań C–C, C–O, C–N lub C–S bez udziału wody, tworzenie wiązań podwójnych przez dodanie lub usunięcie grup funkcyjnych
5.	izomerazy	izomeryzacja (przenoszenie grup funkcyjnych w obrębie cząsteczki)
6.	ligazy	synteza nowych związków poprzez tworzenie wiązań chemicznych przy wykorzystaniu energii (np. z hydrolizy ATP)

* Międzynarodowa Unia Biochemiczna opracowała system nazewnictwa enzymów, w którym związki te zostały podzielone na sześć klas. Jako kryterium podziału przyjęto rodzaj katalizowanej reakcji.

Swoistość substratowa enzymów

Wysoka swoistość enzymów względem substratów wynika głównie ze specyficznej budowy ich centrum aktywnego.



Cechy centrum aktywnego:

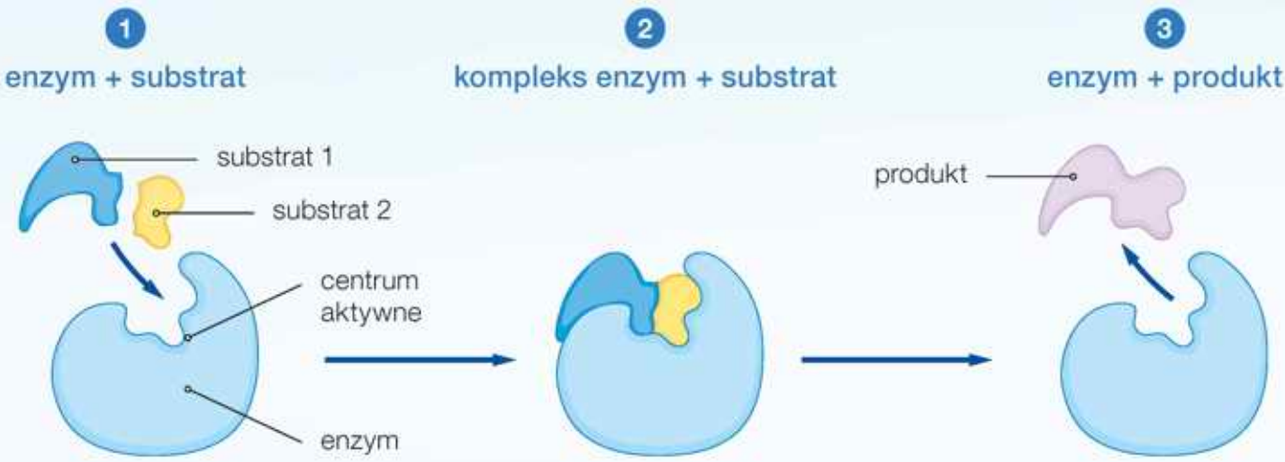
- Najczęściej przyjmuje postać szczeliny lub wgłębienia, do którego nie ma dostępu woda (chyba, że obecność wody wynika z katalizowanej reakcji).
- Wykazuje wysokie powinowactwo do konkretnych fragmentów substratów, dzięki czemu te części substratów, które będą podlegały zmianom, są ustawione względem siebie w pozycji najodpowiedniejszej do oddziaływania.
- Tworzy miniaturowe środowisko, idealnie dostosowane do katalizowanej reakcji, np. hydrofobowe dla reakcji, w których nie uczestniczy woda, lub miejscowo polarne.
- Tworzy wiele słabych oddziaływań między enzymem a substratem (wiązania wodorowe, oddziaływania hydrofobowe, elektrostatyczne i van der Waalsa). Jedynie właściwy substrat może utworzyć z enzymem pełną gamę tych oddziaływań.

Mechanizm działania enzymów (kataliza enzymatyczna)

Kataliza enzymatyczna, czyli przyspieszenie reakcji chemicznej spowodowane działaniem enzymu, przebiega etapami, podczas których następuje:

1. przyłączenie substratu lub substratów do centrum aktywnego,
2. utworzenie kompleksu ES (enzym–substrat),
3. oddzielenie produktu lub produktów od enzymu.

Przebieg katalizy enzymatycznej



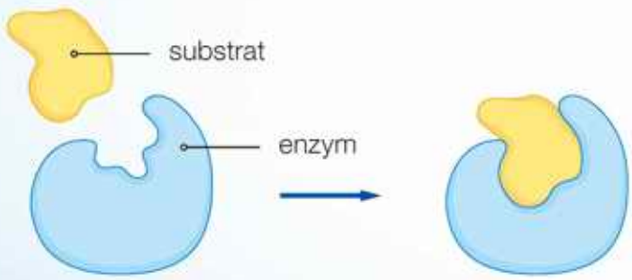
Pierwszym etapem reakcji enzymatycznej jest przyłączenie się substratów do centrum aktywnego enzymu.

Następnie, na skutek tworzenia się między enzymem a substratami wielu słabych oddziaływań, powstaje kompleks enzym–substrat. Substraty w kompleksie ES są ustawione względem siebie w sposób ułatwiający zajście reakcji, np. fragmenty substratów, które będą ze sobą reagować, są do siebie zbliżone lub zostaje naprężone wiązanie chemiczne, które ma ulec zerwaniu.

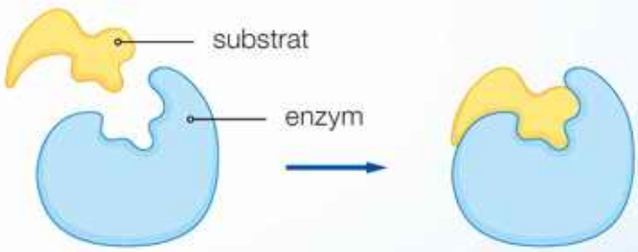
Powstały w wyniku reakcji produkt odłącza się od enzymu, ponieważ ma mniejsze do niego powinowactwo niż substraty reakcji. Następnie enzym może przyłączyć kolejne substraty i przeprowadzić kolejną katalizę.

Modele powstawania kompleksu enzym–substrat

Kształt centrum aktywnego enzymu zmienia się pod wpływem substratu. Taki proces dynamicznego dopasowywania się enzymu do substratu jest nazywany modelem indukowanego (wymuszonego) dopasowania. Jeszcze do niedawna uważano, że kształty substratu oraz centrum aktywnego enzymu są niezmienne i pasują do siebie jak klucz do zamka. Dlatego model ten nazywano modelem klucza i zamka.



W modelu indukowanego dopasowania dołączenie substratu pociąga za sobą zmianę kształtu centrum aktywnego enzymu.



W modelu klucza i zamka kształt centrum aktywnego jest komplementarny do kształtu substratu.

Dowiedz się więcej

Rybozymy i deoksyrybozymy

Większość znanych nam enzymów składa się z białek. Istnieją jednak cząsteczki o właściwościach katalitycznych, które nie są białkami – to rybozymy i deoksyrybozymy. Zarówno jedne, jak i drugie mają zastosowanie w biotechnologii i medycynie, m.in. jako potencjalne leki przeciwnowotworowe i przeciwwirusowe.

Rybozymy

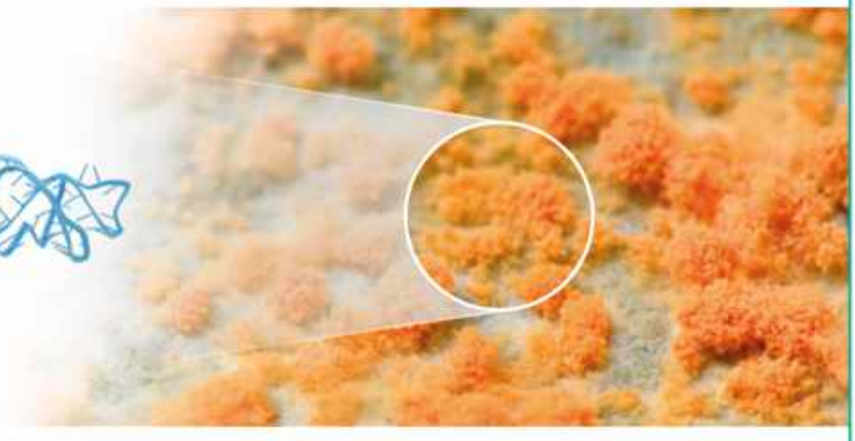
Rybozymy są cząsteczkami zbudowanymi z jednoniciowego RNA, który miejscami tworzy struktury dwuniciowe m.in. w postaci pętli, wybrzuszeń lub „spinek". Aktywne rybozymy mają trójwymiarową strukturę trzeciorzędową. Występują one u wszystkich organizmów oraz u wielu wirusów.

Rybozymy katalizują m.in. reakcje niezbędne do syntezy białek:

- tworzenia wiązania peptydowego między aminokwasami w łańcuchu polipeptydowym. Odpowiada za to trasferaza peptydylowa – cząsteczka rRNA, wchodząca w skład rybosomu;
- cięcia i ligacji (łączenia dwóch fragmentów cząsteczki) RNA, m.in. podczas modyfikacji cząsteczek tRNA (RNA transportującego aminokwasy) oraz mRNA (RNA przenoszącego informacje o budowie białek z DNA do rybosomów).



Rybozym VS jest największym znanym rybozymem tnącym RNA. Umożliwia on również ligację przeciętych końców.



Rybozym VS występuje u grzybów z rodzaju *Neurospora*.

Deoksyrybozymy

Deoksyrybozymy (DNAzymy) to cząsteczki zbudowane z jednoniciowego DNA. Do tej pory nie udało się zaobserwować naturalnie występujących DNAzymów, a wszystkie poznane deoksyrybozymy zostały uzyskane sztucznie. Katalizują one m.in. reakcje cięcia i łączenia fragmentów kwasów nukleinowych oraz reakcje modyfikacji reszt aminokwasowych w peptydach.

Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij, dlaczego enzymy są nazywane biologicznymi katalizatorami.
2. Wyjaśnij, czym jest swoistość substratowa enzymu oraz z czego ona wynika.
3. Omów etapy katalizy enzymatycznej.

4.3. Regulacja aktywności enzymów

Zwróć uwagę na:
- wpływ wybranych czynników fizykochemicznych na przebieg katalizy enzymatycznej,
- sposoby regulacji aktywności enzymatycznej (aktywacja i inhibicja),
- rolę mechanizmu sprzężenia zwrotnego ujemnego w regulacji przebiegu szlaków metabolicznych,
- doświadczenie badające wpływ pH i temperatury na aktywność enzymów.

Aby organizm mógł prawidłowo funkcjonować, musi mieć stały dostęp do wszystkich potrzebnych mu związków. Są one wytwarzane w reakcjach katalizowanych przez enzymy. Dlatego za właściwe miejsce oraz ilość powstających związków odpowiadają czynniki regulujące szybkość, przebieg i miejsce zachodzenia reakcji enzymatycznych.

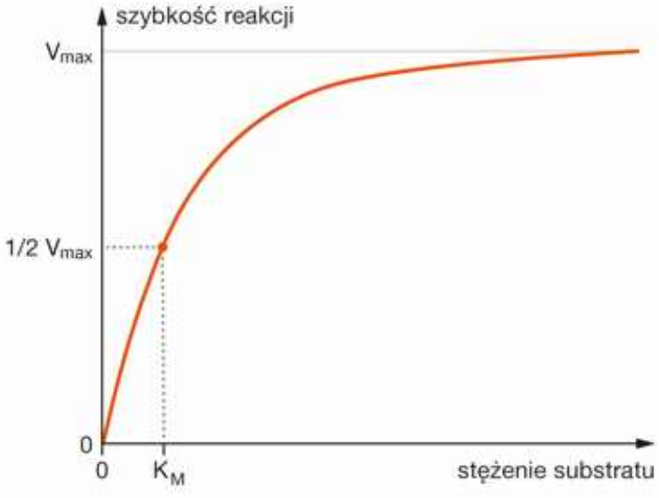
Do czynników tych należą m.in.:
- stężenie substratu,
- temperatura,
- pH środowiska,
- obecność aktywatorów lub inhibitorów.

Stężenie substratu

Jednym z czynników, który wpływa na szybkość reakcji enzymatycznych, jest stężenie substratu. Jeśli stężenie enzymu jest stałe, wzrost stężenia substratu powoduje zwiększenie szybkości reakcji enzymatycznej[1]. Zależność tę możemy obserwować tylko do momentu, kiedy substrat osiąga stężenie, przy którym reakcja enzymatyczna ma **szybkość maksymalną** (V_{max}). Po jej osiągnięciu dalsze zwiększanie stężenia substratu nie wpływa na szybkość reakcji. Dzieje się tak, ponieważ dochodzi do wysycenia enzymu substratem. Oznacza to, że centra aktywne wszystkich cząsteczek enzymów są już wypełnione substratami i nie mogą przyłączyć kolejnych cząsteczek, dopóki nie przeprowadzą reakcji enzymatycznej.

Uwaga! V_{max} zależy od warunków środowiska, np. pH, temperatury.

Stężenia substratów większości reakcji enzymatycznych zachodzących w komórkach są utrzymywane na poziomie, który umożliwia zachodzenie reakcji enzymatycznej z szybkością równą około połowy V_{max}. Pozwala to zwiększyć szybkość reakcji przy nagłym wzroście stężenia substratów oraz zmniejszyć szybkość reakcji w sytuacji, gdy stężenie substratów zmaleje. Takie stężenie substratu, przy którym szybkość reakcji enzymatycznej osiąga połowę swojej szybkości maksymalnej, określa się mianem **stałej Michaelisa** [wym. mikaelisa] ($\mathbf{K_M}$). Stała ta jest charakterystyczna dla danego enzymu. Opisuje ona powinowactwo enzymu do substratu, czyli łatwość powstawania kompleksu ES. Im **mniejsza** wartość K_M, tym **większe** jest powinowactwo enzymu do substratu, a w konsekwencji większa efektywność działania enzymu.



Krzywa Michaelisa–Menten przedstawia zależność szybkości reakcji enzymatycznej od stężenia substratu.

[1] **Szybkość reakcji enzymatycznych (V)** – ilość produktu tworzonego w określonej jednostce czasu, zwykle podawana w molach na sekundę.

Samouczek

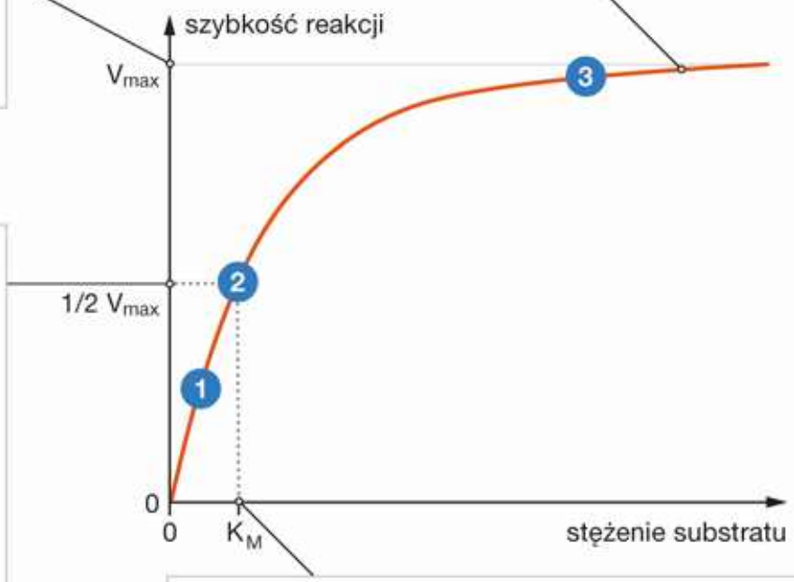
Jak odczytywać informacje z krzywej Michaelisa–Menten?

Krzywa Michaelisa–Menten to graficzne przedstawienie związku między stężeniem substratu a szybkością reakcji enzymatycznej. Krzywa umieszczona jest na wykresie, w którym na osi Y oznacza się szybkość reakcji enzymatycznej, a na osi X – stężenie substratu.

Elementy krzywej Michaelisa–Menten

V_{max} zaznacza się na osi Y. Jest to maksymalna szybkość, którą może osiągnąć reakcja katalizowana przez dany enzym. Krzywa Michaelisa–Menten nigdy nie przekracza wartości V_{max}. Po osiągnięciu tej wartości krzywa przebiega dalej poziomo.

Krzywa Michaelisa–Menten po zbliżeniu się do wartości V_{max} przebiega prawie poziomo.



½ V_{max} zaznacza się na osi Y. Jest to szybkość reakcji enzymatycznej równa połowie wartości maksymalnej. Znajomość ½ V_{max} pozwala wyznaczyć stałą Michaelisa, czyli K_M. Aby to zrobić, należy narysować na wykresie odcinek prostopadły do osi Y, zaczynając od wartości ½ V_{max}, a kończąc w miejscu, w którym odcinek ten przetnie krzywą Michaelisa–Menten. Następnie zaczynając od punktu przecięcia, należy narysować kolejny odcinek, prostopadły do pierwszego. Punkt przecięcia drugiego odcinka z osią X wyznacza wartość K_M.

Wartość K_M zaznacza się na osi X. Jest to takie stężenie substratu, dla którego szybkość reakcji osiąga połowę szybkości maksymalnej.

Zależność między stężeniem substratu a szybkością reakcji enzymatycznej

substrat enzym

1



Gdy stężenie substratu jest niskie, szybkość reakcji jest niewielka. Wynika to z faktu, że nie wszystkie cząsteczki enzymu mogą w danym momencie połączyć się z cząsteczkami substratu.

2



Przy stężeniu substratu równym K_M połowa cząsteczek enzymu tworzy w danym momencie kompleks ES. Szybkość reakcji enzymatycznej wynosi wówczas połowę wartości maksymalnej.

3



Gdy stężenie substratu jest dwukrotnie większe niż K_M, szybkość reakcji enzymatycznej jest równa szybkości maksymalnej. Wówczas wszystkie cząsteczki enzymu tworzą w danym momencie kompleks ES.

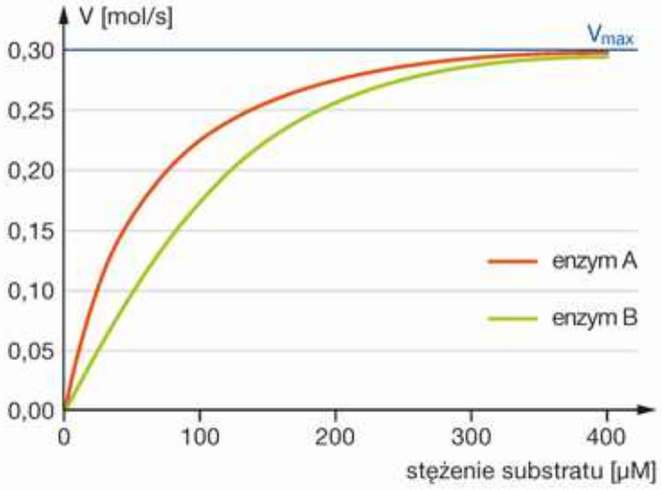
Samouczek

Porównywanie powinowactwa enzymów do substratów na podstawie wartości K_M

Jeśli stężenie substratu jest równe K_M, połowa cząsteczek enzymu tworzy kompleks ES. Im niższe stężenie substratu jest niezbędne do tego, aby ten stan osiągnąć, tym enzym ma większe powinowactwo do substratu. Znajomość wartości K_M różnych enzymów pozwala określić, który z nich ma większe, a który – mniejsze powinowactwo do substratów.

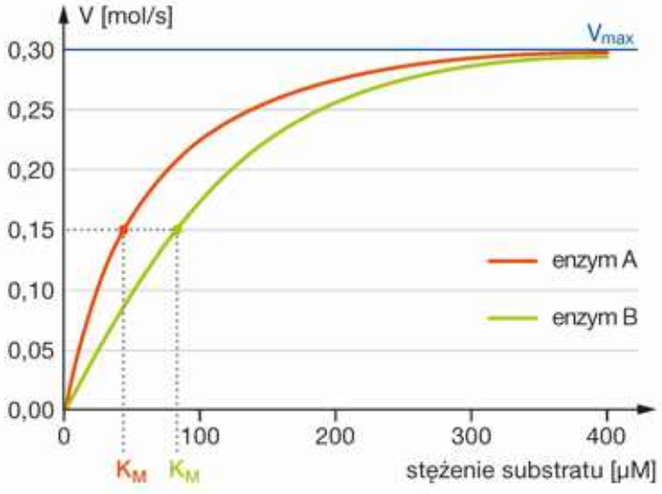
Przykład: Porównanie powinowactwa enzymów do substratów na podstawie krzywych Michaelisa–Menten

Na wykresie przedstawiono krzywe Michaelisa–Menten dla dwóch enzymów – A i B.



Zadanie: Określ, który enzym (A czy B) ma większe powinowactwo do substratu.

Aby porównać powinowactwo enzymów A i B do substratu, należy wyznaczyć wartość K_M dla obu enzymów. Z wykresu wynika, że oba enzymy mają tę samą wartość V_{max}, równą 0,3 mol/s. Aby wyznaczyć K_M, należy określić, przy jakiej wartości stężenia substratu szybkość reakcji (V) osiąga połowę wartości V_{max}, czyli 0,15 mol/s.

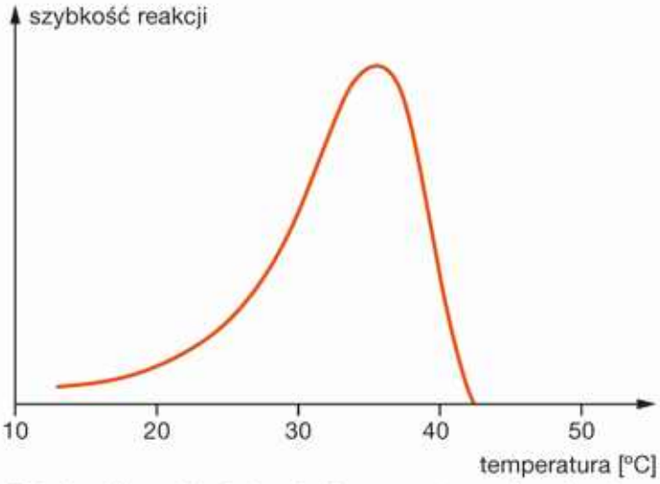


Z analizy wykresu wynika, że enzym A ma niższe K_M niż enzym B. Oznacza to, że enzym A ma większe powinowactwo do substratu.

Odpowiedź: Enzym A ma większe powinowactwo do substratu niż enzym B.

Temperatura

Na szybkość reakcji chemicznych wpływa także temperatura. Jej wzrost o każde 10°C średnio dwukrotnie zwiększa szybkość dowolnej reakcji chemicznej. Reguła ta odnosi się również do reakcji enzymatycznych, ale tylko w określonych granicach, najczęściej między 0 a 45°C. Dalszy wzrost temperatury powoduje gwałtowne spowolnienie reakcji. Przyczyną jest denaturacja białek enzymatycznych prowadząca do zniszczenia struktury przestrzennej enzymu, przez co traci on właściwości katalityczne. Zakres temperatury, w jakim enzym może być aktywny, zwykle zależy od temperatury komórki, w której występuje. Za optymalną dla działania większości enzymów człowieka uważa się temperaturę ok. 38°C. Jednak znane są enzymy funkcjonujące w innych warunkach termicznych. Należą do nich np. enzymy występujące w komórkach bakterii żyjących w gorących źródłach.



Zależność szybkości reakcji enzymatycznej zachodzącej w organizmie człowieka od temperatury.

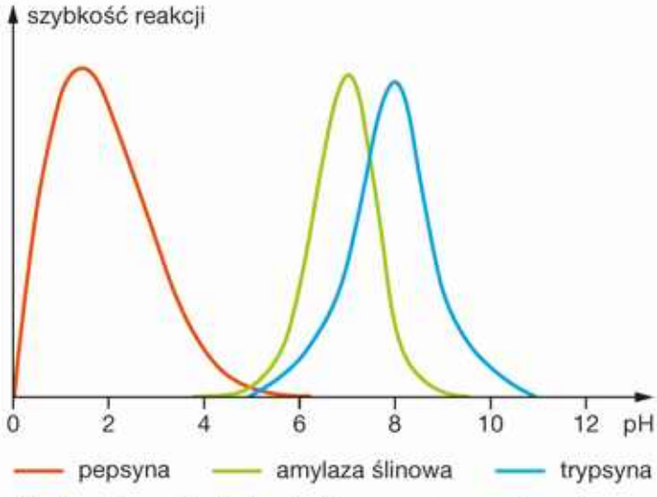
Wartość pH

Wartość pH również ma istotne znaczenie dla aktywności enzymów. Większość z nich wykazuje swoją maksymalną aktywność w określonym, często wąskim przedziale pH. Wynika to z faktu, że enzymy, tak jak wszystkie białka, mają grupy funkcyjne zdolne do występowania w formie niezjonizowanej lub zjonizowanej – jako aniony, kationy albo jony obojnacze. W zależności od formy jonowej grup funkcyjnych enzymu, może on zyskiwać lub tracić swoje właściwości katalityczne. Ponadto bardzo niskie lub bardzo wysokie wartości pH środowiska mogą prowadzić do denaturacji enzymu.



Grand Prismatic Spring to największe gorące źródła w Parku Narodowym Yellowstone. Intensywne kolory na obwodzie tych źródeł pochodzą od organizmów prokariotycznych przystosowanych do życia w wysokich temperaturach (80–90°C).

Większość enzymów komórkowych jest aktywnych w pH ok. 7, czyli w środowisku zbliżonym do obojętnego. Enzymy lizosomów są aktywne w środowisku lekko kwaśnym (pH ok. 5). Z kolei poszczególne enzymy trawienne działają w typowym dla siebie, zwykle wąskim przedziale pH, poza którym znacznie obniża się ich aktywność. Przykładowo dla pepsyny optymalne jest bardzo kwaśne środowisko (pH = 2), dla amylazy ślinowej środowisko obojętne (pH = 7), a dla trypsyny – środowisko zasadowe (pH = 8).



Zależność szybkości reakcji enzymatycznych wybranych enzymów od wartości pH.

Aktywatory i inhibitory

Aktywatory to substancje, które zwiększają aktywność enzymów, ale nie biorą bezpośredniego udziału w reakcji katalizy. Do aktywatorów zalicza się m.in.:

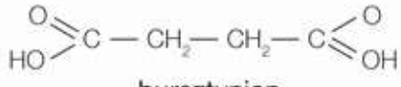
- jony niektórych metali, np. Mg^{2+}, Zn^{2+}, Ca^{2+}, Fe^{2+}, Cu^{2+}. Jony metali mogą uczestniczyć w wiązaniu substratu przez enzym lub odpowiadać za utrzymywanie jego aktywnej katalitycznie struktury przestrzennej;
- małe związki organiczne, które znoszą działanie inhibitorów;
- inne enzymy, które aktywują dany enzym.

Z kolei **inhibitory** to substancje, które hamują aktywność enzymów. Wiążą się one z enzymem, tworząc kompleks enzym–inhibitor (EI). Wyróżnia się dwa rodzaje inhibitorów: nieodwracalne i odwracalne.

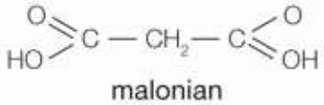
Do **inhibitorów nieodwracalnych** zalicza się cząsteczki, które trwale (zwykle kowalencyjnie) wiążą się z enzymem. Takie wiązanie inhibitora prowadzi do całkowitej i nieodwracalnej utraty właściwości katalitycznych enzymu. Może ono zachodzić w centrum aktywnym lub w innym rejonie cząsteczki. Do inhibitorów nieodwracalnych zalicza się wiele trucizn, np. cyjanek potasu, który hamuje aktywność oksydazy cytochromowej – jednego z enzymów oddychania komórkowego. Inhibicję nieodwracalną powodują też jony metali ciężkich (np. Hg^{2+}, Ag^{+}), które wiążą się z enzymem w wielu rejonach, co prowadzi do jego denaturacji.

Inhibitory odwracalne to cząsteczki, które łączą się z enzymem nietrwale (odwracalnie), przez co blokują jego aktywność tylko do momentu dysocjacji kompleksu EI. Wśród inhibitorów odwracalnych wyróżnia się inhibitory kompetycyjne i niekompetycyjne.

Do **inhibitorów kompetycyjnych** należą cząsteczki, których struktura przestrzenna przypomina strukturę substratu, przez co związki te współzawodniczą z substratem o centrum aktywne enzymu. Związanie inhibitora kompetycyjnego z enzymem blokuje centrum aktywne enzymu i uniemożliwia związanie substratu. Powoduje to zahamowanie reakcji enzymatycznej. Inhibicję kompetycyjną można częściowo ograniczyć poprzez zwiększenie stężenia substratu. Wówczas substrat będzie częściej wygrywał konkurencję o centrum aktywne enzymu. Do inhibitorów kompetycyjnych należą m.in. **antywitaminy** – związki, które blokują enzym, co uniemożliwia wykorzystanie danej witaminy przez organizm.

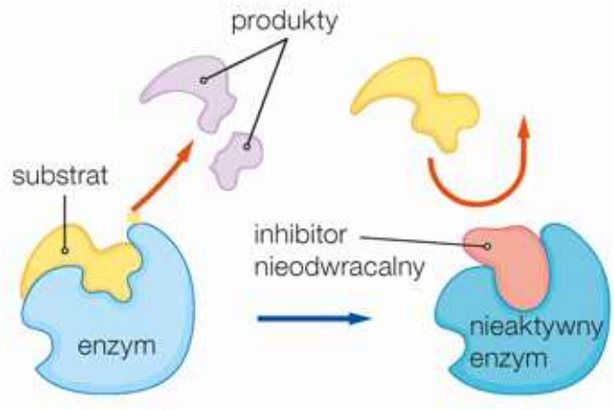


bursztynian

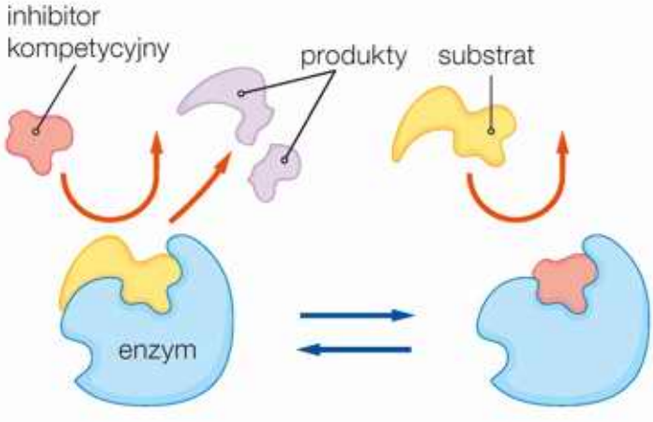


malonian

Kwas malonowy jest inhibitorem kompetycyjnym dehydrogenazy bursztynianowej (jednego z enzymów oddychania komórkowego). W odróżnieniu od substratu, czyli kwasu bursztynowego, ma o jedną grupę metylenową ($-CH_2-$) mniej.

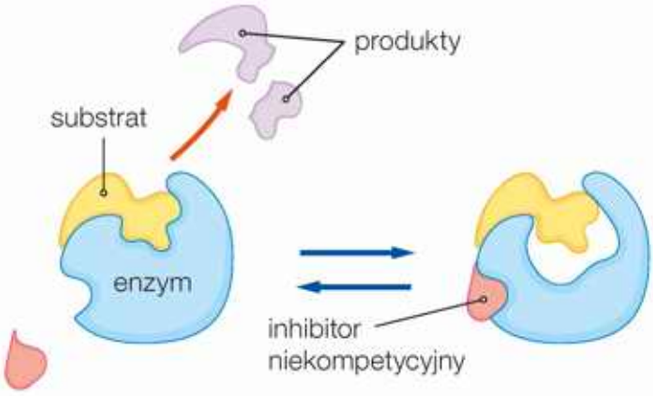


Inhibitor nieodwracalny trwale dezaktywuje enzym. Inhibicji tej nie można cofnąć.



Inhibitor kompetycyjny konkuruje z substratem o centrum aktywne enzymu.

Inhibitory niekompetycyjne to związki, które mają inną budowę niż substrat. W związku z tym wiążą się z enzymem poza centrum aktywnym, a co za tym idzie nie współzawodniczą o to centrum z substratem oraz nie blokują wiązania substratu do enzymu. Inhibitory niekompetycyjne mogą łączyć się z wolnym enzymem, tworząc kompleks EI, oraz z kompleksem enzym–substrat, tworząc kompleks enzym–inhibitor–substrat (EIS). Enzym związany z inhibitorem jest nieaktywny katalitycznie, niezależnie od tego, czy zwiąże substrat, czy też nie. Inhibicję niekompetycyjną można ograniczyć jedynie przez usunięcie inhibitora ze środowiska. Do inhibitorów niekompetycyjnych należą m.in. niektóre metabolity regulujące aktywność enzymów oraz niekiedy jony metali ciężkich, np. ołowiu.

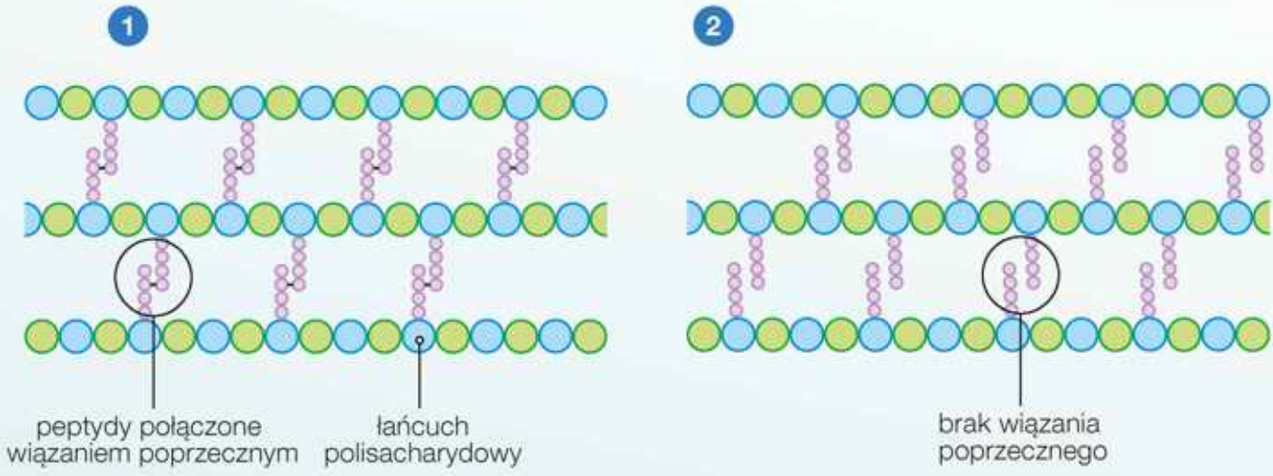


Inhibitor niekompetycyjny łączy się nietrwale z enzymem w innym miejscu niż centrum aktywne.

Jak penicylina zabija bakterie?

Biologia w **medycynie**

Penicylina wykazuje bardzo silne działanie bakteriobójcze. Polega ono na nieodwracalnej inhibicji enzymu uczestniczącego w syntezie ściany komórkowej bakterii. Bakteryjna ściana komórkowa jest zbudowana z mureiny – związku składającego się z liniowych łańcuchów polisacharydowych połączonych ze sobą poprzecznie krótkimi peptydami. W tworzeniu poprzecznych wiązań peptydowych uczestniczy enzym – transpeptydaza glikopeptydowa. Penicylina swoją strukturą przypomina substrat enzymu. Łączy się ona kowalencyjnie z enzymem w centrum aktywnym, trwale go dezaktywując. Komórka bakterii bez aktywnego enzymu nie może tworzyć ściany komórkowej i pęka w wyniku osmotycznego napływu wody do jej wnętrza.



1. W ścianie komórkowej bakterii łańcuchy mureiny są ze sobą połączone dzięki wiązaniom poprzecznym między peptydami.
2. Penicylina uniemożliwia tworzenie poprzecznych wiązań peptydowych między łańcuchami mureiny, przez co bakteria nie może tworzyć ściany komórkowej i pęka.

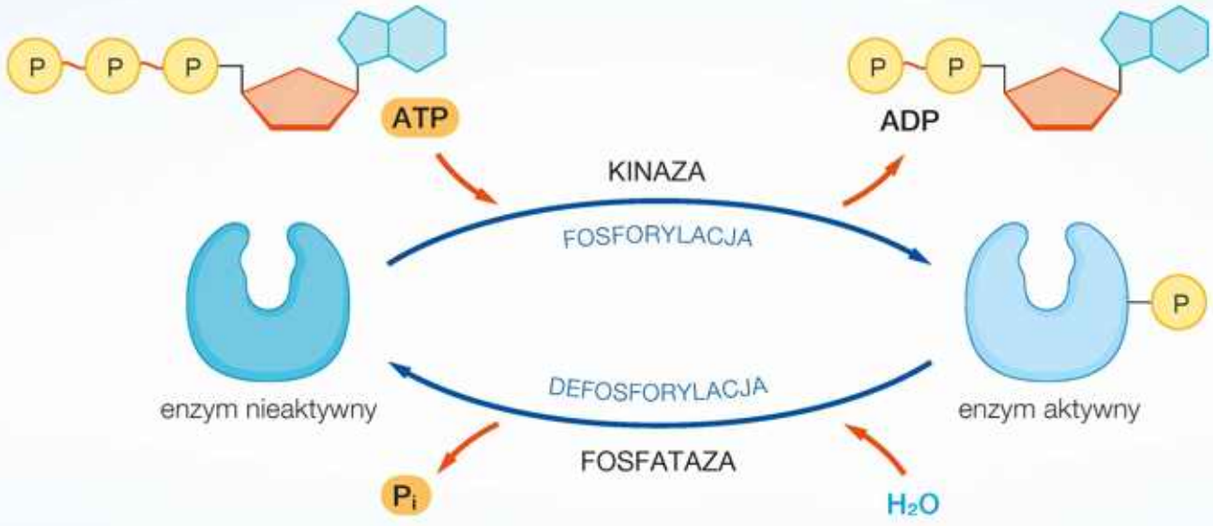
Dowiedz się więcej

Inne sposoby regulacji aktywności enzymów

Do innych sposobów regulacji aktywności enzymów zalicza się m.in.: fosforylację i defosforylację, specyficzną proteolizę oraz regulację powstawania i degradacji cząsteczek enzymu.

Fosforylacja i defosforylacja

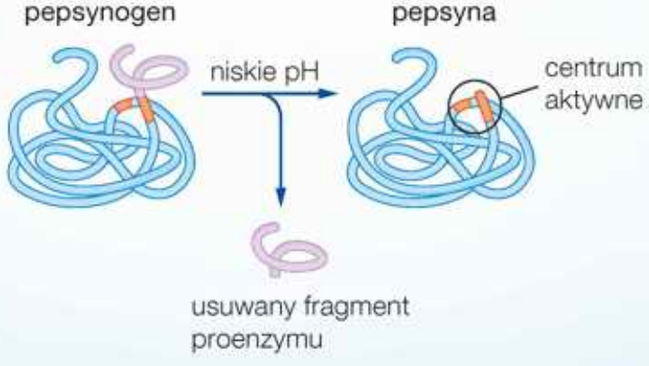
Fosforylacja i defosforylacja są jednymi z podstawowych mechanizmów regulujących aktywność enzymów. **Fosforylacja** polega na dołączaniu grup fosforanowych do cząsteczki białka. Jej skutkiem jest najczęściej znaczne zwiększenie aktywności enzymu. Fosforylację katalizują enzymy nazywane **kinazami**. **Defosforylacja** polega na odłączeniu grup fosforanowych od cząsteczki białka. Zwykle powoduje znaczne obniżenie aktywności enzymu. Enzymy katalizujące defosforylację są nazywane **fosfatazami**.



Fosforylacja i defosforylacja umożliwiają szybką i odwracalną aktywację lub dezaktywację enzymu. Dzięki temu mechanizmowi komórka może szybko dostosować swój metabolizm do aktualnego zapotrzebowania.

Proteoliza

Wiele enzymów jest wytwarzanych w formie nieaktywnej. W takiej postaci są nazywane **proenzymami** lub **zymogenami**. Proenzymy są aktywowane w wyniku proteolizy, czyli hydrolizy jednego lub kilku konkretnych wiązań peptydowych w obrębie ich cząsteczki. Najczęściej proces ten prowadzi do zmian strukturalnych, w których wyniku zostaje utworzone centrum aktywne enzymu. Taka forma aktywacji enzymu zachodzi jednorazowo i jest nieodwracalna. Produkcja i wydzielanie nieaktywnych proenzymów pozwala na ich aktywację dopiero w miejscu, w którym są potrzebne, i w czasie, gdy są potrzebne. W przypadku enzymów trawiennych chroni to tkanki narządów, w których są one wytwarzane, przed uszkodzeniami, np. przed samostrawieniem.



Aktywacja pepsynogenu – proenzymu pepsyny – zachodzi pod wpływem bardzo niskiego pH soku żołądkowego (pH ok. 2) lub pod wpływem innych, aktywnych już cząsteczek pepsyny (tzw. autoaktywacja).

Regulacja powstawania i degradacji enzymów

Komórka może regulować szybkość reakcji enzymatycznej poprzez zmianę stężenia enzymu. Proces ten zachodzi dzięki kontroli syntezy i degradacji (niszczenia) cząsteczek enzymu.

Kontrola syntezy enzymów

Kontrola syntezy enzymów polega na **regulacji ekspresji kodujących je genów**. Odczytywanie zapisanej w nich informacji genetycznej może być uruchamiane i wyłączane w zależności od docierających do komórki sygnałów, np. w postaci hormonów lub innych cząsteczek sygnałowych.

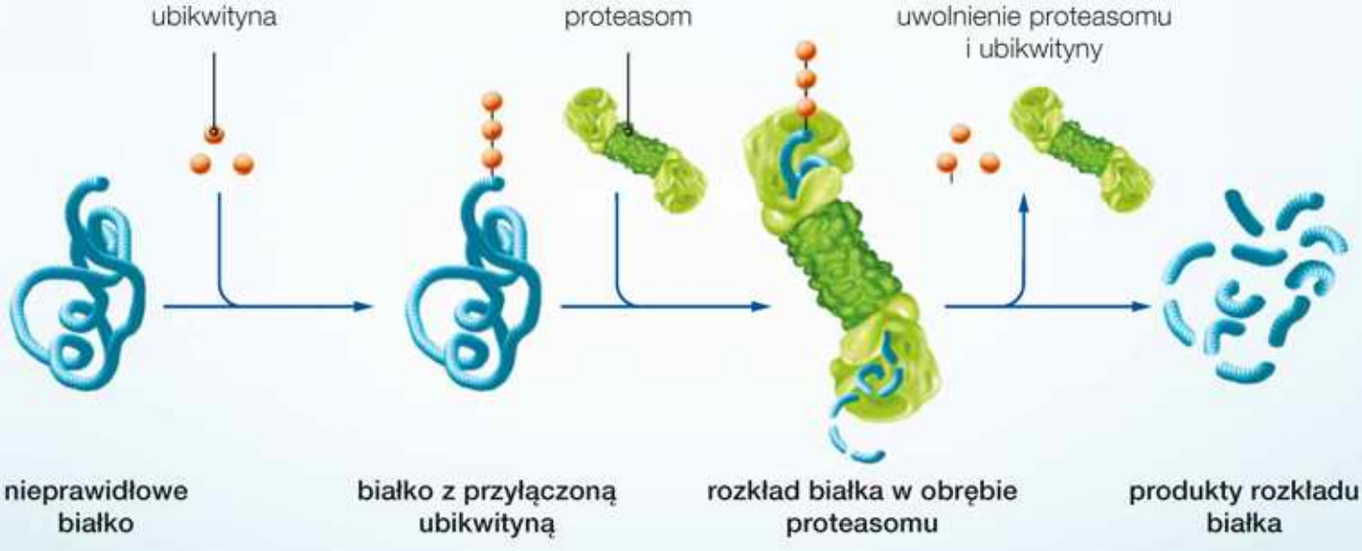


Szybkość reakcji enzymatycznej rośnie wprost proporcjonalnie do stężenia enzymu. Zależność ta jest prawdziwa wówczas, gdy w środowisku reakcji znajduje się nadmiar cząsteczek substratu oraz gdy wszystkie pozostałe warunki, takie jak pH czy temperatura, pozostają bez zmian.

Kontrola degradacji enzymów

Wyprodukowanych wcześniej cząsteczek enzymu komórka pozbywa się przez degradację. Degradacja enzymów polega na ich rozpoznawaniu, np. przez receptory umieszczone w błonach lizosomów, a następnie ich rozkładzie za pomocą **lizosomalnych enzymów proteolitycznych**. Inny sposób likwidowania białek nosi nazwę **ubikwitynozależnej degradacji białek**. Polega on na oznakowaniu przeznaczonych do zniszczenia białek przez kowalencyjne przyłączenie do nich cząsteczek **ubikwityny**, a następnie ich degradację w obrębie **proteasomu** – ogromnego kompleksu białkowego, który zawiera enzymy proteolityczne.

Ubikwitynozależna degradacja białek

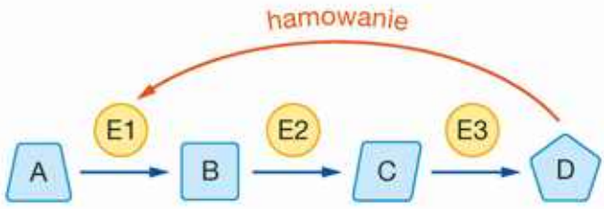


Dzięki ubikwitynozależnej degradacji komórka pozbywa się m.in. zbędnych enzymów oraz innych nieprawidłowych lub uszkodzonych białek. Oznakowane ubikwityną białka są niszczone w proteasomach. Natomiast ubikwityna nie ulega strawieniu i wraca do ponownego obiegu.

Regulacja przebiegu szlaków metabolicznych

Szlaki metaboliczne składają się z ciągu reakcji enzymatycznych, z których każda jest katalizowana przez odpowiedni enzym. Takie wieloetapowe przemiany enzymatyczne wymagają sporego nakładu energetycznego ze strony komórki. Dlatego, aby uniknąć niepotrzebnych strat energii, enzym katalizujący pierwszy etap szlaku metabolicznego jest zwykle hamowany przez produkt ostatniej reakcji szlaku. Taki rodzaj regulacji enzymatycznej, w którym końcowy produkt jest inhibitorem enzymu wcześniejszego etapu, jest nazywany **hamowaniem** (inhibicją) **przez sprzężenie zwrotne** lub **ujemnym sprzężeniem zwrotnym**.

Mechanizm hamowania przez sprzężenie zwrotne



Enzym E1 katalizuje pierwszą reakcję w szlaku metabolicznym. Jego aktywność jest hamowana przez produkt D – końcowy produkt tego szlaku metabolicznego. Hamowanie przez sprzężenie zwrotne sprawia, że nie zachodzi pierwsza ani żadna z kolejnych reakcji w szlaku. Dzięki temu komórka nie traci energii na niepotrzebne przemiany, gdy produkt końcowy jest już w niej obecny w odpowiednim stężeniu.

Dowiedz się więcej

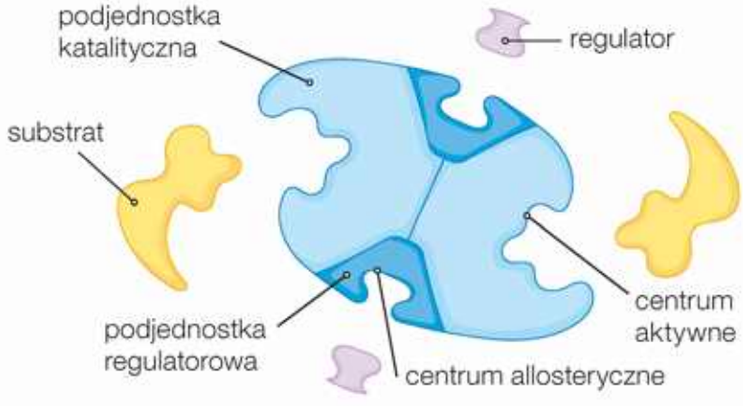
Enzymy allosteryczne kontrolują przebieg szlaków metabolicznych

Enzymy allosteryczne to enzymy, których aktywność może być regulowana za pomocą substancji sygnałowych wiążących się w miejscu innym niż centrum aktywne. Miejsce to nazywamy **centrum** (miejscem) **allosterycznym**, a wiążące się z nimi cząsteczki sygnałowe – **regulatorami** (lub efektorami allosterycznymi).

Enzymy allosteryczne zwykle składają się z kilku podjednostek (łańcuchów polipeptydowych), wśród których wyróżnia się:

- **podjednostki katalityczne** – każda zawiera centrum aktywne. Przyłączenie substratu do jednego centrum aktywnego może zmienić właściwości centrów aktywnych innych podjednostek, dzięki czemu łatwiej wiążą one substrat;
- **podjednostki regulatorowe** – zawierają centra allosteryczne. Do nich przyłączają się regulatory. Przyłączenie cząsteczki regulatora do centrum allosterycznego powoduje zmianę struktury enzymu, co wpływa na jego zdolności katalityczne. Regulatory mogą przyspieszać lub hamować aktywność enzymu.

Model budowy enzymu allosterycznego



Dzięki temu, że aktywność enzymów allosterycznych może być ściśle regulowana, zwykle katalizują one pierwszą reakcję w szlaku metabolicznym. Ich specyficznymi inhibitorami są zazwyczaj końcowe produkty danego szlaku.

Doświadczenie

Badanie wpływu pH na aktywność pepsyny – enzymu proteolitycznego żołądka

- **Problem badawczy:** Wpływ pH na aktywność pepsyny.
- **Hipoteza:** Wartość pH ma wpływ na aktywność pepsyny.
- **Materiały:** roztwór pepsyny o stężeniu 1%, roztwór HCl o stężeniu 0,4%, roztwór $NaHCO_3$ o stężeniu 0,5%, zawiesina białka jaja kurzego, odczynniki do reakcji biuretowej – $Cu(OH)_2$ otrzymany w wyniku zmieszania roztworów $CuSO_4$ i NaOH.
- **Przebieg doświadczenia**

Przygotuj zawiesinę białka jaja kurzego. W tym celu ugotuj jedno kurze jajo. Następnie oddziel białko od żółtka. Białko jaja kurzego rozdrabniaj (najlepiej za pomocą blendera) aż do uzyskania jednolitej masy, tzw. homogenatu. Rozpuść uzyskany homogenat w 250 ml wody destylowanej i dokładnie wymieszaj.

Przygotuj 20 probówek laboratoryjnych. 10 probówek ponumeruj od 1 do 10 (próby badawcze), a pozostałe próbówki od 1K do 10K (próby kontrolne). Następnie dodaj do każdej odczynniki zgodnie z poniższą tabelą.

Przygotowanie prób badawczych i kontrolnych

Nr probówki	Zawiesina białka [ml]	Roztwór pepsyny/woda destylowana* [ml]	Roztwór HCl [ml]	Roztwór $NaHCO_3$ [ml]	Woda destylowana (do wyrównania objętości)
1 / 1K	10,0	3,0	3,0	0	0
2 / 2K	10,0	3,0	2,5	0	0,5
3 / 3K	10,0	3,0	2,0	0	1,0
4 / 4K	10,0	3,0	1,5	0	1,5
5 / 5K	10,0	3,0	1,0	0	2,0
6 / 6K	10,0	3,0	0,5	0	2,5
7 / 7K	10,0	3,0	0	0	3,0
8 / 8K	10,0	3,0	0	0,5	2,5
9 / 9K	10,0	3,0	0	1,0	2,0
10 / 10K	10,0	3,0	0	2,0	1,0

*Roztwór pepsyny należy dodać tylko do prób badawczych (próbówki 1–10). W próbach kontrolnych (probówki 1K–10K) zamiast pepsyny dodaj do probówek 3 ml wody destylowanej.

Zatkaj wylot każdej z probówek, np. gumowym korkiem, i kilkakrotnie odwróć probówki w celu wymieszania ich zawartości. Sprawdź pH mieszaniny w każej probówce, np. za pomocą papierków lakmusowych. Ponownie zatkaj wyloty probówek i pozostaw je na 24 godziny w temperaturze pokojowej. Po upływie wyznaczonego czasu do każdej probówki dodaj 2 ml $Cu(OH)_2$ i zanotuj barwę roztworu.

- **Wynik doświadczenia:** Zanotuj wynik. Porównaj uzyskany wynik z wykresem zamieszczonym na s. 163.
- **Wniosek:** Sformułuj wniosek.
- **Wyjaśnienie**: W doświadczeniu zastosowano próby kontrolne negatywne, czyli pozbawione przedmiotu badań. W tym przypadku przedmiotem badań jest reakcja enzymatyczna. Porównanie barwy roztworu próby badawczej z odpowiadającą jej próbą kontrolną pozwala ustalić, czy obserwowany efekt wynika z zajścia w próbie badawczej reakcji enzymatycznej.

Doświadczenie

Badanie wpływu wysokiej i niskiej temperatury na aktywność katalazy

- **Problem badawczy:** Wpływ wysokiej i niskiej temperatury na aktywność katalazy.
- **Hipoteza:** Wysoka i niska temperatura powodują spadek aktywności katalazy.
- **Materiały:** homogenat miąższu bulwy ziemniaka o stężeniu 10%, roztwór H_2O_2 o stężeniu 3% (woda utleniona).
- **Przebieg doświadczenia**

Przygotuj homogenat miąższu bulwy ziemniaka o stężeniu 10%. W tym celu rozdrobnij blenderem 10 g obranej bulwy ziemniaka i zalej 100 ml wody destylowanej. Przygotuj dziewięć probówek i podziel je na trzy grupy po trzy: trzy pierwsze podpisz jako 1A, 1B, 1C; trzy kolejne jako 2A, 2B, 2C itd. Do każdej probówki dodaj 1 ml homogenatu.

Próby badawcze:
Probówki 1A–1C umieść w lodzie, aby obniżyć temperaturę reakcji do ok. 0°C.
Probówki 2A–2C ogrzej nad palnikiem, aby temperatura reakcji osiągnęła ok. 100°C.

Próba kontrolna:
Probówki 3A–3C pozostaw w temperaturze pokojowej (ok. 25°C).

Do każdej probówki dodaj 0,5 ml roztworu H_2O_2. Sprawdź, w których probówkach zachodzi reakcja (powinny pojawiać się pęcherzyki gazu).



- **Wynik doświadczenia:** Zanotuj wynik.
- **Wniosek:** Sformułuj wniosek.
- **Wyjaśnienie:** Katalaza jest enzymem, który przeprowadza reakcję rozkładu nadtlenku wodoru do wody i tlenu zgodnie z równaniem reakcji: $2\ H_2O_2 \rightarrow 2\ H_2O + O_2\uparrow$. Występuje w komórkach organizmów oddychających tlenowo. Pod wpływem niskiej temperatury reakcja katalizowana przez ten enzym powinna zmniejszyć swoją szybkość. Z kolei w wyniku podgrzania mieszaniny reakcyjnej do ok. 100°C katalaza powinna ulec denaturacji, co skutkuje utratą przez enzym zdolności katalitycznych.

Polecenia kontrolne

1. Na podstawie podanych wartości K_M dla trzech substratów (A, B i C) określ, do którego z nich enzym X ma największe powinowactwo.

Substrat enzymu X	A	B	C
Wartość K_M [μM]	6500	500	2500

2. Omów wpływ temperatury i pH na szybkość reakcji enzymatycznych.
3. Wyjaśnij, na czym polega hamowanie przez sprzężenie zwrotne.
4. Określ, w jaki sposób można sprawdzić doświadczalnie, czy dana substancja jest inhibitorem odwracalnym, czy nieodwracalnym enzymu.

4.4. Autotroficzne odżywianie się organizmów – fotosynteza

Zwróć uwagę na:
- rolę barwników i fotosystemów w procesie fotosyntezy,
- związek budowy chloroplastu z przebiegiem procesu fotosyntezy,
- przebieg fazy zależnej od światła oraz fazy niezależnej od światła,
- mechanizm powstawania ATP w chloroplaście.

Wszystkie organizmy potrzebują do życia stałych dostaw energii. Uzyskują ją z różnych źródeł, a następnie wykorzystują do przeprowadzania czynności życiowych oraz do budowy ciała. Podstawowym źródłem energii, od którego zależy istnienie życia na Ziemi, jest Słońce. Z energii słonecznej bezpośrednio korzystają tylko organizmy samożywne – autotrofy.

Autotrofizm

Autotrofizm to **rodzaj odżywiania się** organizmów, który polega na samodzielnym wytwarzaniu **związków organicznych** z prostych **związków nieorganicznych**. Głównym związkiem nieorganicznym wykorzystywanym w odżywianiu autotroficznym jest **dwutlenek węgla** (CO_2). Redukcja dwutlenku węgla do związków organicznych jest **przemianą anaboliczną**, która wymaga dostarczenia energii. W zależności od jej pochodzenia wyróżniamy dwa rodzaje autotrofizmu:

- **fotosyntezę**, w której źródłem energii jest światło pochłaniane przez barwniki fotosyntetyczne,
- **chemosyntezę**, w której energia pochodzi z utleniania prostych związków nieorganicznych lub rzadziej organicznych obecnych w środowisku.

Fotosynteza i jej rodzaje

Fotosynteza jest sposobem odżywiania się roślin, protistów roślinopodobnych oraz niektórych bakterii, m.in. sinic, bakterii zielonych i purpurowych. U organizmów eukariotycznych proces ten przebiega w **chloroplastach**, a u prokariotycznych – w **tylakoidach** oraz w **cytozolu**.

Fotosynteza polega na wytwarzaniu związków organicznych z prostych związków nieorganicznych z udziałem **energii świetlnej**. Składa się ona z dwóch faz:

- **fazy zależnej od światła** (jasnej), która polega na wytworzeniu **siły asymilacyjnej**, czyli **ATP** i **NADPH**, potrzebnej do redukcji CO_2,
- **fazy niezależnej od światła** (ciemnej), która polega na **asymilacji CO_2**, czyli jego redukcji do związków organicznych.

Organizmy przeprowadzające fotosyntezę zasiedlają różne środowiska, w tym środowiska beztlenowe. Dla wielu z nich tlen jest gazem silnie toksycznym. Dlatego fotosynteza może przebiegać na dwa różne sposoby:

- z uwolnieniem tlenu – **fotosynteza oksygeniczna**,
- bez uwolnienia tlenu – **fotosynteza anoksygeniczna**.

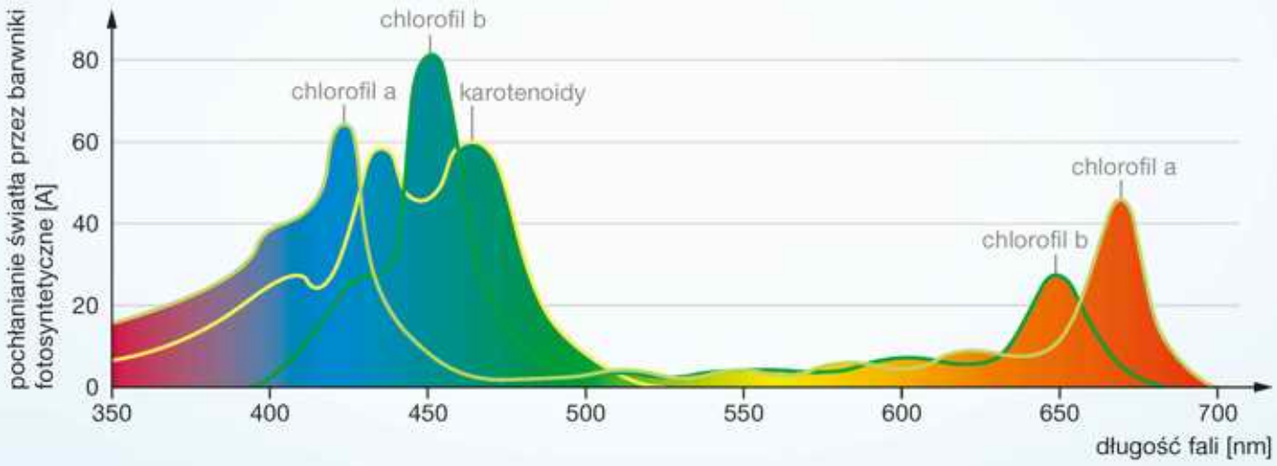
Rodzaje fotosyntezy

Fotosynteza oksygeniczna	Fotosynteza anoksygeniczna
• Zachodzi u organizmów, które żyją w środowisku tlenowym – roślin, protistów roślinopodobnych i sinic. • Do redukcji dwutlenku węgla jest wykorzystywana woda. • Produktem ubocznym jest tlen. • Sumaryczne równanie reakcji chemicznej: $6\,CO_2 + 6\,H_2O \xrightarrow{\text{energia świetlna}} C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2$	• Zachodzi u organizmów, które żyją w środowisku beztlenowym – bakterii zielonych i purpurowych. • Do redukcji dwutlenku węgla jest zwykle wykorzystywany prosty związek nieorganiczny, np. H_2S. • Tlen nie powstaje. • Sumaryczne równanie reakcji chemicznej: $6\,CO_2 + 12\,H_2S \xrightarrow{\text{energia świetlna}} C_6H_{12}O_6 + 12\,S + 6\,H_2O$

Barwniki fotosyntetyczne

W błonach tylakoidów komórek przeprowadzających fotosyntezę znajdują się barwniki pochłaniające światło niezbędne do zajścia tego procesu. Do barwników fotosyntetycznych należą:

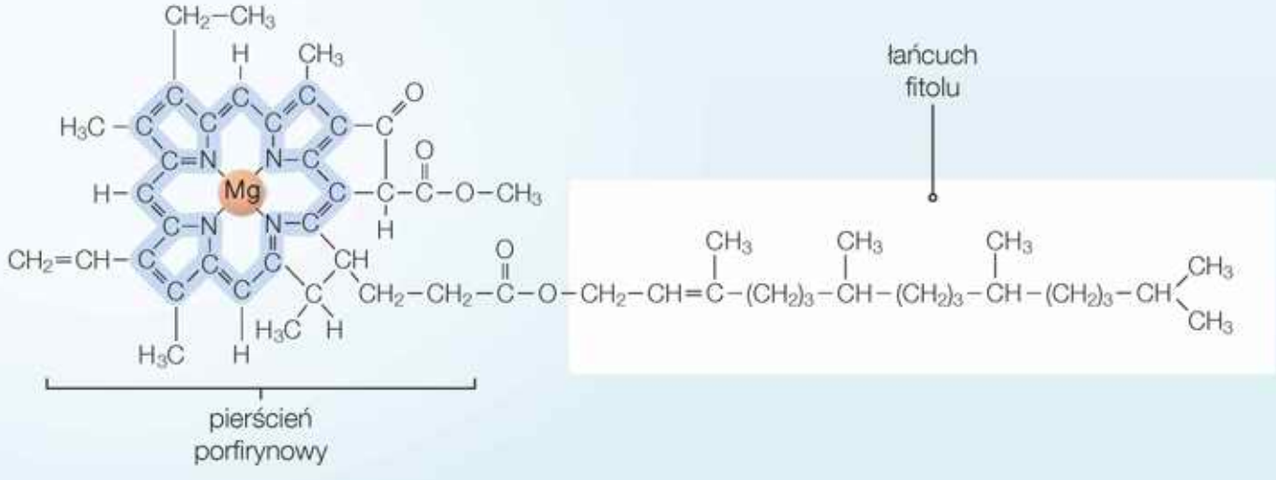
- **barwniki główne**, do których zaliczamy **chlorofile**. Mają one zieloną barwę i pochłaniają światło widzialne w zakresie fal niebieskich oraz czerwonych. Istnieje wiele odmian chlorofilu oznaczonych kolejnymi literami alfabetu. U roślin występują chlorofil a oraz chlorofil b, które różnią się od siebie długością pochłanianych fal;
- **barwniki pomocnicze**, do których należą głównie **karotenoidy**, czyli czerwone i pomarańczowe karoteny oraz żółte ksantofile. Pochłaniają one światło niebieskozielone niedostępne dla chlorofili.



Zestaw długości fal pochłanianych przez barwniki fotosyntetyczne.

Budowa cząsteczki chlorofilu

Cząsteczka chlorofilu jest zbudowana z pierścienia porfirynowego z centralnie położonym atomem magnezu oraz reszty alkoholu – fitolu, która tworzy długi łańcuch. Część pierścienia porfirynowego (oznaczona na rysunku niebieskim kolorem) pochłania światło, natomiast hydrofobowy łańcuch fitolu umocowuje całą cząsteczkę w błonie tylakoidu.

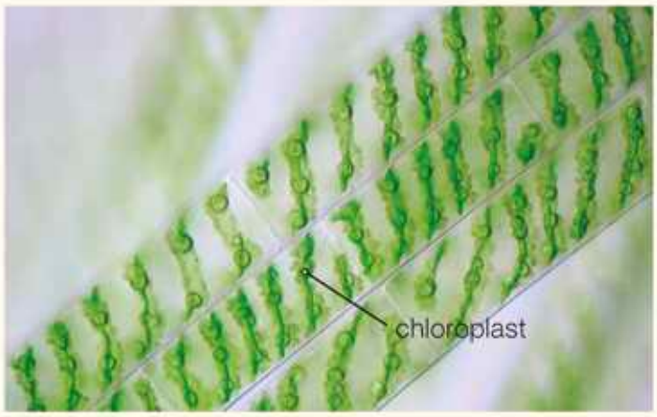


Budowa cząsteczki chlorofilu a.

Doświadczenie – Jak to odkryto?

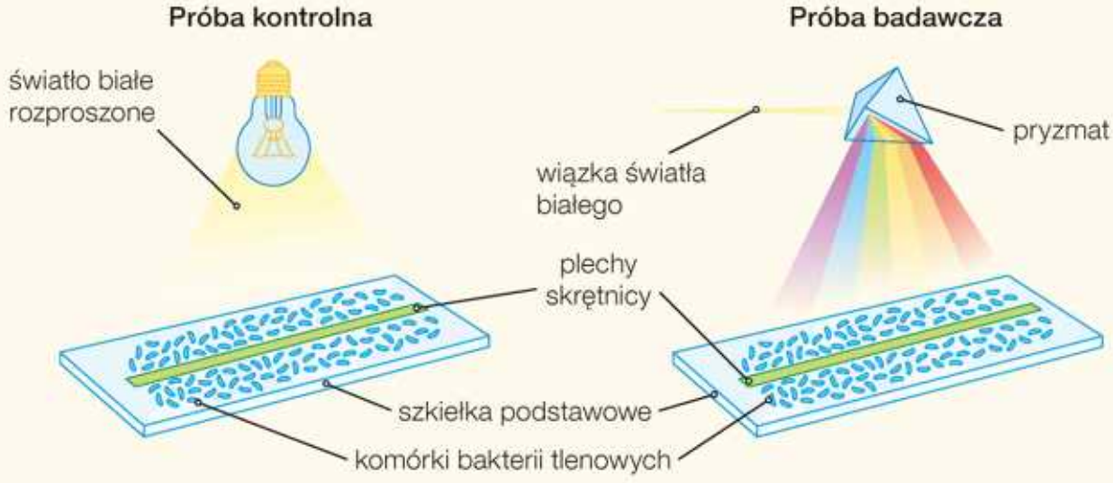
Badanie wpływu barwy światła na efektywność fotosyntezy

W 1883 r. Theodor Wilhelm Engelmann [wym. Teodor Wilhelm Engelman] przeprowadził doświadczenie dotyczące wpływu barwy światła na efektywność fotosyntezy. Obiektem jego badań była skrętnica (*Spirogyra* sp.) należąca do zielenic – roślin pierwotnie wodnych. Roślina ta tworzy długie, nitkowate plechy złożone z wielu jednakowych komórek. W komórkach tych znajdują się długie, taśmowate, spiralnie skręcone chloroplasty.

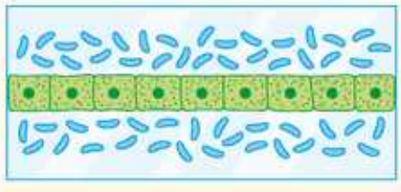


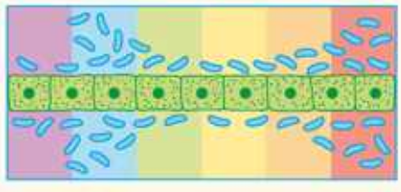
Plechy skrętnicy.

- **Problem badawczy:** Wpływ barwy światła na efektywność fotosyntezy u skrętnicy.
- **Hipoteza:** Efektywność fotosyntezy u skrętnicy zależy od długości fali świetlnej.
- **Przebieg doświadczenia:** Engelmann obserwował skrętnicę pod mikroskopem. Na szkiełkach podstawowych umieszczał jej plechy oraz komórki bakterii oddychających tlenowo. Preparaty przykrywał szkiełkami nakrywkowymi. Następnie naświetlał obiekty badań światłem białym rozproszonym oraz światłem białym rozszczepionym na pryzmacie. Podczas naświetlań obserwował zachowanie bakterii tlenowych.



- **Wynik doświadczenia:** Po naświetleniu światłem białym rozproszonym bakterie tlenowe układały się równomiernie wzdłuż całej plechy. Po naświetleniu światłem rozszczepionym na pryzmacie bakterie tlenowe skupiały się w tych miejscach plechy, które były naświetlane światłem niebieskim i czerwonym. Są to miejsca, w których uwalnia się największa ilość tlenu – jednego z produktów fotosyntezy.

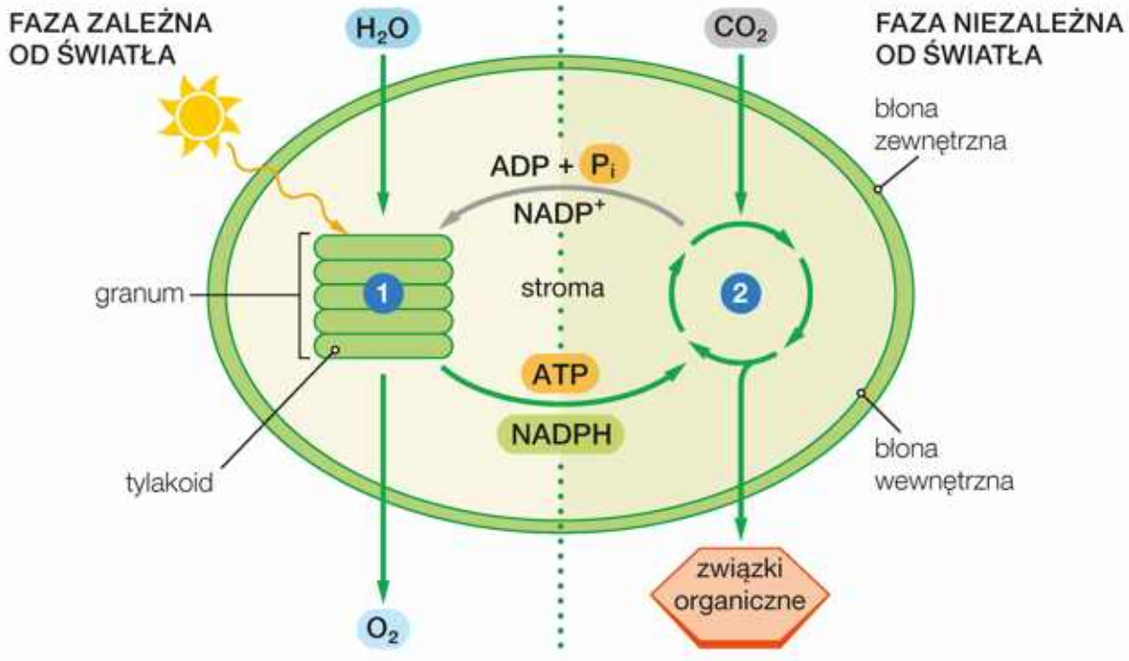




- **Wniosek:** Efektywność fotosyntezy u skrętnicy zależy od długości fali świetlnej. Fotosynteza u skrętnicy przebiega najbardziej efektywnie w świetle niebieskim i czerwonym.

Fotosynteza u roślin

Największą grupą organizmów, które odżywiają się dzięki fotosyntezie, są rośliny. Fotosynteza u roślin przebiega z uwolnieniem tlenu i zachodzi głównie w **liściach** – organach przystosowanych do przeprowadzania tego procesu. Wnętrze liścia jest prawie w całości wypełnione **miękiszem**, którego komórki zawierają liczne **chloroplasty**. To w nich odbywają się ciągi reakcji chemicznych, które składają się na proces fotosyntezy.



Fazy fotosyntezy:

1. W tylakoidach chloroplastów odbywa się faza fotosyntezy zależna od światła, która wymaga obecności wody i dopływu energii świetlnej. Woda jest zwykle pobierana z gleby za pomocą systemu korzeniowego, natomiast energia świetlna jest pochłaniana przez barwniki fotosyntetyczne zlokalizowane w błonach tylakoidów. Produktami fazy jasnej są: ATP i NADPH – które tworzą siłę asymilacyjną – oraz tlen.
2. W stromie chloroplastów odbywa się faza niezależna od światła, która wymaga obecności dwutlenku węgla oraz siły asymilacyjnej wytworzonej w fazie zależnej od światła. Dwutlenek węgla jest zwykle pobierany za pomocą aparatów szparkowych znajdujących się w skórce liścia. Produktami fazy ciemnej są związki organiczne.

Faza zależna od światła

Faza fotosyntezy zależna od światła polega na przemianie energii świetlnej w energię chemiczną magazynowaną w postaci siły asymilacyjnej. W trakcie tej fazy zachodzi inicjowany światłem przepływ elektronów przez łańcuch przenośników elektronów zlokalizowanych w błonach tylakoidów. Transport ten umożliwia powstanie gradientu protonowego w poprzek błony tylakoidu i fosforylację ADP z udziałem syntazy ATP. Taki rodzaj fosforylacji nazywamy **fosforylacją fotosyntetyczną**. Fosforylacja fotosyntetyczna u organizmów przeprowadzających fotosyntezę oksygeniczną, może przebiegać dwoma szlakami metabolicznymi – **niecyklicznym** i **cyklicznym**. Fosforylacja cykliczna zachodzi głównie u bakterii, niecykliczna zaś – głównie u roślin.

Zachodzenie fazy zależnej od światła jest możliwe dzięki temu, że w tylakoidach występują: **fotosystemy**, **przenośniki elektronów** oraz enzym **syntaza ATP**.

Budowa i funkcje fotosystemów

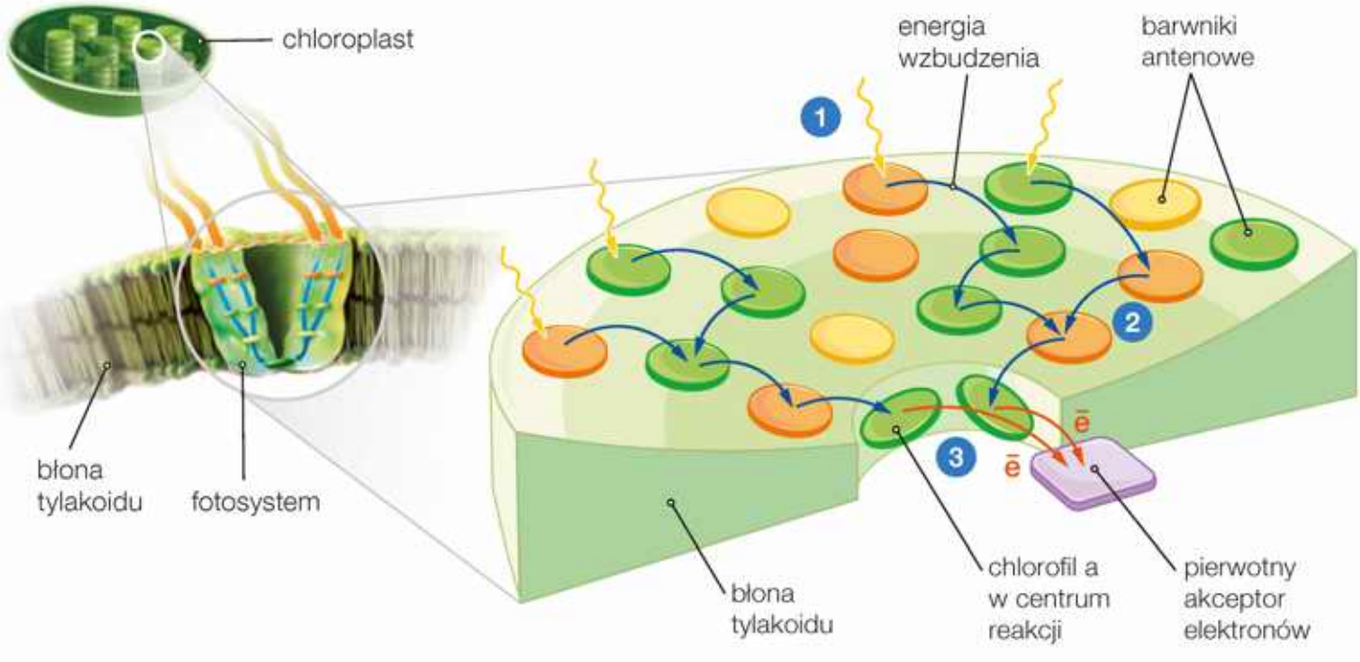
W błonach tylakoidów znajdują się kompleksy zbudowane z barwników, lipidów i białek, które nazywamy fotosystemami. Błony tylakoidów u organizmów przeprowadzających fotosyntezę oksygeniczną mają dwa typy fotosystemów: **fotosystem I** (PS I) i **fotosystem II** (PS II). Różnią się one m.in. składem barwników i długością absorbowanych fal. W skład każdego fotosystemu wchodzą: **barwniki antenowe** – chlorofile i karotenoidy, **centrum reakcji fotochemicznej**, czyli para zmodyfikowanych cząsteczek chlorofilu a, oraz **pierwotny akceptor elektronów**. Na granicy fotosystemu II, od strony wnętrza tylakoidu, znajduje się skomplikowany układ oksydoredukcyjny, który przeprowadza **fotolizę wody**, czyli jej rozkład do elektronów, protonów i tlenu.

Rodzaje fotosystemów

Fotosystem I	Fotosystem II
• chlorofil a, tworzący centrum reakcji fotosystemu I, wykazuje maksimum absorpcji przy 700 nm, dlatego oznaczamy go symbolem P-700 (ang. *pigment 700*) • głównym barwnikiem pomocniczym jest karoten	• chlorofil a, tworzący centrum reakcji fotosystemu II, wykazuje maksimum absorpcji przy 680 nm, dlatego oznaczamy go symbolem P-680 (ang. *pigment 680*) • głównym barwnikiem pomocniczym jest ksantofil

Jak działają fotosystemy?

W obrębie fotosystemów zachodzą przemiany fotochemiczne. Polegają one na przekształceniu energii świetlnej w energię elektronów.



W fotosystemach zachodzą następujące procesy:

1. Cząsteczki barwników antenowych pochłaniają światło i przechodzą ze stanu podstawowego w stan wzbudzony, czyli na wyższy poziom energetyczny.
2. Energia wzbudzenia jest przekazywana na cząsteczki chlorofilu a, tworzące centrum reakcji fotosystemu.
3. W efekcie z obu cząsteczek chlorofilu a zostają wybite elektrony, które są przekazywane na pierwotny akceptor elektronów.

Faza zależna od światła z fosforylacją fotosyntetyczną niecykliczną

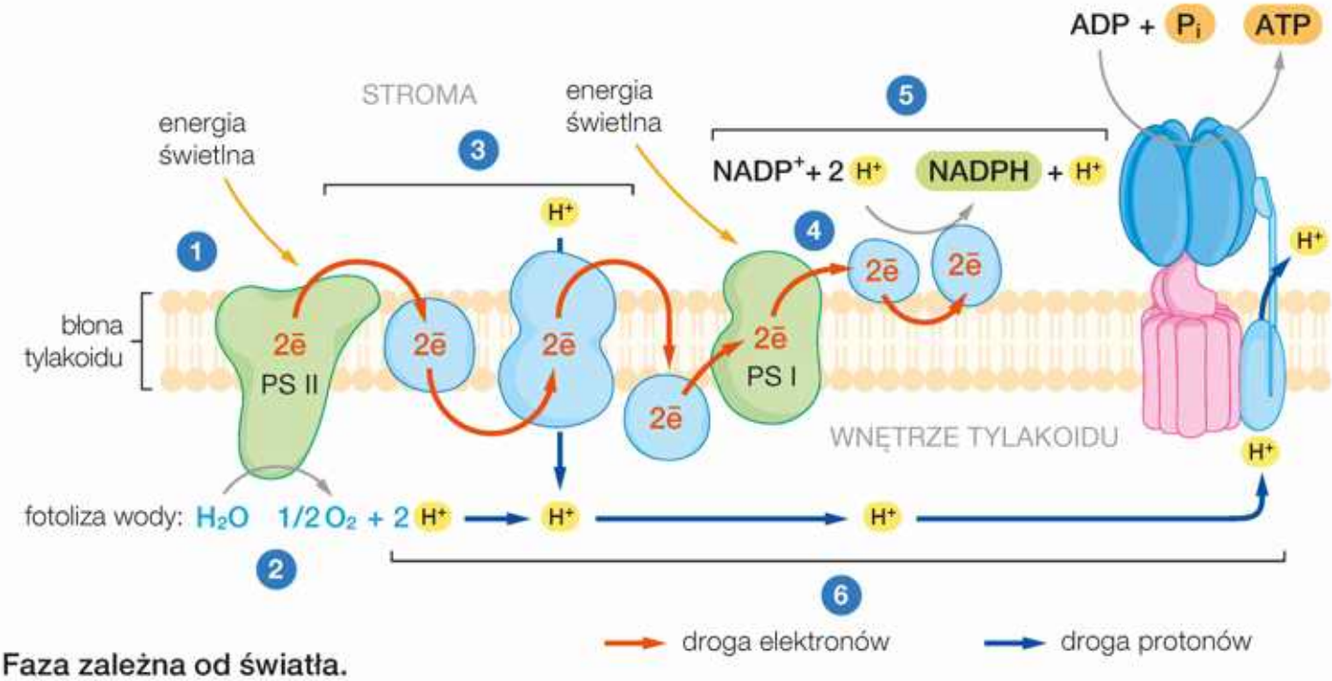
Faza ta polega na liniowym przepływie elektronów od cząsteczki wody przez oba fotosystemy oraz przenośniki elektronów na $NADP^+$. W rezultacie powstaje **NADPH**. Jednocześnie dzięki wytworzeniu gradientu protonowego w poprzek błony tylakoidu powstaje **ATP**.

Przebieg fazy zależnej od światła:

1. Cząsteczki chlorofilu a w centrum reakcji PS II odbierają energię wzbudzenia od barwników antenowych i są z nich wybijane dwa elektrony. Dzięki temu stają się kationami chlorofilu a.
2. Kationy chlorofilu a odrywają elektrony od cząsteczek wody obecnych w chloroplaście. Dzięki temu stają się z powrotem cząsteczkami chlorofilu a. W wyniku rozkładu wody powstają również protony oraz tlen.
3. Elektrony wybite z centrum reakcji PS II są odbierane przez pierwotny akceptor elektronów i przekazywane na łańcuch przenośników elektronów ułożonych w błonie zgodnie ze wzrastającym potencjałem redoks[1].
4. Cząsteczki chlorofilu a w centrum reakcji PS I odbierają energię wzbudzenia od barwników antenowych i są z nich wybijane dwa elektrony. Dzięki temu stają się kationami chlorofilu a, które przyjmują elektrony przekazywane przez łańcuch przenośników z PS II.
5. Elektrony z centrum reakcji PS I są odbierane przez pierwotny akceptor elektronów i przekazywane na łańcuch przenośników elektronów. Ich ostatecznym akceptorem jest $NADP^+$, który ulega redukcji do NADPH.
6. Transportowi elektronów z cząsteczki wody na $NADP^+$ towarzyszy ubytek protonów w stromie. Część z nich jest przyłączana do $NADP^+$, a część – aktywnie pompowana do światła tylakoidu. Wewnątrz tylakoidu znajdują się również protony pochodzące z fotolizy wody. W ten sposób wytwarza się gradient protonowy w poprzek błony tylakoidu. Gradient protonowy jest siłą napędową fosforylacji fotosyntetycznej zachodzącej z udziałem syntazy ATP. W wyniku fosforylacji powstaje ATP .

Równanie fosforylacji fotosyntetycznej niecyklicznej:

$$ADP + P_i + 2\,NADP^+ + 2\,H_2O \rightarrow ATP + 2\,NADPH + 2H^+ + O_2$$



Faza zależna od światła.

[1] **Potencjał redoks** – zdolność oddawania lub przyjmowania elektronów przez jony lub cząsteczki.

Faza zależna od światła z fosforylacją fotosyntetyczną cykliczną

Faza ta jest zespołem przemian fotochemicznych, w których wyniku powstaje wyłącznie ATP, czyli tylko część siły asymilacyjnej. Zachodzi głównie u bakterii, natomiast u roślin występuje rzadko – w sytuacji zwiększonego zapotrzebowania na ATP w stosunku do NADPH. Fosforylacja cykliczna dotyczy **jedynie fotosystemu I**. Elektrony wybite z cząsteczek chlorofilu a są transportowane wzdłuż łańcucha przenośników, a następnie powracają do tego samego fotosystemu i zapełniają jego luki elektronowe. Część energii uwolnionej podczas wędrówki elektronów zostaje zużyta do pompowania protonów ze stromy do wnętrza tylakoidów. Wytworzony gradient protonowy jest wykorzystywany do syntezy ATP. W fosforylacji fotosyntetycznej cyklicznej nie powstaje NADPH ani nie dochodzi do fotolizy wody, więc nie uwalnia się tlen.

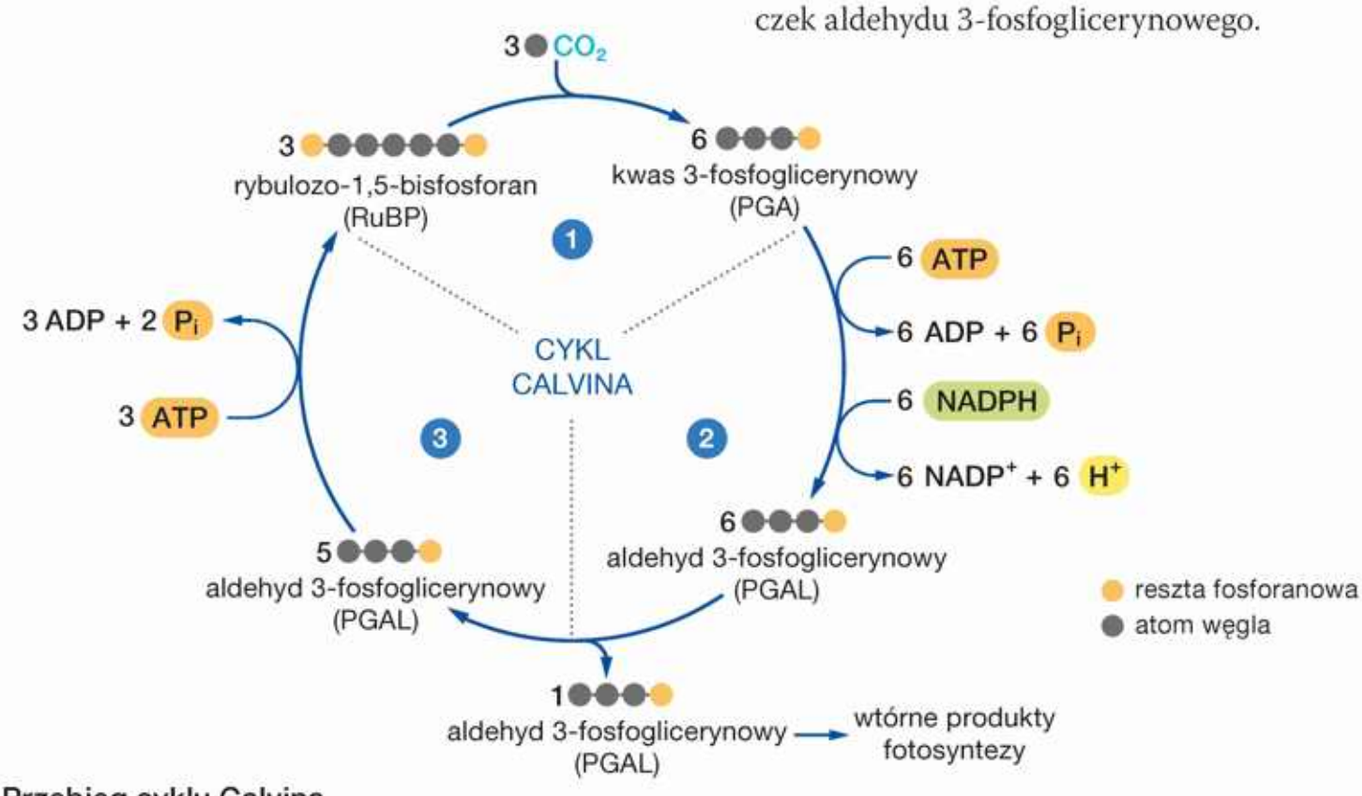
Równanie fosforylacji fotosyntetycznej cyklicznej:

$$ADP + P_i \rightarrow ATP$$

Faza niezależna od światła

Faza fotosyntezy niezależna od światła – **cykl Calvina**, polega na wykorzystaniu siły asymilacyjnej do wytworzenia związków organicznych z CO_2. Składają się na nią trzy etapy:

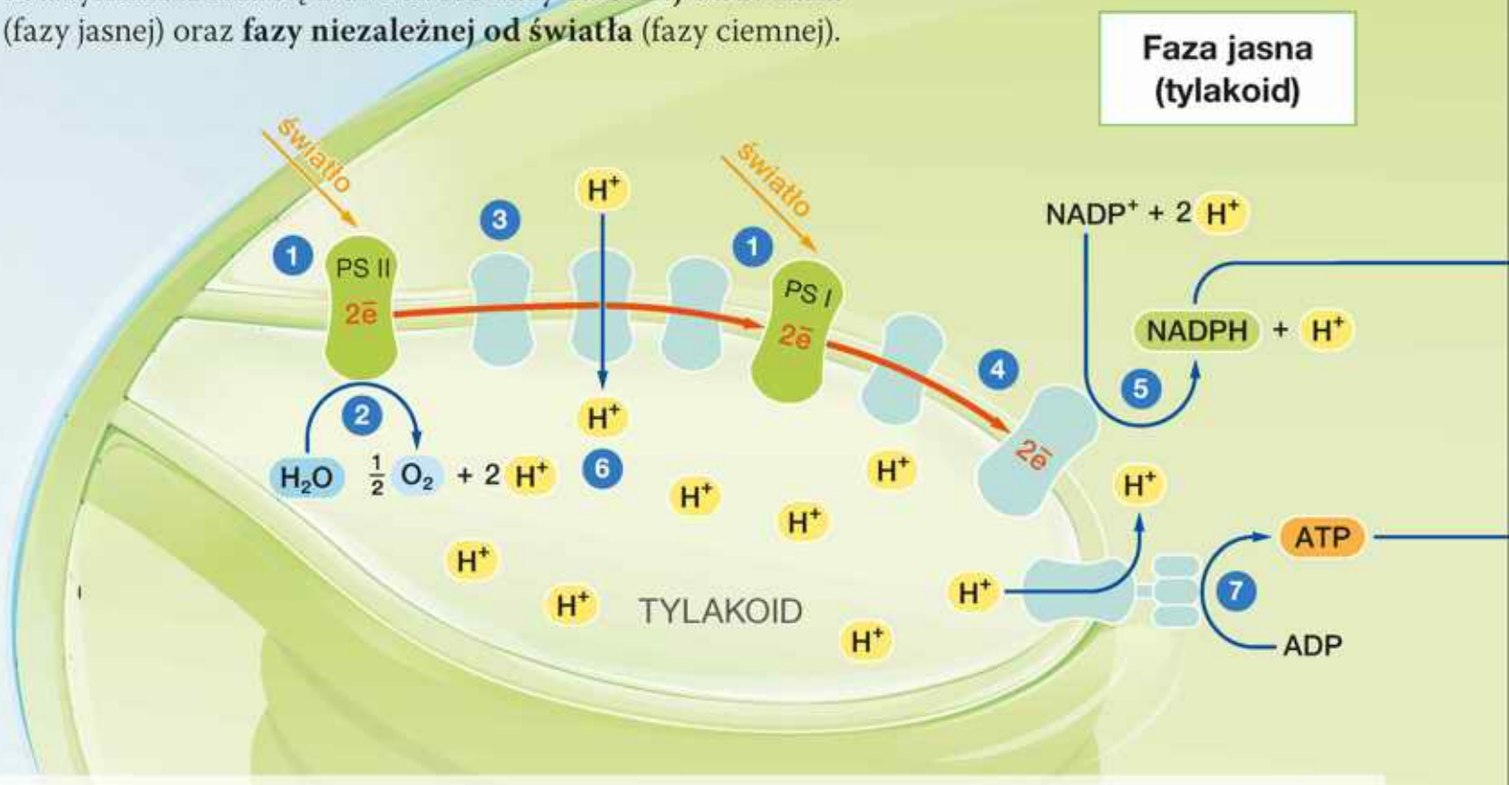
1. **Karboksylacja**, czyli przyłączenie CO_2 do pięciowęglowego akceptora – rybulozo-1,5-bisfosforanu, w skrócie RuBP (ang. *ribulose bisphosphate*). Etap ten katalizuje enzym karboksylaza 1,5-bisfosforybulozy – rubisco (ang. *ribulose bisphosphate carboxylase-oxygenase*). W wyniku karboksylacji RuBP powstaje nietrwały sześciowęglowy związek, który rozkłada się na dwie cząsteczki kwasu 3-fosfoglicerynowego (PGA).
2. **Redukcja** kwasu 3-fosfoglicerynowego do aldehydu 3-fosfoglicerynowego (PGAL) elektronami pochodzącymi z NADPH, z udziałem energii z rozkładu ATP. Jedna z sześciu uzyskanych cząsteczek aldehydu stanowi pierwotny produkt fotosyntezy, wykorzystywany do syntezy produktów wtórnych, czyli wszystkich związków organicznych niezbędnych komórce.
3. **Regeneracja**, która polega na odtworzeniu akceptora CO_2. Substratem do syntezy rybulozo-1,5-bisfosforanu jest pięć cząsteczek aldehydu 3-fosfoglicerynowego.



Przebieg cyklu Calvina.

Przebieg fotosyntezy

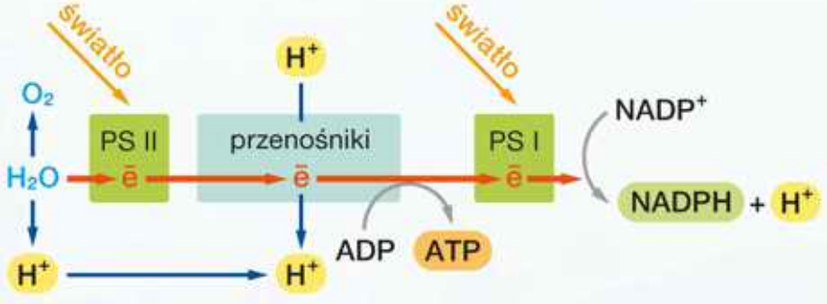
Fotosynteza składa się z dwóch faz: **fazy zależnej od światła** (fazy jasnej) oraz **fazy niezależnej od światła** (fazy ciemnej).



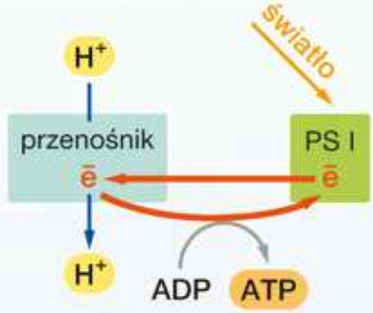
I. Faza zależna od światła (faza jasna)

1. Pod wpływem światła z cząsteczek chlorofilu a tworzących centra reakcji PS II i PS I są wybijane elektrony. Powstają wówczas kationy chlorofilu a.
2. Luki elektronowe w kationach chlorofilu a w PS II uzupełniają elektrony pochodzące z fotolizy wody. Podczas fotolizy wody powstają również protony oraz tlen, który jest uwalniany do środowiska.
3. Elektrony wybite z chlorofilu a w PS II są przekazywane na przenośniki elektronów o wzrastającym potencjale redoks. Ostatecznie uzupełniają one luki elektronowe w kationach chlorofilu a w PS I.
4. Elektrony wybite z cząsteczek chlorofilu a w PS I wędrują łańcuchem przenośników elektronów na ostateczny akceptor elektronów – $NADP^+$.
5. $NADP^+$ przyjmuje dwa elektrony i ulega redukcji do NADPH – pierwszego składnika siły asymilacyjnej.
6. Podczas transportu elektronów z PS II na PS I następuje pompowanie protonów ze stromy chloroplastu do wnętrza tylakoidu. Powstaje wówczas gradient protonowy.
7. Syntaza ATP wykorzystuje gradient protonowy do syntezy ATP – drugiego składnika siły asymilacyjnej.

Fosforylacja niecykliczna
Przebiega z udziałem dwóch fotosystemów i prowadzi do wytworzenia ATP i NADPH + H^+.



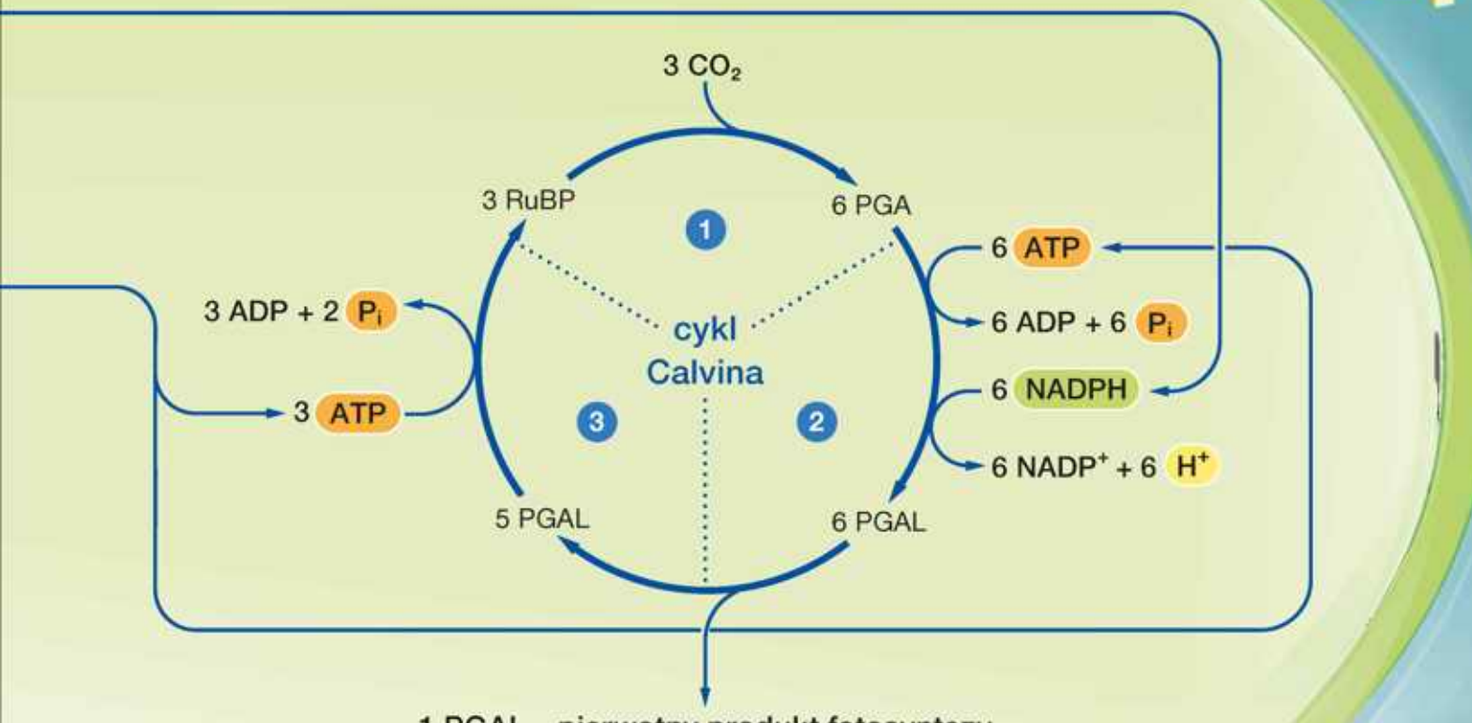
Fosforylacja cykliczna
Przebiega z udziałem fotosystemu PS I i prowadzi do wytworzenia ATP.



Faza ciemna (stroma)

W **tylakoidach** chloroplastu zachodzi **faza jasna** fotosyntezy.

W **stromie** zachodzi **faza ciemna** fotosyntezy.



1 PGAL – pierwotny produkt fotosyntezy

STROMA

wtórne produkty fotosyntezy

PGAL jest substratem do syntezy wszystkich pozostałych związków organicznych.

Podczas intensywnej fotosyntezy część PGAL zostaje w chloroplaście przekształcona w **skrobię asymilacyjną**. Skrobia ta jest wykorzystywana na potrzeby energetyczne komórek w godzinach nocnych.

II. Faza niezależna od światła (faza ciemna)

1. Pierwszym etapem cyklu Calvina jest **karboksylacja**, czyli przyłączenie CO_2 do rybulozo-1,5-bisfosforanu (RuBP). W jej wyniku powstaje kwas 3-fosfoglicerynowy (PGA).
2. Po karboksylacji zachodzi **redukcja** kwasu 3-fosfoglicerynowego (PGA) do aldehydu 3-fosfoglicerynowego (PGAL). W redukcji uczestniczą NADPH oraz ATP.
3. Ostatnim etapem cyklu Calvina jest **regeneracja**, która polega na odtworzeniu akceptora CO_2. Substratem do syntezy rybulozo-1,5-bisfosforanu (RuBP) jest aldehyd 3-fosfoglicerynowy (PGAL). Etap ten wymaga nakładu energii w postaci ATP.

Doświadczenie

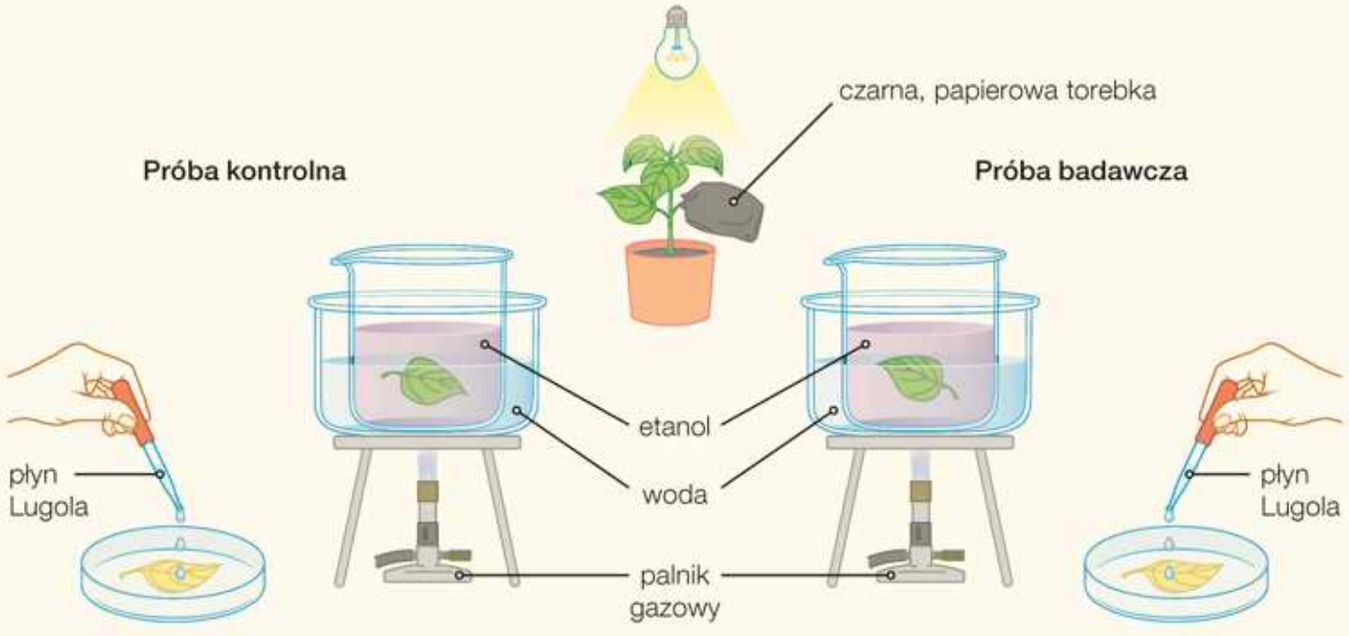
Synteza skrobi asymilacyjnej w liściach pelargonii

- **Problem badawczy:** Czy w liściach pelargonii poddanych działaniu światła zachodzi synteza skrobi asymilacyjnej?
- **Hipoteza:** W liściach pelargonii poddanych działaniu światła zachodzi synteza skrobi asymilacyjnej.
- **Przebieg doświadczenia**

  Próba badawcza: Liście pelargonii pozbawione skrobi asymilacyjnej osłonięte czarną, papierową, nieprzepuszczalną dla światła torebką, umieszczone w świetle.

  Próba kontrolna: Liście pelargonii pozbawione skrobi asymilacyjnej umieszczone w świetle.

  Przygotuj pięć doniczek z pelargoniami i wstaw je na dwa dni do ciemnego pomieszczenia. Po upływie wyznaczonego czasu jeden z liści każdej pelargonii osłoń czarną, papierową, nieprzepuszczalną dla światła torebką. Następnie postaw rośliny w silnym świetle. Po upływie około trzech godzin zdejmij torebki i odetnij liście, które były nią okryte. Z każdej rośliny odetnij także po jeszcze jednym dowolnie wybranym liściu. Oba rodzaje liści włóż do oddzielnych zlewek z wrzącą wodą i gotuj przez pięć minut. Następnie przełóż je do zlewek z etanolem, a te z kolei do większych zlewek z wrzącą wodą. Gotuj zawartość zlewek aż do całkowitego odbarwienia się liści. Przenieś liście na szalki Petriego i zalej na kilka minut płynem Lugola.

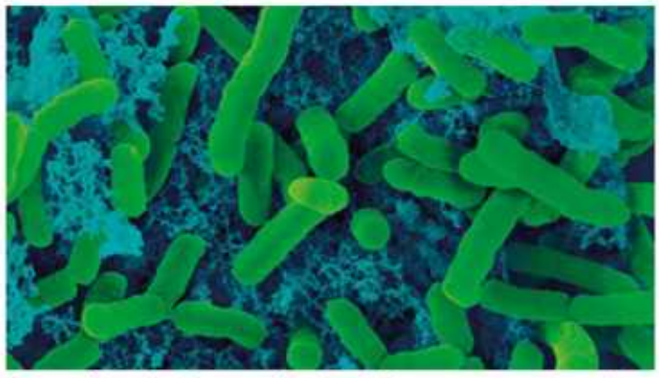


- **Wynik doświadczenia:** Obserwuj liście umieszczone na szalkach z płynem Lugola.
- **Wniosek:** Sformułuj wniosek.
- **Wyjaśnienie:** Efektem fotosyntezy jest synteza skrobi asymilacyjnej zgromadzonej w liściach. Pelargonie rosnące dwa dni w ciemności zużywały cały zapas skrobi asymilacyjnej, a wystawione ponownie na światło zaczynały znowu produkować jej zapas. Liście zasłonięte czarną torebką nie przeprowadzały fotosyntezy i nie produkowały skrobi asymilacyjnej.
  Skrobia asymilacyjna staje się dobrze widoczna po dodaniu płynu Lugola tylko wtedy, gdy z liści zostaną usunięte barwniki asymilacyjne. Dlatego liście gotuje się najpierw w wodzie, a następnie w etanolu.

Dowiedz się więcej

Fotosynteza anoksygeniczna

Fotosynteza anoksygeniczna zachodzi u organizmów, które żyją w środowisku beztlenowym – bakterii zielonych i purpurowych. Bakterie te zasiedlają różne środowiska, m.in. strefy beztlenowe zbiorników wodnych, osady denne lub gorące źródła. Dla większości z nich tlen jest silnie toksyczny, dlatego nie mogą wykorzystywać wody jako źródła elektronów i protonów potrzebnych do przebiegu fazy zależnej od światła. Wykorzystują jednak inne substancje, których rozkład nie powoduje wydzielania tlenu. Najczęściej są to związki siarki.



Barwnikami głównymi bakterii fotosyntetyzujących są bakteriochlorofile.

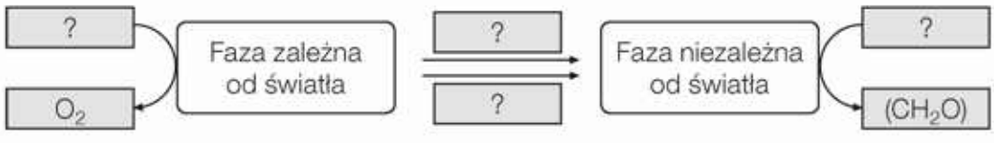
Znaczenie fotosyntezy

W procesie fotosyntezy producenci wytwarzają złożone wysokoenergetyczne **związki organiczne** stanowiące **źródło energii i materiałów budulcowych**. Korzystają z nich zarówno one same, jak i wszystkie heterotrofy (organizmy cudzożywne). Niektóre heterotrofy – konsumenci I-rzędu – korzystają ze związków wytworzonych w procesie fotosyntezy bezpośrednio, poprzez spożywanie roślin lub ich części. Inne – konsumenci II-rzędu i wyższych rzędów – korzystają z nich w sposób pośredni – spożywają zwierzęta roślinożerne lub zwierzęta mięsożerne. Na lądach głównymi producentami materii organicznej są rośliny naczyniowe. W zbiornikach wodnych funkcję tę pełni przede wszystkim fitoplankton, czyli mikroskopijne, fotosyntetyzujące organizmy, które dryfują swobodnie w toni wodnej. W skład fitoplanktonu wchodzą rośliny pierwotnie wodne, protisty roślinopodobne i niektóre bakterie (głównie sinice).

Fotosynteza jest jedynym naturalnym **źródłem tlenu** na Ziemi. Wytwarzany przez organizmy fotosyntetyzujące tlen przechodzi do atmosfery, skąd pobierają go wszystkie organizmy oddychające tlenowo.

Polecenia kontrolne

1. Porównaj fotosyntezę oksygeniczną z fotosyntezą anoksygeniczną.
2. Określ funkcję wody w przebiegu fazy fotosyntezy zależnej od światła.
3. Wymień substraty i produkty obu faz fotosyntezy: zależnej i niezależnej od światła.
4. Z poniższych zdań wybierz zdanie fałszywe.
   a. Światło jest potrzebne do wybicia elektronów z cząsteczek chlorofilu a oraz do ich transportu przez łańcuch przenośników elektronów.
   b. Etap karboksylacji polega na przyłączeniu CO_2 do RuBP.
   c. RuBP jest zarówno substratem, jak i produktem cyklu Calvina.
5. Wykaż związek między zależną a niezależną od światła fazą fotosyntezy.
6. Uzupełnij schemat. Wpisz w odpowiednie miejsca wzory chemiczne lub skróty nazw brakujących substancji.



4.5. Autotroficzne odżywianie się organizmów – chemosynteza

Zwróć uwagę na:
- przebieg chemosyntezy,
- znaczenie chemosyntezy.

Chemosynteza to drugi obok fotosyntezy sposób autotroficznego odżywiania się organizmów. Zachodzi ona u grupy bakterii (bakterii chemosyntetyzujących), które czerpią energię potrzebną do asymilacji dwutlenku węgla z utleniania prostych substancji nieorganicznych lub rzadziej jednowęglowych związków organicznych. Do bakterii chemosyntetyzujących zaliczamy m.in. bakterie nitryfikacyjne, które utleniają związki azotu, oraz bakterie siarkowe, które utleniają siarkę lub siarkowodór.

Przebieg chemosyntezy

Chemosynteza przebiega w dwóch etapach:

- etap 1. polega na utlenianiu prostych substancji chemicznych. Umożliwia on wytwarzanie siły asymilacyjnej (ATP i NADH lub ATP i NADPH) przy wykorzystaniu energii uwalnianej podczas reakcji utleniania;
- etap 2. polega na redukcji dwutlenku węgla do związków organicznych przy wykorzystaniu siły asymilacyjnej pochodzącej z pierwszego etapu chemosyntezy. Etap ten przebiega w sposób podobny do fazy fotosyntezy niezależnej od światła, czyli cyklu Calvina.

Bakterie nitryfikacyjne

Bakterie nitryfikacyjne z rodzajów *Nitrosomonas* i *Nitrobacter* zasiedlają glebę oraz zbiorniki wodne. W pierwszym etapie chemosyntezy utleniają one związki azotu obecne w środowisku.

- Bakterie z rodzaju *Nitrosomonas* utleniają amoniak do azotanu(III), zgodnie z równaniem reakcji chemicznej:

$$2\,NH_3 + 3\,O_2 \rightarrow 2\,HNO_2 + 2\,H_2O + \text{energia chemiczna}$$

- Z kolei azotan(III), wytworzony przez bakterie rodzaju *Nitrosomonas*, jest wykorzystywany przez bakterie z rodzaju *Nitrobacter*, które utleniają go do azotanu(V), zgodnie z równaniem reakcji chemicznej:

$$2\,HNO_2 + O_2 \rightarrow 2\,HNO_3 + \text{energia chemiczna}$$

Drugi etap chemosyntezy zachodzi tak samo u obu grup bakterii:

$$6\,CO_2 + 6\,H_2O \xrightarrow{\text{energia chemiczna}} C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2$$

Bakterie z rodzaju *Nitrobacter* są zależne metabolicznie od bakterii z rodzaju *Nitrosomonas*, dlatego obie grupy organizmów występują w tym samym środowisku.

Bakterie nitryfikacyjne biorą udział w krążeniu azotu w przyrodzie. Odgrywają również ważną rolę w rolnictwie, ponieważ przekształcają amoniak w łatwo przyswajalne dla roślin jony azotanowe(V).



Bakterie z rodzaju *Nitrobacter* (obraz spod TEM, barwiony komputerowo).

Życie w pobliżu kominów hydrotermalnych

Kominy hydrotermalne to miejsca w dnie oceanicznym, na głębokości 1500–4000 m, z których pod dużym ciśnieniem wydobywa się woda o temperaturze 300–400°C, zawierająca gazy wulkaniczne. W sąsiedztwie kominów hydrotermalnych wartość pH wody wynosi 2,8, a w jej skład wchodzą siarczki i siarczany takich metali, jak: cynk, ołów, miedź, żelazo i wapń oraz siarkowodór. Nawet w tak ekstremalnych warunkach istnieje życie, a jego podstawę stanowią chemosyntetyzujące bakterie siarkowe. Stanowią one bazę pokarmową dla licznych zwierząt, m.in. małży, ślimaków, krabów i rurkoczułkowców. Niektóre z tych zwierząt, np. małże i ślimaki, mogą wchodzić z bakteriami siarkowymi w związki symbiotyczne.



Znaczenie chemosyntezy

Chemosynteza ma niewielkie znaczenie w produkcji materii organicznej. Tylko ekosystemy pozbawione dostępu do światła, np. jaskinie lub głębsze strefy zbiorników wodnych, bazują na związkach organicznych wytworzonych przez baterie chemosyntetyzujące. Proces ten ma jednak ogromne znaczenie w **usuwaniu ze środowiska związków toksycznych dla innych organizmów**, np. bakterie siarkowe z rodzaju *Beggiatoa* przekształcają toksyczny siarkowodór w nietoksyczną siarkę pierwiastkową. Bakterie chemosyntetyzujące **uczestniczą również w krążeniu pierwiastków w przyrodzie**. Na przykład bakterie nitryfikacyjne przekształcają amoniak w łatwo przyswajalne dla roślin jony azotanowe(V), a bakterie siarkowe z rodzaju *Thiobacillus* – siarkę pierwiastkową w łatwo przyswajalne dla roślin jony siarczanowe(VI).

Polecenia kontrolne

1. Opisz, jak przebiegają etapy chemosyntezy.
2. Uzupełnij tabelę. Wpisz w puste miejsca brakujące informacje.

Porównywana cecha	Fotosynteza	Chemosynteza
Źródło energii do asymilacji CO_2	?	?
Znaczenie procesu dla organizmu	?	?
Znaczenie procesu w przyrodzie	?	?

3. Określ znaczenie chemosyntezy w ekosystemach kominów hydrotermalnych.

4.6. Oddychanie komórkowe. Oddychanie tlenowe

Zwróć uwagę na:
- przebieg oddychania tlenowego,
- mechanizm fosforylacji substratowej i oksydacyjnej.

Oddychanie komórkowe jest podstawowym procesem dostarczającym komórkom energii. W jego trakcie złożone związki organiczne są rozkładane i utleniane do związków prostszych, czemu towarzyszy **uwolnienie energii**. Jest to więc **proces kataboliczny**. Część uwolnionej w trakcie oddychania energii rozprasza się w postaci ciepła, a część zostaje związana w cząsteczkach związków wysokoenergetycznych, głównie w **ATP**. ATP musi być stale wytwarzany, ponieważ czerpana z niego energia jest nieustannie zużywana na czynności życiowe. Substratem oddychania komórkowego jest zwykle **glukoza**. Rzadziej utleniane są **tłuszcze**, a w szczególnych wypadkach – np. podczas intensywnego wysiłku lub głodu – **białka**.

Rodzaje oddychania komórkowego

Najczęstszym rodzajem oddychania komórkowego jest **oddychanie tlenowe**, ponieważ w jego wyniku komórki uzyskują najwięcej energii chemicznej w postaci ATP. Organizmy, które żyją w środowisku tlenowym i oddychają z udziałem tlenu, nazywamy **tlenowcami** (aerobami). Oddychanie może również zachodzić bez udziału tlenu, ale wówczas jest mniej wydajne energetycznie. Do procesów oddechowych zachodzących bez udziału tlenu zaliczamy **fermentację** oraz **oddychanie beztlenowe**. Organizmy, które żyją w środowisku beztlenowym i oddychają wyłącznie bez udziału tlenu, noszą nazwę **bezwzględnych beztlenowców** (obligatoryjnych anaerobów). Istnieją również organizmy, które w zależności od warunków środowiska potrafią oddychać zarówno tlenowo, jak i bez udziału tlenu. Nazywamy je **względnymi beztlenowcami** (fakultatywnymi anaerobami).



Uwaga! Wielu naukowców traktuje fermentację jako alternatywną do oddychania drogę uzyskiwania energii przez komórkę. Zgodnie z tym założeniem do oddychania komórkowego należą tylko oddychanie tlenowe i beztlenowe.

Oddychanie tlenowe

Oddychanie tlenowe zachodzi u większości organizmów eukariotycznych oraz u niektórych prokariotycznych (tlenowych bakterii). W komórce eukariotycznej etapy oddychania wymagające udziału tlenu odbywają się w **mitochondriach**, a w komórce prokariotycznej – głównie w błonie komórkowej, która tworzy liczne wpuklenia zwiększające jej powierzchnię.

Sumarycznie proces oddychania tlenowego można przedstawić następującym równaniem reakcji chemicznej:

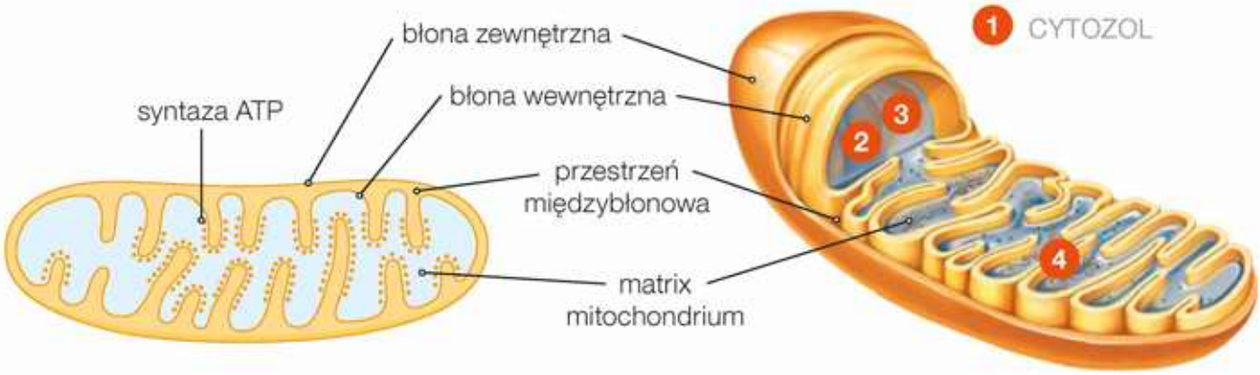
$$C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2 \rightarrow 6\,CO_2 + 6\,H_2O + \text{energia}$$

Reakcja ta jest silnie egzoergiczna, co oznacza, że ilość uwolnionej w niej energii jest bardzo duża. Z tego powodu proces oddychania tlenowego, czyli całkowitego utlenienia glukozy do dwutlenku węgla i wody, przebiega w komórce wieloetapowo, a energia jest uwalniana niewielkimi porcjami. Chroni to struktury komórkowe przed uszkodzeniem.

Etapy oddychania tlenowego i ich lokalizacja w komórce

Oddychanie tlenowe ma cztery główne etapy:

1. **glikolizę**, czyli ciąg reakcji, które zachodzą w cytozolu komórki,
2. **reakcję pomostową**, która przebiega w matrix mitochondrium,
3. **cykl Krebsa**, który zachodzi w matrix mitochondrium,
4. **łańcuch oddechowy**, który zachodzi w wewnętrznej błonie mitochondrium.



Glikoliza

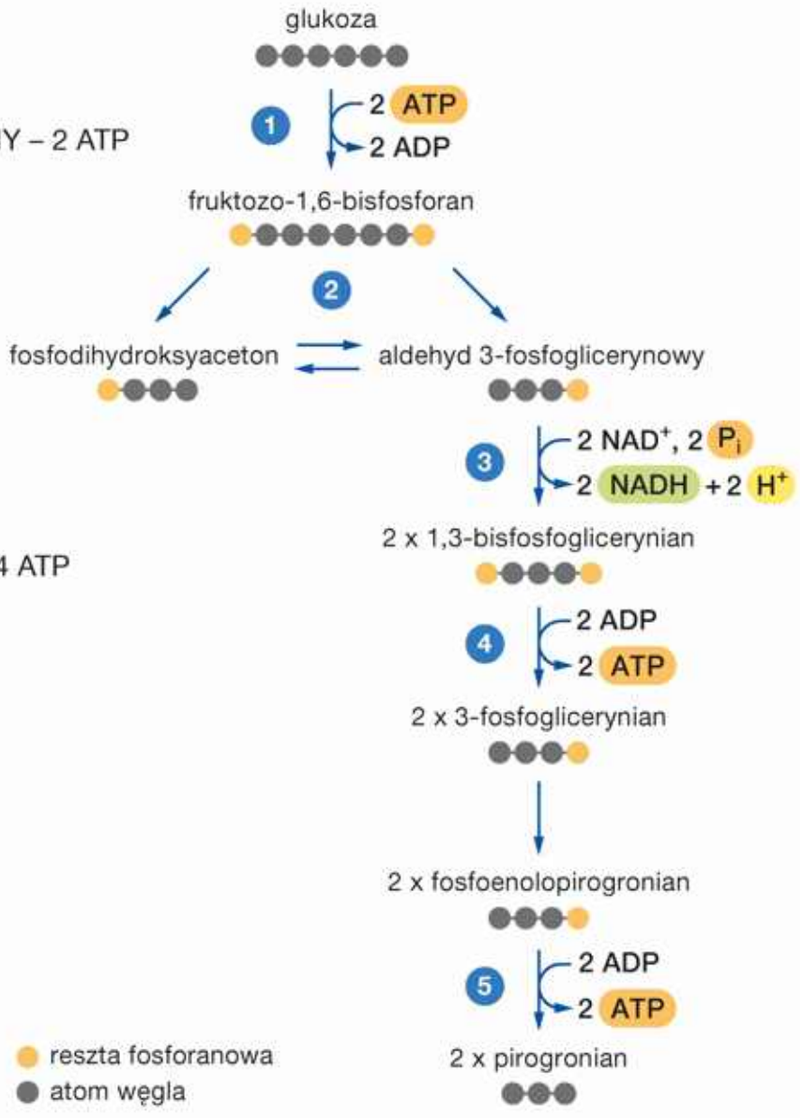
Glikoliza jest liniowym szlakiem metabolicznym, w którym jedna cząsteczka **glukozy** ulega rozkładowi i utlenieniu do dwóch cząsteczek **pirogronianu**. W trakcie tego procesu są również wytwarzane cztery cząsteczki **ATP**, dwie cząsteczki **NADH** i dwa **protony** (H^+).

Przebieg glikolizy (schemat ilustrujący przebieg glikolizy znajduje się na następnej stronie):

1. najpierw następuje aktywacja glukozy przez fosforylację, czyli przeniesienie na glukozę reszt fosforanowych z dwóch cząsteczek ATP. W wyniku tej reakcji powstaje sześciowęglowy cukier – fruktozo-1,6-bisfosforan, który zawiera dwie reszty fosforanowe;
2. następnie fruktozo-1,6-bisfosforan zostaje rozłożony do dwóch trójwęglowych cukrów, z których każdy zawiera jedną resztę fosforanową. Jeden z nich – aldehyd 3-fosfoglicerynowy – ulega od razu dalszym przemianom, natomiast drugi – fosfodihydroksyaceton – ulega przemianom dopiero po przekształceniu w aldehyd 3-fosfoglicerynowy;
3. w kolejnym etapie następują utlenienie i fosforylacja aldehydu 3-fosfoglicerynowego do 1,3-bisfosfoglicerynianu. Jednocześnie NAD^+ ulega redukcji do NADH i uwalnia się proton (H^+);
4. następnie zachodzi fosforylacja substratowa, w której wyniku zostaje wytworzony ATP. Polega ona na odłączeniu reszty fosforanowej (–P) od organicznego substratu – 1,3-bisfosfoglicerynianu – i przyłączeniu jej do ADP. W wyniku tej reakcji poza ATP powstaje również 3-fosfoglicerynian, który ulega przekształceniu w fosfoenolopirogronian;
5. na koniec następuje kolejna fosforylacja substratowa, która polega na odłączeniu reszty fosforanowej (–P) od fosfoenolopirogronianu i przyłączeniu jej do ADP. W wyniku tej reakcji oprócz ATP powstaje również pirogronian.

Podczas obu fosforylacji substratowych powstają cztery cząsteczki ATP. Zysk energetyczny glikolizy wynosi więc dwie cząsteczki ATP, ponieważ dwie zostały zużyte do aktywacji glukozy. Produktami glikolizy są również dwie cząsteczki pirogronianu i NADH. Pirogronian jest transportowany do mitochondrium, gdzie ulega dalszemu utlenianiu, a elektrony odebrane z NADH są przenoszone na łańcuch oddechowy.

Przebieg glikolizy



Równanie ogólne fosforylacji substratowej:

substrat wysokoenergetyczny + ADP → produkt niskoenergetyczny + ATP

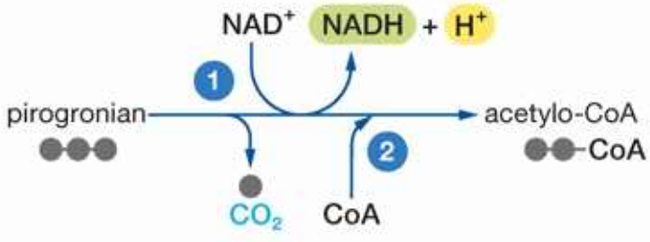
Reakcja pomostowa

Pirogronian, który powstał w procesie glikolizy, zostaje przetransportowany do mitochondrium. Tam, w warunkach tlenowych, zachodzi **reakcja pomostowa**, która polega na przekształceniu **pirogronianu** w **acetylo-CoA** (acetylokoenzym A). Związek ten w następnym etapie oddychania jest włączany do cyklu Krebsa. Podczas reakcji pomostowej powstają również **NADH** i **proton** (H^+). Są one wykorzystywane w łańcuchu oddechowym jako siła napędowa do wydajnej syntezy ATP. Natomiast produkt uboczny reakcji – CO_2 jest usuwany do środowiska.

Reakcja pomostowa obejmuje:

1. dekarboksylację i utlenienie pirogronianu, w efekcie czego powstają: dwuwęglowa grupa acetylowa oraz CO_2. Jednocześnie podczas utlenienia pirogronianu zachodzi redukcja NAD^+ do NADH, a także uwolnienie protonu (H^+);
2. przyłączenie grupy acetylowej do koenzymu A (CoA), w efekcie czego powstaje aktywna cząsteczka acetylo-CoA.

Przebieg reakcji pomostowej

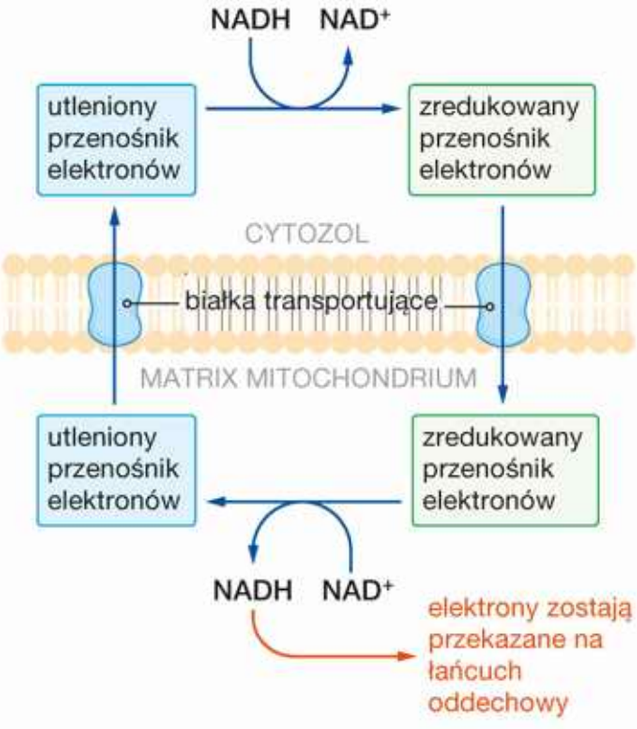


Dowiedz się więcej

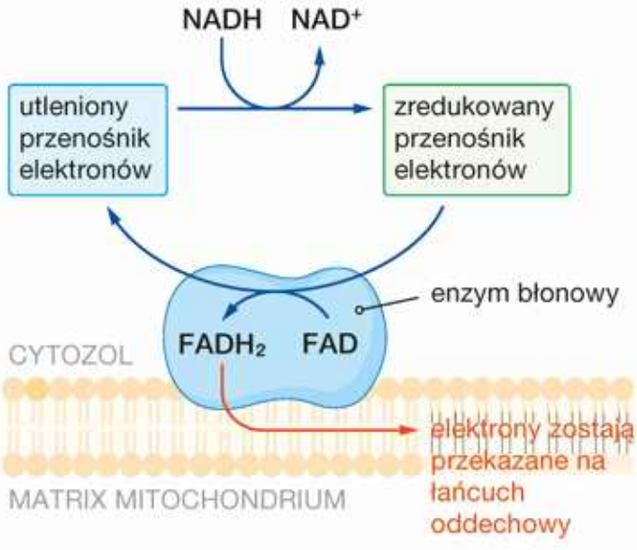
Regeneracja NAD^+ potrzebnego do glikolizy

Glikoliza może zachodzić tylko wtedy, gdy w cytozolu znajduje się utleniona forma NAD^+. W trakcie glikolizy forma ta ulega redukcji do NADH. Aby glikoliza mogła zajść w komórce ponownie, niezbędna jest więc regeneracja NAD^+. W komórkach oddychających tlenowo może ona nastąpić wyłącznie z udziałem łańcucha oddechowego, który odbiera elektrony od NADH i przekazuje je na O_2. Jednak NADH wytworzony podczas glikolizy nie może zostać przetransportowany z cytozolu do mitochondrium, ponieważ wewnętrzna błona mitochondrium jest dla niego całkowicie nieprzepuszczalna. Dlatego komórki wytworzyły mechanizmy, które pozwalają przenieść elektrony z nukleotydu na tlen mimo bariery w postaci wewnętrznej błony mitochondrium. W mechanizmach tych biorą udział specjalne przenośniki, które odbierają elektrony z NADH i transportują je do mitochondriów.

Mechanizm 1



Mechanizm 2



W mechanizmie 1. przenośnik odbiera dwa elektrony z NADH po stronie cytozolowej i przenosi je do wnętrza mitochondrium. Tym samym następuje regeneracja NAD^+, który może uczestniczyć w następnej glikolizie. Elektrony przeniesione do mitochondrium są przyłączane do NAD^+ obecnego w matrix, a następnie zostają przekazane na łańcuch oddechowy. Taki mechanizm zachodzi m.in. w komórkach mięśnia sercowego.

W mechanizmie 2. przenośnik odbiera dwa elektrony z NADH po stronie cytozolowej i przenosi je na FAD. W ten sposób następuje regeneracja NAD^+, który może uczestniczyć w następnej glikolizie. Zredukowany $FADH_2$ oddaje elektrony bezpośrednio na jeden z przenośników łańcucha oddechowego. Taki mechanizm zachodzi m.in. w komórkach mięśni szkieletowych.

Uwaga! W procesach beztlenowego uzyskiwania energii regeneracja cytozolowego NAD^+ odbywa się bez udziału tlenu. Dlatego glikoliza może zachodzić zarówno w warunkach tlenowych, jak i beztlenowych.

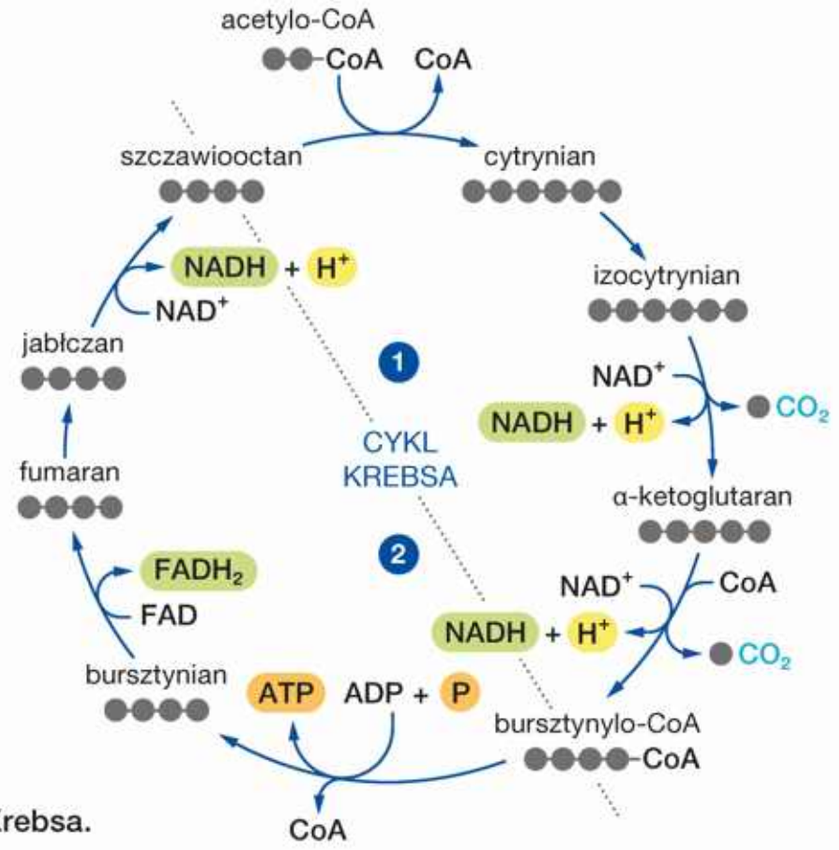
Cykl Krebsa

Kolejnym etapem oddychania tlenowego jest cykl Krebsa (cykl kwasu cytrynowego). Jego zysk energetyczny jest niewielki – zaledwie dwie cząsteczki **ATP** w przeliczeniu na jedną cząsteczkę glukozy. W cyklu tym zachodzą jednak liczne reakcje utlenienia i redukcji, w których wyniku powstają cząsteczki zredukowanych nukleotydów – **NADH** i **$FADH_2$** – oraz **protony** (H^+). Są one wykorzystywane w łańcuchu oddechowym jako siła napędowa do wydajnej syntezy ATP.

Cykl Krebsa składa się z dwóch części:

1. w pierwszej części dwuwęglowa grupa acetylowa zostaje odłączona od acetylo-CoA i przyłączona do czterowęglowego szczawiooctanu. Powstaje wówczas sześciowęglowy cytrynian. Następnie grupa ta zostaje całkowicie utleniona do dwóch cząsteczek CO_2, z jednoczesną redukcją dwóch cząsteczek NAD^+ do NADH i uwolnieniem dwóch protonów (H^+). W efekcie tych reakcji powstaje czterowęglowy bursztynylo-CoA. Wytworzone cząsteczki CO_2 są usuwane do środowiska;
2. w drugiej części czterowęglowy bursztynylo-CoA ulega dalszym przemianom, w wyniku których jest odtwarzany szczawiooctan niezbędny do zajścia kolejnego obiegu cyklu Krebsa. Przemiany te obejmują pojedynczą fosforylację substratową oraz dwie reakcje utlenienia. Utlenieniu towarzyszy redukcja FAD do $FADH_2$ i NAD^+ do NADH oraz uwolnienie protonów (H^+).

Zarówno reakcja pomostowa, jak i kolejne przemiany cyklu Krebsa są reakcjami utlenienia-redukcji, czyli zachodzą z wymianą elektronów. Utlenieniu ulegają wówczas kolejne substraty organiczne, które oddają swoje elektrony na cząsteczki NAD^+ lub FAD. Te z kolei przyjmują elektrony i redukują się do NADH lub $FADH_2$. Wynika z tego, że warunkiem zajścia procesów utlenienia, czyli oddania elektronów, jest obecność związków, które te elektrony przyjmą – NAD^+ lub FAD. W jaki sposób następuje regeneracja utlenionych form nukleotydów niezbędnych do ponownego zajścia reakcji pomostowej i cyklu Krebsa? Odbywa się ona przez przekazanie elektronów i protonów z form zredukowanych na tlen. Brak tlenu uniemożliwia odtwarzanie NAD^+ i FAD, co skutkuje przerwaniem ciągłości oddychania i śmiercią komórki.



Przebieg cyklu Krebsa.

Łańcuch oddechowy z fosforylacją oksydacyjną

W łańcuchu oddechowym zredukowane nukleotydy – NADH oraz $FADH_2$, które powstały w poprzednich etapach oddychania, są utleniane, a uwolniona energia zostaje wykorzystana do syntezy ATP. Czym jest sam łańcuch oddechowy?

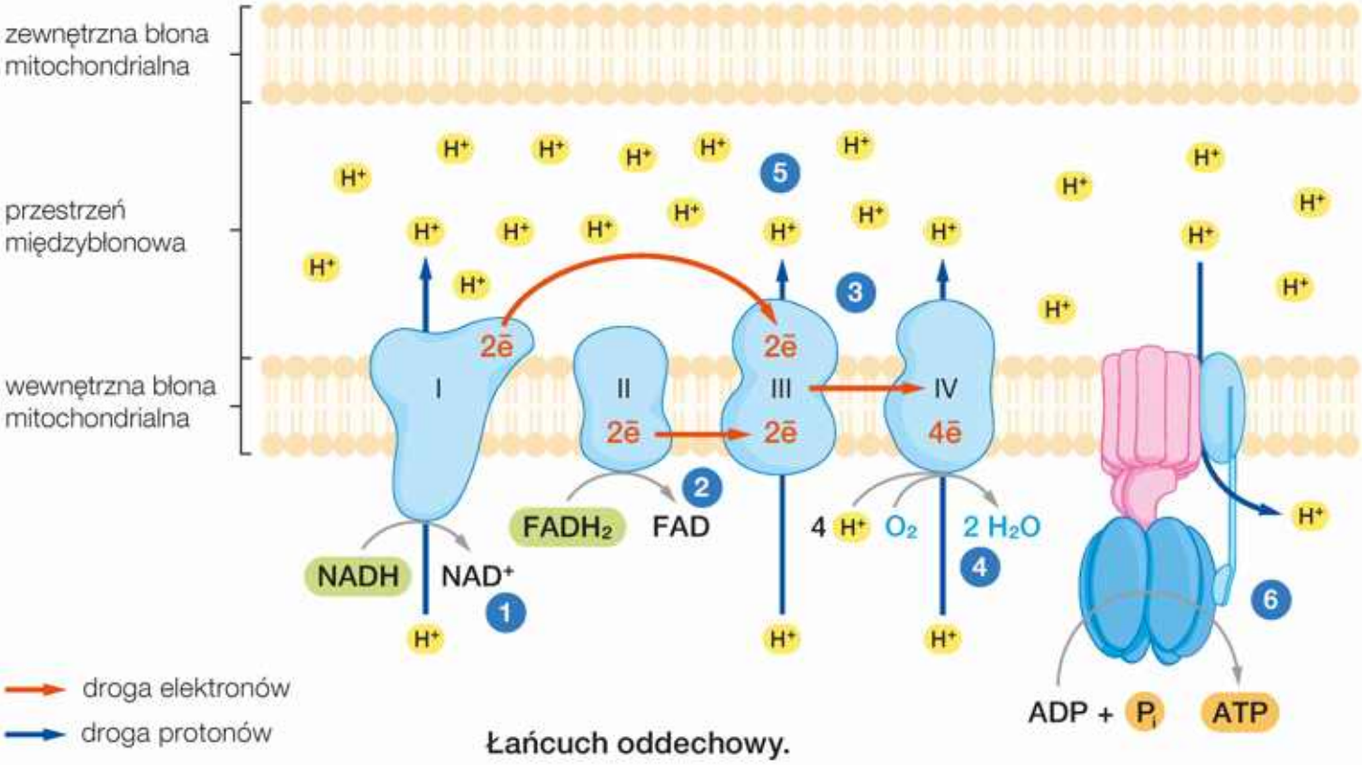
Łańcuch oddechowy tworzą cztery duże **kompleksy białkowe** (I, II, III i IV) zlokalizowane w wewnętrznej błonie mitochondrium. Wszystkie są **przenośnikami elektronów**, a kompleksy I, III i IV mają również zdolność **transportu protonów** z matrix mitochondrium do przestrzeni międzybłonowej. Kolejne przenośniki elektronów są uszeregowane w błonie według wzrastającego **potencjału redoks**.

W łańcuchu oddechowym zachodzą następujące procesy:

1. kompleks I odbiera dwa elektrony od NADH;
2. kompleks II odbiera dwa elektrony od $FADH_2$;
3. kompleks III odbiera cztery elektrony od kompleksów I i II, a następnie przekazuje je na kompleks IV;
4. z kompleksu IV elektrony są przekazywane na tlen, który przyjmuje protony i redukuje się do wody. Woda jest usuwana do środowiska lub wykorzystywana przez organizm;
5. energia elektronów przekazywanych przez kolejne przenośniki łańcucha oddechowego jest wykorzystywana do **aktywnego transportu** protonów z matrix mitochondrium do przestrzeni międzybłonowej. Pochodzą one m.in. z reakcji pomostowej, przemian cyklu Krebsa i utleniania zredukowanych nukleotydów – NADH i $FADH_2$. Wskutek tego zostaje wytworzony gradient protonowy;
6. gradient protonowy jest siłą napędową fosforylacji ADP do ATP z udziałem syntazy ATP. Fosforylację, która zachodzi w łańcuchu oddechowym, nazywamy **fosforylacją oksydacyjną**, ponieważ źródłem energii do syntezy ATP są elektrony redukujące tlen.

Równanie fosforylacji oksydacyjnej:

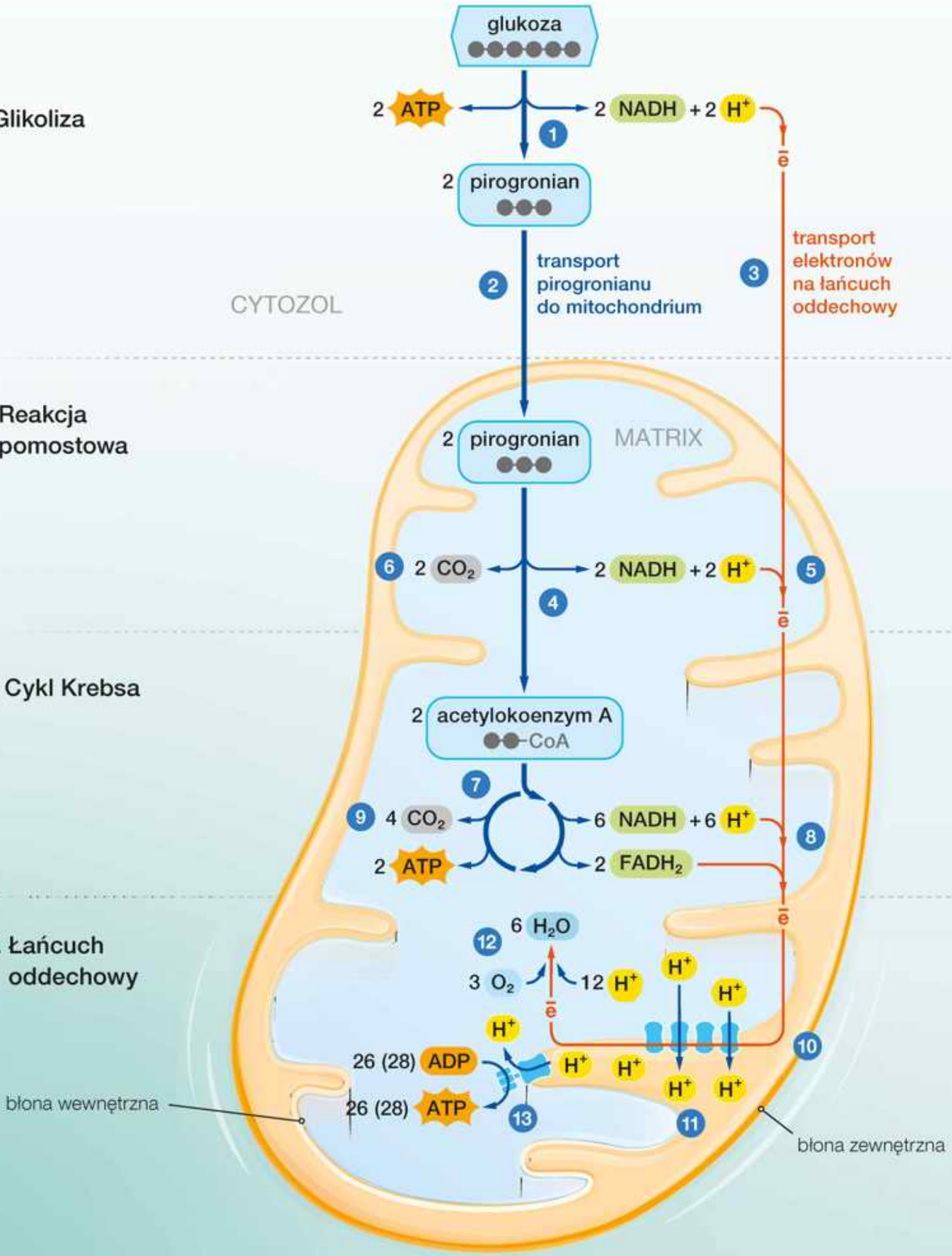
$$ADP + P_i + NADH + H^+ + FADH_2 + O_2 \rightarrow ATP + NAD^+ + FAD + 2\,H_2O$$

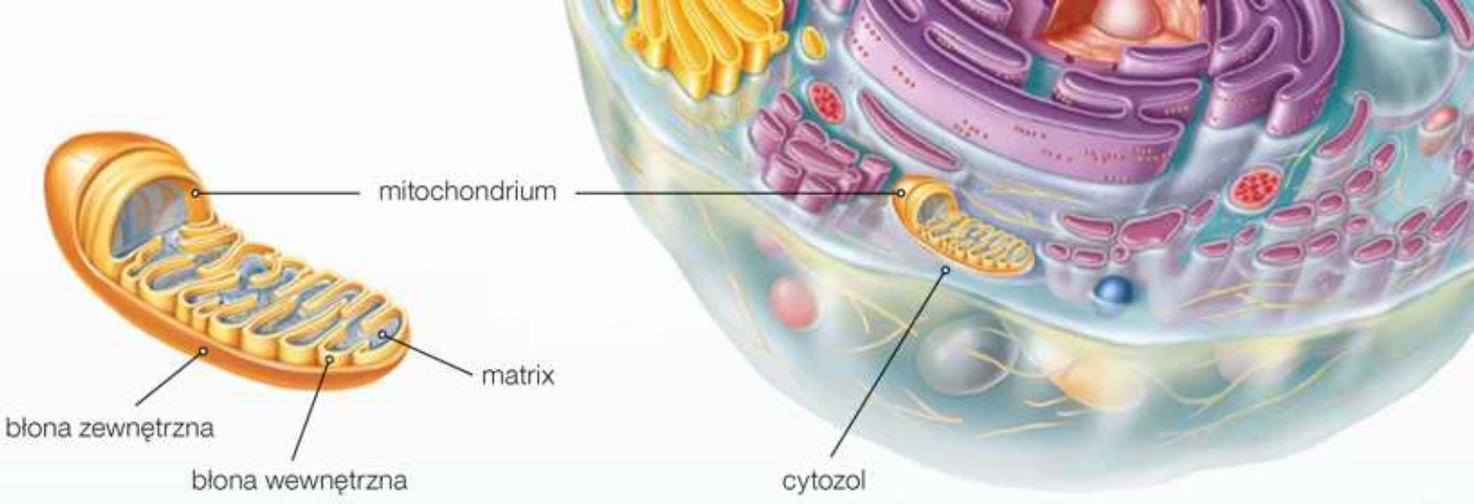


Łańcuch oddechowy.

Przebieg oddychania tlenowego

Oddychanie tlenowe jest to proces uwalniania energii w wyniku rozkładu związków organicznych do dwutlenku węgla i wody.





Komórka zwierzęca.

I. Glikoliza

1. Glikoliza polega na rozkładzie i utlenieniu jednej cząsteczki glukozy do dwóch cząsteczek pirogronianu. W trakcie tego procesu powstają również 2 cząsteczki NADH, 2 protony (H^+) i 4 cząsteczki ATP, z których 2 stanowią zysk energetyczny procesu.
2. Po glikolizie pirogronian zostaje przetransportowany do mitochondrium.
3. Z cząsteczek NADH zostają odłączone elektrony, które również wędrują do wnętrza mitochondrium, gdzie są przekazywane na łańcuch oddechowy.

II. Reakcja pomostowa

4. Reakcja pomostowa polega na przekształceniu pirogronianu w acetylo-CoA. W przeliczeniu na jedną cząsteczkę glukozy w wyniku reakcji pomostowej powstają: 2 cząsteczki acetylo-CoA, 2 cząsteczki NADH, 2 cząsteczki CO_2 oraz 2 protony.
5. Elektrony ze zredukowanych nukleotydów są przenoszone na łańcuch oddechowy.
6. CO_2 jest usuwany do środowiska.

III. Cykl Krebsa

7. Cząsteczki acetylo-CoA są włączane do cyklu Krebsa. W jego wyniku z dwóch cząsteczek acetylo-CoA powstają: 2 cząsteczki ATP, 6 cząsteczek NADH, 2 cząsteczki $FADH_2$ i 4 cząsteczki CO_2. Oprócz tego do matrix mitochondrium są uwalniane protony.
8. Elektrony ze zredukowanych nukleotydów są przenoszone na łańcuch oddechowy.
9. CO_2 jest usuwany do środowiska.

IV. Łańcuch oddechowy

10. Elektrony pochodzące z utlenienia zredukowanych nukleotydów, wytworzonych podczas glikolizy, reakcji pomostowej i cyklu Krebsa, są przekazywane na przenośniki łańcucha oddechowego.
11. Energia elektronów przekazywanych przez kolejne przenośniki łańcucha oddechowego jest wykorzystywana do transportu protonów z matrix mitochondrium do przestrzeni międzybłonowej. Wskutek tego zostaje wytworzony gradient protonowy.
12. Ostatecznym biorcą elektronów jest tlen, który przyjmuje dwa H^+ i ulega redukcji do wody.
13. Gradient protonowy jest siłą napędową fosforylacji ADP do ATP.

Doświadczenie – jak to odkryto?

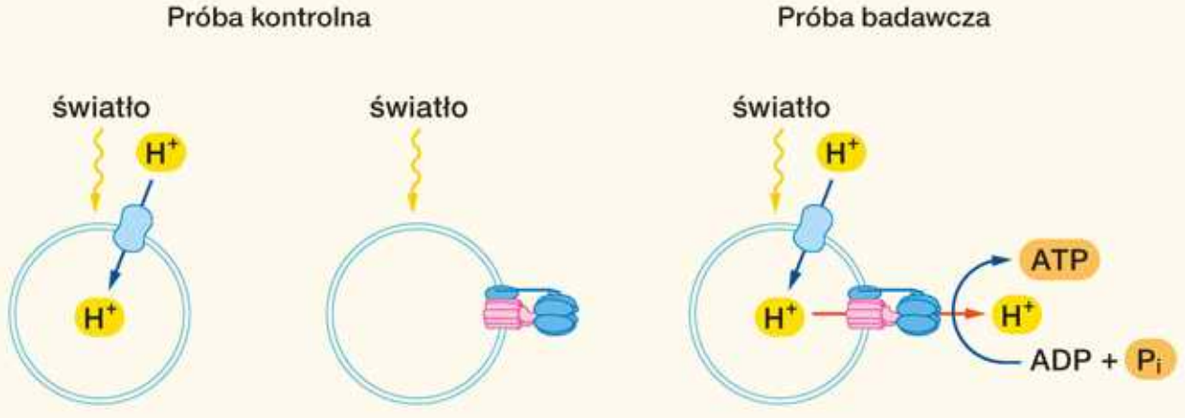
Odkrywanie mechanizmu fosforylacji oksydacyjnej

W 1961 r. Peter Mitchell [wym. Piter Miczel] sformułował hipotezę chemiosmotyczną, zgodnie z którą transport elektronów przez kolejne przenośniki łańcucha oddechowego miałby generować gradient protonowy wykorzystywany do syntezy ATP. Jednym z klasycznych doświadczeń potwierdzających tę hipotezę jest doświadczenie Efraima Rackera [wym. Efrajma Rakera] i Walthera Stoeckeniusa [wym. Łoltera Stokeniusa] z 1974 r. Badacze ci stworzyli sztuczny układ przekształcający energię.

Użyli do tego:
- liposomów – zamkniętych, fosfolipidowych pęcherzyków,
- bakteriorodopsyny – bakteryjnego białka błonowego, które ma zdolność transportu protonów pod wpływem światła,
- syntazy ATP wyizolowanej z serca wołu.

- **Problem badawczy:** Czy gradient protonowy jest siłą napędową syntezy ATP?
- **Hipoteza:** Gradient protonowy jest siłą napędową syntezy ATP.
- **Przebieg doświadczenia**

  Naukowcy skonstruowali trzy rodzaje pęcherzyków: pęcherzyki zawierające w błonie wyłącznie bakteriorodopsynę, pęcherzyki zawierające w błonie wyłącznie syntazę ATP oraz pęcherzyki zawierające w błonie zarówno bakteriorodopsynę, jak i syntazę ATP. Następnie wszystkie trzy rodzaje pęcherzyków oświetlali światłem słonecznym.



Transport protonów do wnętrza liposomu przez bakteriorodopsynę powoduje wytworzenie gradientu protonowego, jednak, wskutek braku syntazy ATP, ATP nie jest wytwarzany.

Brak bakteriorodopsyny w liposomie powoduje, że gradient protonowy nie jest wytwarzany. Dlatego, mimo obecności syntazy ATP, synteza ATP nie zachodzi.

Transport protonów do wnętrza liposomu przez bakteriorodopsynę powoduje wytworzenie gradientu protonowego, który jest wykorzystywany przez syntazę ATP do syntezy ATP.

- **Wynik doświadczenia:** W pęcherzykach zawierających wyłącznie bakteriorodopsynę lub wyłącznie syntazę ATP nie zaszła synteza ATP. W pęcherzyku zawierającym zarówno bakteriorodopsynę, jak i syntazę ATP zaszła synteza ATP.
- **Wniosek:** Gradient protonowy generowany przez bakteriorodopsynę jest siłą napędową syntezy ATP przez syntazę ATP.

Bilans energetyczny oddychania tlenowego

Całkowite utlenienie jednej cząsteczki glukozy prowadzi do uwolnienia znacznej ilości energii. Około 40% tej energii zostaje zmagazynowane w **32** lub **30 cząsteczkach ATP**. Pozostała część rozprasza się w postaci **ciepła**, które zostaje wykorzystane do ogrzania organizmu. Aby obliczyć, ile cząsteczek ATP jest syntetyzowanych podczas utlenienia jednej cząsteczki glukozy, należy uwzględnić wszystkie etapy oddychania tlenowego poprzedzające łańcuch oddechowy. Trzeba również pamiętać, że reakcja pomostowa oraz cykl Krebsa zachodzą dwukrotnie.

Podczas glikolizy powstają 4 cząsteczki ATP. Kolejne 2 cząsteczki ATP powstają w cyklu Krebsa. Bardzo zasobne w energię są też NADH i $FADH_2$, pochodzące z trzech pierwszych etapów oddychania tlenowego. Zawarta w nich energia zostaje stopniowo uwolniona podczas transportu elektronów w łańcuchu oddechowym i służy do syntezy ATP.

Podczas trzech pierwszych etapów oddychania tlenowego powstaje w sumie 10 cząsteczek NADH (2 z glikolizy, 2 z reakcji pomostowej, 6 z cyklu Krebsa) i 2 cząsteczki $FADH_2$ (cykl Krebsa).

Z badań wynika, że:

- utlenienie jednej cząsteczki **NADH** daje **2,5 cząsteczki ATP**,
- utlenienie jednej cząsteczki **$FADH_2$** daje **1,5 cząsteczki ATP**.

W łańcuchu oddechowym uzyskujemy łącznie 28 lub 26 cząsteczek ATP. Różnica ta wynika ze sposobu, w jaki elektrony pochodzące z NADH powstałego podczas glikolizy są transportowane do mitochondrium. Jeśli elektrony zostają przeniesione na obecny w mitochondrium NAD^+, zysk wynosi 28 cząsteczek ATP, a jeśli na FAD – 26 cząsteczek ATP (patrz s. 187, *Regeneracja NAD^+ potrzebnego do glikolizy*). Wynika z tego, że podczas przemian jednej cząsteczki glukozy zostają wytworzone 34 lub 32 cząsteczki ATP. Od tego należy odjąć dwie cząsteczki ATP zużywane na aktywację glukozy podczas glikolizy. Zysk energetyczny całego procesu oddychania to zatem 32 cząsteczki lub 30 cząsteczek ATP.

Wpływ wybranych czynników na intensywność oddychania tlenowego

Intensywność oddychania tlenowego ocenia się zwykle na podstawie pomiarów ilości wydzielonego dwutlenku węgla lub zużytego tlenu w przeliczeniu na jednostkę masy oraz na jednostkę czasu. Intensywność oddychania jest zawsze proporcjonalna do zapotrzebowania energetycznego komórki, a więc zależna od **rodzaju organizmu** oraz **typu tkanki**.

Oddychanie tlenowe wymaga obecności enzymów. Z tego powodu czynniki, które mają wpływ na aktywność **enzymów** uczestniczących w poszczególnych reakcjach, pośrednio wpływają też na sam proces. Do czynników wpływających na intensywność oddychania tlenowego należą m.in.:

- **temperatura** – wzrastająca temperatura powoduje wzrost intensywności oddychania. W przedziale wartości 35–40°C oddychanie ma maksymalną intensywność. U większości organizmów po przekroczeniu 40°C ponownie słabnie;
- **stężenie dwutlenku węgla** oraz związane z nim stężenie tlenu – zwiększenie stężenia

Bilans energetyczny utlenienia jednej cząsteczki glukozy w procesie oddychania tlenowego

Etap	Wytworzone cząsteczki ATP	Zużyte cząsteczki ATP	Zysk energetyczny (cząsteczki ATP)
Glikoliza	4	2	2
Reakcja pomostowa	0	0	0
Cykl Krebsa	2	0	2
Łańcuch oddechowy	26–28	0	26–28
Ogółem	32–34	2	30–32

dwutlenku węgla w atmosferze zmniejsza intensywność oddychania tlenowego, co jest związane ze zmniejszeniem stężenia tlenu – jednego z substratów oddychania;

- **zawartość wody w komórkach** – zwiększenie uwodnienia komórek nasila intensywność oddychania.

Badania nad wpływem warunków zewnętrznych na oddychanie tlenowe znalazły zastosowanie m.in. w przemyśle spożywczym. Przykładowo, aby ograniczyć utratę związków organicznych zawartych w warzywach i owocach, w przechowalniach stwarza się specyficzne warunki zmniejszające intensywność oddychania komórkowego. Do najczęściej stosowanych metod należą obniżenie temperatury oraz zmniejszenie zawartości tlenu w otoczeniu. W wypadku nasion stosuje się odpowiednie suszenie. Doprowadza się w ten sposób do zahamowania procesów metabolicznych w komórkach nasion, ale nie pozbawia się ich zdolności kiełkowania.

Doświadczenie

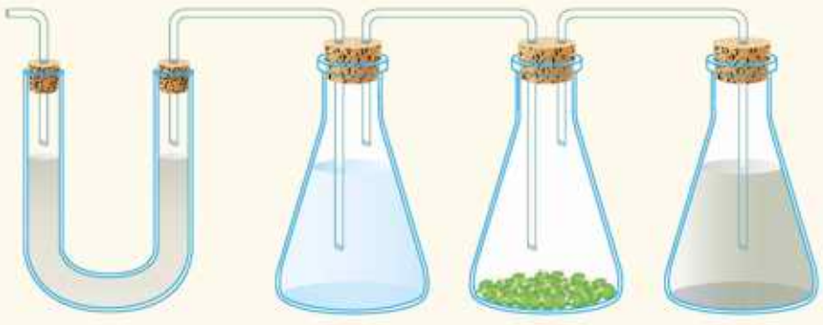
Wydzielanie dwutlenku węgla przez kiełkujące nasiona

- **Problem badawczy:** Czy kiełkujące nasiona wydzielają dwutlenek węgla?
- **Hipoteza:** Kiełkujące nasiona wydzielają dwutlenek węgla.
- **Przebieg doświadczenia**

Próba badawcza: Kolba stożkowa z kiełkującymi nasionami zamknięta korkiem i połączona systemem szklanych rurek z naczyniami zawierającymi wodę wapienną (nasycony roztwór $Ca(OH)_2$) oraz zasadę sodową (roztwór NaOH).

Próba kontrolna: Kolba stożkowa z suchymi nasionami zamknięta korkiem i połączona systemem szklanych rurek z naczyniami zawierającymi wodę wapienną oraz zasadę sodową.

Przygotuj 60 nasion grochu – 30 kiełkujących i 30 suchych. Wsyp kiełkujące nasiona do jednej kolby stożkowej, a suche nasiona do drugiej kolby stożkowej. Oba naczynia szczelnie zamknij korkami. Każdą kolbę połącz szklanymi rurkami z naczyniami zawierającymi wodę wapienną i zasadę sodową, zgodnie z przedstawionym rysunkiem.



- **Wynik doświadczenia:** Zaobserwuj zmiany zachodzące w kolbach z wodą wapienną.
- **Wniosek:** Sformułuj wniosek.
- **Wyjaśnienie**: Wszystkie zasady pochłaniają CO_2 z powietrza. W reakcji $Ca(OH)_2$ z CO_2 powstaje trudno rozpuszczalna sól $CaCO_3$, która powoduje mętnienie wody wapiennej. W U-rurce powietrze zostaje pozbawione CO_2. Przemieszcza się ono do naczynia z wodą wapienną, a następnie przepływa do kolby z nasionami. Jeśli nasiona wydzielają CO_2, w ostatnim naczyniu nastąpi reakcja tego gazu z wodą wapienną.

Doświadczenie

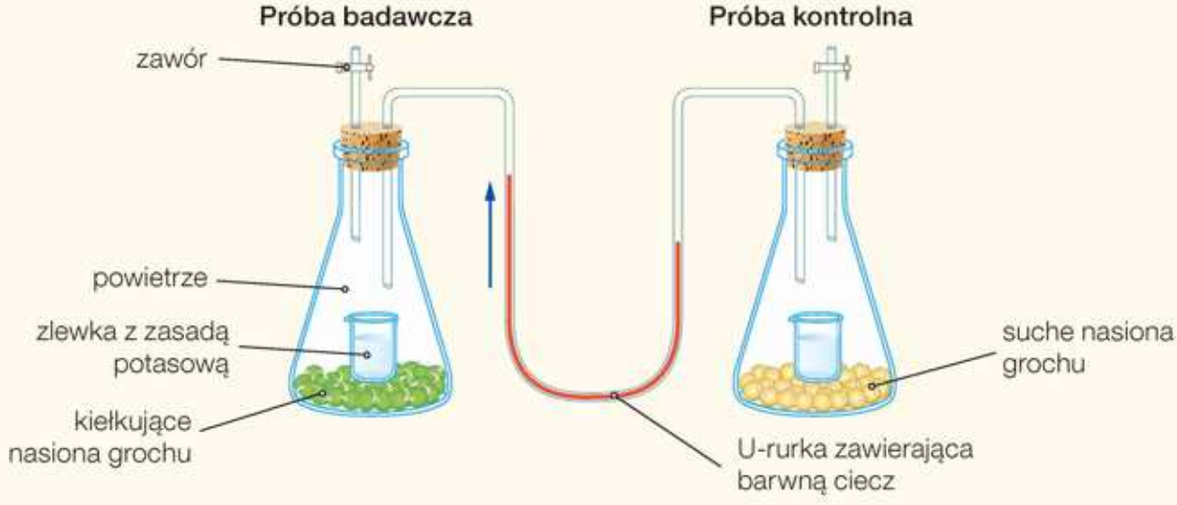
Pochłanianie tlenu przez kiełkujące nasiona

- **Problem badawczy:** Czy kiełkujące nasiona pochłaniają tlen?
- **Hipoteza:** Kiełkujące nasiona pochłaniają tlen.
- **Przebieg doświadczenia**

  Próba badawcza: Kolba stożkowa z kiełkującymi nasionami zamknięta korkiem; na nasionach umieszczona zlewka z zasadą potasową (roztwór KOH).

  Próba kontrolna: Kolba stożkowa z suchymi nasionami zamknięta korkiem; na nasionach umieszczona zlewka z zasadą potasową.

  Przygotuj 60 nasion grochu – 30 kiełkujących i 30 suchych. Przygotuj również zestaw badawczy zgodnie z przedstawionym rysunkiem. Wsyp kiełkujące nasiona do jednej kolby stożkowej, a suche nasiona do drugiej kolby stożkowej. W każdej kolbie postaw na nasionach zlewkę z zasadą potasową. Wyloty kolb zatkaj korkami i umieść w każdym z nich szklaną rurkę z otwartym zaworem. Połącz obie próby z końcami cienkiej szklanej U-rurki zawierającej barwny płyn. Zamknij zawory w rurkach doprowadzających powietrze.



- **Wynik doświadczenia:** Zaobserwuj zmiany zachodzące w U-rurce.
- **Wniosek:** Sformułuj wniosek.
- **Wyjaśnienie:** Zasada potasowa ma zdolność pochłaniania CO_2. W próbie kontrolnej pochłania ona CO_2 zawarty w powietrzu, natomiast w próbie badawczej zarówno CO_2 zawarty w powietrzu, jak i ten, który wydzielił się w wyniku oddychania. Dodatkowo w próbie badawczej kiełkujące nasiona pochłaniają z powietrza tlen. Wskutek pochłaniania dwutlenku węgla i tlenu w próbie badawczej następuje obniżenie ciśnienia w stosunku do próby kontrolnej, co powoduje zasysanie barwnej cieczy znajdującej się w U-rurce.

Polecenia kontrolne

1. Określ znaczenie procesu oddychania komórkowego dla funkcjonowania organizmu.
2. Wyjaśnij, w jaki sposób podczas transportu elektronów w łańcuchu oddechowym powstaje różnica stężeń protonów po obu stronach wewnętrznej błony mitochondrium.
3. Wyjaśnij, dlaczego reakcja pomostowa oraz cykl Krebsa mogą zachodzić wyłącznie w warunkach tlenowych.
4. Podaj dwie różnice między fosforylacją substratową a fosforylacją oksydacyjną.
5. Oblicz całkowity zysk energetyczny cyklu Krebsa.

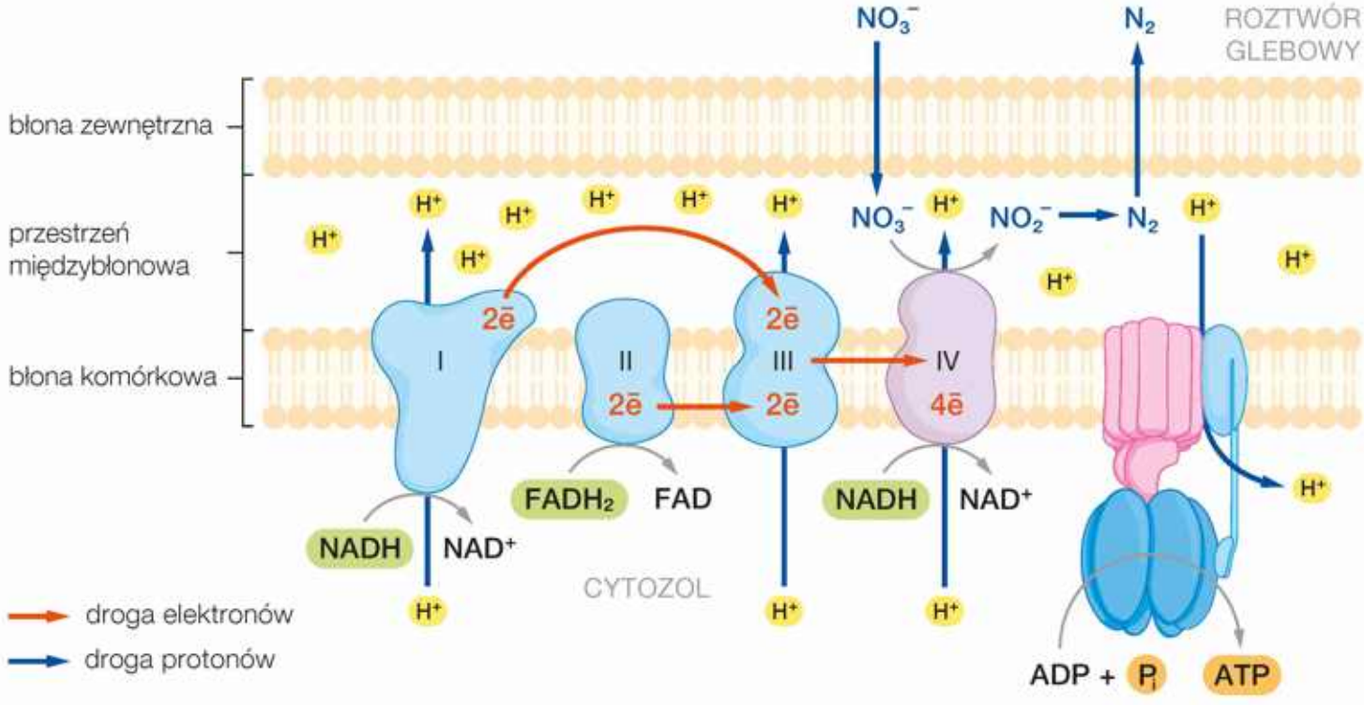
4.7. Procesy beztlenowego uzyskiwania energii

Zwróć uwagę na:
- przebieg oddychania beztlenowego i fermentacji,
- różnice energetyczne między utlenianiem substratu w warunkach tlenowych i beztlenowych.

Wiele organizmów żyje w środowisku beztlenowym. Dla niektórych z nich tlen jest toksyczny, dlatego uzyskują energię wyłącznie w wyniku procesów beztlenowych. Inne w obecności tlenu oddychają tlenowo, a przy jego braku lub niedoborze uzyskują energię w procesach beztlenowych. Beztlenowe procesy uzyskiwania energii zachodzą również w komórkach organizmów tkankowych w sytuacjach braku lub niedoboru tlenu. Do procesów beztlenowego uzyskiwania energii zaliczamy oddychanie beztlenowe i fermentację.

Oddychanie beztlenowe

Oddychanie beztlenowe polega na **całkowitym utlenieniu substratu organicznego** w warunkach beztlenowych, a jego produktami są: **dwutlenek węgla**, **woda**, **związek nieorganiczny** oraz **ATP**. W ogólnym zarysie oddychanie beztlenowe jest podobne do oddychania tlenowego. Główna różnica polega na tym, że ostatecznym akceptorem elektronów przepływających przez łańcuch przenośników elektronów są substancje inne niż tlen, np. **azotany** lub **siarczany**. Oddychanie beztlenowe zachodzi wyłącznie u niektórych bakterii, m.in. u bakterii denitryfikacyjnych zasiedlających glebę. Są one beztlenowcami względnymi, mogą więc oddychać zarówno tlenowo, jak i beztlenowo. W cytozolu komórek bakterii denitryfikacyjnych zachodzą wstępne etapy utleniania glukozy, a jednym z ich produktów jest NADH. Gdy w środowisku nie ma tlenu, elektrony pochodzące z cząsteczek NADH zostają przekazane na NO_3^-. Tym samym odtwarza się NAD^+, a NO_3^- ulega w błonie komórkowej **denitryfikacji**, czyli stopniowej redukcji do N_2. Przepływ elektronów z NAD^+ na NO_3^- generuje gradient protonowy w poprzek błony komórkowej bakterii. Jest on wykorzystywany do syntezy ATP.



Wytwarzanie ATP w komórkach bakterii denitryfikacyjnych w warunkach beztlenowych.

Fermentacja

Fermentacja jest procesem uzyskiwania energii, który polega na **niecałkowitym utlenieniu substratu organicznego** w warunkach beztlenowych. Podczas fermentacji nie zachodzi transport elektronów przez łańcuch oddechowy, nie jest więc wytwarzany gradient protonowy. Cząsteczki ATP są wytwarzane wyłącznie w wyniku **fosforylacji substratowej**.

Istnieje wiele rodzajów fermentacji, które różnią się od siebie produktem ostatecznym. W przyrodzie najczęściej występują fermentacja alkoholowa i fermentacja mleczanowa.

Fermentację alkoholową przeprowadzają głównie drożdże z rodzaju *Saccharomyces* oraz niektóre bakterie z rodzaju *Sarcina*. Proces ten zachodzi również u organizmów tkankowych, np. w okrytych twardą łupiną nasionach roślin lub w korzeniach roślin bagiennych.

Fermentację mleczanową przeprowadzają niektóre bakterie, np. z rodzaju *Lactobacillus* lub *Lactococcus*, oraz grzyby. Proces ten zachodzi również w erytrocytach ssaków, ponieważ nie mają one mitochondriów, oraz w mięśniach szkieletowych zwierząt w sytuacji niedoboru tlenu.

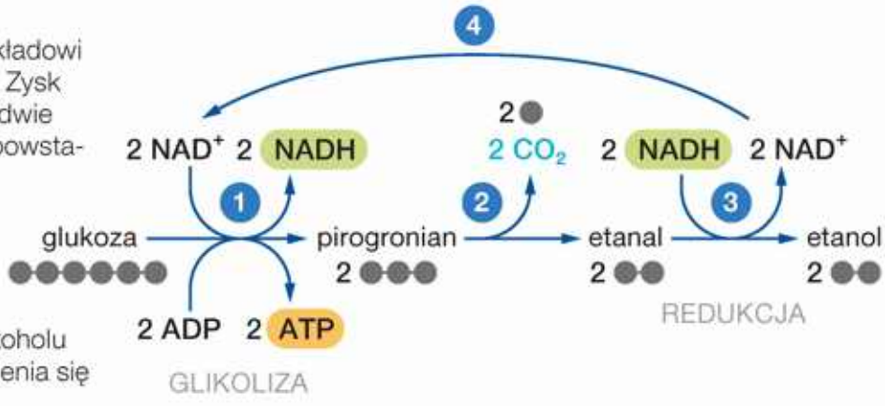
Przebieg fermentacji alkoholowej i mleczanowej

Zarówno fermentacja alkoholowa, jak i mleczanowa przebiegają wyłącznie w cytozolu komórki i składają się z dwóch etapów:

- glikolizy, w której efekcie powstają dwie cząsteczki pirogronianu, dwie cząsteczki ATP i dwie cząsteczki NADH,
- redukcji pirogronianu do etanolu (fermentacja alkoholowa) lub mleczanu (fermentacja mleczanowa), podczas której zachodzi odtworzenie NAD^+ potrzebnego do zajścia następnej glikolizy.

Fermentacja alkoholowa

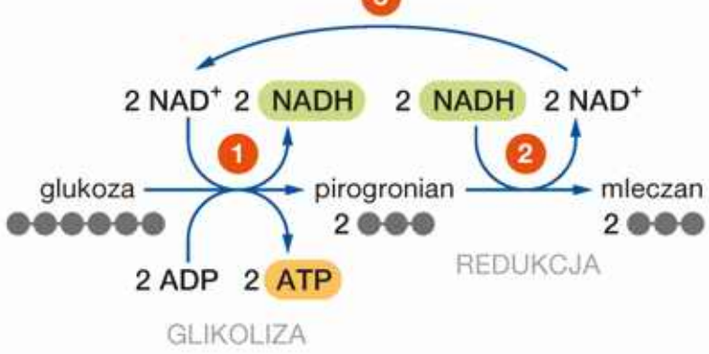
1. Podczas glikolizy glukoza ulega rozkładowi do dwóch cząsteczek pirogronianu. Zysk energetyczny tego procesu wynosi dwie cząsteczki ATP. W wyniku glikolizy powstają również dwie cząsteczki NADH.
2. Pirogronian ulega dekarboksylacji i redukcji do etanalu (aldehydu octowego).
3. Etanal ulega redukcji do etanolu (alkoholu etylowego). Jednocześnie NADH utlenia się do NAD^+.
4. NAD^+ zostaje wykorzystany do następnej glikolizy.



Równanie reakcji fermentacji alkoholowej:
$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2\ C_2H_5OH + 2\ CO_2 + \text{energia}$

Fermentacja mleczanowa

1. Podczas glikolizy glukoza ulega rozkładowi do dwóch cząsteczek pirogronianu. Zysk energetyczny tego procesu wynosi dwie cząsteczki ATP. W wyniku glikolizy powstają również dwie cząsteczki NADH.
2. Pirogronian ulega redukcji do mleczanu (kwasu mlekowego). Jednocześnie NADH utlenia się do NAD^+.
3. NAD^+ zostaje wykorzystany do następnej glikolizy.



Równanie reakcji fermentacji mleczanowej:
$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2\ CH_3CHOHCOOH + \text{energia}$

Fermentacja od kuchni

Proces fermentacji jest wykorzystywany w przemyśle spożywczym oraz w gospodarstwach domowych. Stosuje się go m.in. do konserwowania żywności oraz podwyższania jej wartości odżywczej. Fermentacji poddaje się wiele produktów, takich jak owoce, warzywa, mleko czy zboża.

Fermentacja alkoholowa

Do przeprowadzania fermentacji alkoholowej stosuje się zwykle **drożdże piekarskie** z gatunku *Saccharomyces cerevisiae*. Dzięki wytwarzaniu dwutlenku węgla powodują one wzrost ciast drożdżowych, a dzięki wytwarzaniu etanolu – produkcję alkoholi, m.in. piwa i wina.



Drożdże są jednokomórkowymi grzybami, które mogą oddychać tlenowo lub uzyskiwać energię w wyniku fermentacji.



Drożdże rozkładają cukier zawarty w cieście. Wytworzony dwutlenek węgla spulchnia ciasto i powoduje wzrost jego objętości.

Drożdże rozkładają cukry zawarte w ziarniakach zbóż, np. jęczmienia lub pszenicy. W ten sposób otrzymuje się piwo.

Fermentacja mleczanowa

Do przeprowadzania fermentacji mleczanowej stosuje się różne gatunki **bakterii** i **grzybów**. Bakterie są wykorzystywane do kiszenia warzyw, produkcji jogurtów i wyrobu pieczywa na zakwasie. Z kolei niektóre gatunki grzybów z rodzaju *Penicillium* stosuje się do produkcji serów pleśniowych.



Bakterie z gatunku *Lactobacillus plantarum* są stosowane do kiszenia warzyw.



Grzyby z rodzaju *Penicillium* są wykorzystywane do produkcji serów pleśniowych.



Cukry zawarte w warzywach, m.in. w ogórkach i kapuście, są rozkładane do kwasu mlekowego, który zakwasza środowisko i powoduje konserwowanie warzyw.

Cukry zawarte w mleku są rozkładane do kwasu mlekowego, który powoduje dojrzewanie serów pleśniowych.

Zysk energetyczny procesów beztlenowych

Wydajność energetyczna procesów beztlenowych jest o wiele mniejsza niż wydajność energetyczna oddychania tlenowego. Podczas pierwszego etapu fermentacji z rozkładu jednej cząsteczki glukozy uzyskuje się jedynie dwie cząsteczki ATP. Jest to całkowity zysk energetyczny fermentacji, ponieważ następny etap, czyli redukcja, nie daje możliwości uwalniania energii. Produkty organiczne (mleczan czy alkohol) powstające ostatecznie w wyniku fermentacji nadal zawierają sporą ilość energii. Nie zostaje ona jednak wykorzystana przez organizm. W wypadku oddychania beztlenowego synteza ATP odbywa się z udziałem gradientu protonowego, wytwarzanego dzięki transportowi elektronów przez łańcuch przenośników elektronów. Liczba powstających cząsteczek ATP jest w tym przypadku mniejsza niż podczas oddychania tlenowego, lecz większa niż przy fermentacji. Zależy ona od rodzaju, gatunku, a nawet szczepu bakterii przeprowadzającej oddychanie.

Porównanie procesów uzyskiwania energii

Cechy	Oddychanie tlenowe	Oddychanie beztlenowe	Fermentacja
Przykłady organizmów lub komórek	większość organizmów	• bakterie glebowe, np. bakterie denitryfikacyjne • bakterie żyjące w osadach dennych zbiorników wodnych • bakterie żyjące w jelitach zwierząt	• niektóre bakterie, np. bakterie mlekowe • niektóre grzyby, np. drożdże • niektóre protisty zwierzęce, np. orzęski żyjące w żołądkach przeżuwaczy • niektóre pasożyty układu pokarmowego człowieka, np. tasiemiec • włókna mięśni szkieletowych w warunkach niedoboru tlenu • erytrocyty ssaków • otoczone twardą łupiną nasiona roślin • korzenie roślin bagiennych
Ostateczny akceptor elektronów	O_2	związek nieorganiczny w postaci azotanów lub siarczanów	związek organiczny, np. pirogronian lub etanal (aldehyd octowy)
Lokalizacja procesu w komórce	u organizmów eukariotycznych – cytozol, mitochondria; u organizmów prokariotycznych – cytozol, wewnątrzkomórkowe wpuklenia błony	cytozol, wewnątrzkomórkowe wpuklenia błony	cytozol
Podstawowy substrat organiczny	glukoza	glukoza	glukoza
Ostateczne produkty procesu	CO_2, H_2O, ATP	CO_2, H_2O, związek nieorganiczny, ATP	związek organiczny (kwas mlekowy, alkohol etylowy), ATP, CO_2 (tylko w fermentacji alkoholowej)
Wydajność energetyczna	duża: 30 cząsteczek ATP lub 32 cząsteczki ATP	średnia: liczba cząsteczek ATP mniejsza niż w oddychaniu tlenowym, ale większa niż w przypadku fermentacji; zależy od rodzaju, gatunku lub szczepu bakterii	mała: 2 cząsteczki ATP

Doświadczenie

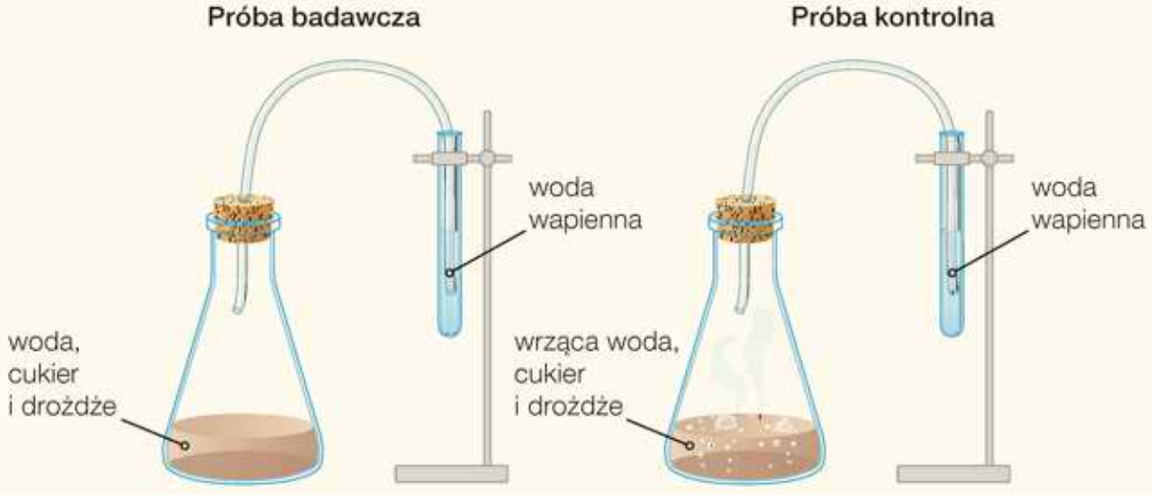
Wydzielanie dwutlenku węgla podczas fermentacji alkoholowej

- **Problem badawczy:** Czy jednym z produktów fermentacji alkoholowej jest dwutlenek węgla?
- **Hipoteza:** Jednym z produktów fermentacji alkoholowej jest dwutlenek węgla.
- **Przebieg doświadczenia**

Próba badawcza: Kolba stożkowa zawierająca roztwór cukru oraz drożdży o temperaturze pokojowej, zamknięta korkiem i połączona szklaną rurką z probówką z wodą wapienną.

Próba kontrolna: Kolba stożkowa zawierająca roztwór cukru oraz drożdży o temperaturze wrzenia, zamknięta korkiem i połączona szklaną rurką z probówką z wodą wapienną.

Przygotuj zestaw doświadczalny w sposób przedstawiony na rysunku. W pierwszej kolbie stożkowej umieść ok. 5 g drożdży (pół kostki) i dwie łyżeczki cukru, a następnie nalej do niej ciepłej wody i wymieszaj. W drugiej kolbie również umieść ok. 5 g drożdży i dwie łyżeczki cukru, ale nalej do niej wrzącej wody. Zatkaj każdą z kolb korkiem ze szklaną rurką prowadzącą do probówki z wodą wapienną.



- **Wynik doświadczenia:** Zaobserwuj zmiany w probówkach z wodą wapienną.
- **Wniosek:** Sformułuj wniosek.
- **Wyjaśnienie:** Woda wapienna – $Ca(OH)_2$ pochłania CO_2 z powietrza. W reakcji $Ca(OH)_2$ z CO_2 powstaje trudno rozpuszczalna sól $CaCO_3$, która powoduje mętnienie wody wapiennej. W próbie kontrolnej zastosowano wysoką temperaturę, by zdenaturować enzymy katalizujące proces fermentacji.

Polecenia kontrolne

1. Przedstaw przebieg fermentacji dowolnego typu (alkoholowej lub mleczanowej). Uwzględnij warunki, kolejne etapy, lokalizację w komórce, bilans energetyczny i ewentualne wykorzystanie w gospodarce człowieka.
2. Porównaj procesy, które zachodzą we włóknach mięśnia szkieletowego, kiedy tlen jest dostępny i kiedy jest niedostępny. Uwzględnij nazwy oraz ilość etapów i bilans energetyczny.
3. Wyjaśnij, dlaczego w erytrocytach następuje przemiana glukozy do kwasu mlekowego.
4. Na podstawie dostępnych źródeł informacji określ znaczenie bakterii oddychających beztlenowo w obiegu azotu w przyrodzie.

4.8. Inne procesy metaboliczne

Zwróć uwagę na:
- przebieg glikogenolizy i glukoneogenezy,
- przebieg syntezy i rozkładu kwasów tłuszczowych,
- anabolizm i katabolizm sacharydów i tłuszczów,
- przebieg cyklu mocznikowego.

Przemiany metaboliczne, które zachodzą podczas autotroficznego odżywiania się organizmów oraz oddychania komórkowego, są podstawowymi przemianami związanymi z kumulowaniem oraz uwalnianiem energii. Na całość metabolizmu komórkowego składają się jednak tysiące połączonych ze sobą szlaków metabolicznych. Niektóre z nich są funkcjonalnie powiązane z uzyskiwaniem energii przez komórkę.

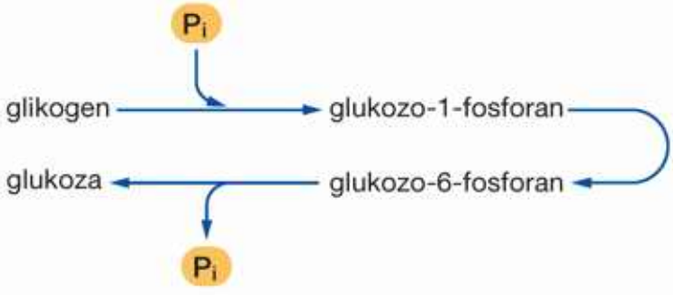
Metabolizm sacharydów

U wszystkich organizmów głównym substratem oddychania komórkowego jest **glukoza**. Dla niektórych komórek, np. neuronów oraz erytrocytów ssaków, jest ona jedynym źródłem energii, dostarczanym na bieżąco za pośrednictwem krwi. Autotrofy wytwarzają glukozę w procesie foto- lub chemosyntezy, pozostałe organizmy pobierają ją zwykle z pokarmem. Glukoza może być również syntetyzowana ze związków innych niż sacharydy. Proces ten jest nazywany **glukoneogenezą**. Nadmiar glukozy jest w organizmach przekształcany w polisacharydy o funkcji zapasowej: skrobię lub glikogen. Synteza glikogenu nosi nazwę **glikogenogenezy**. W warunkach dużego zapotrzebowania organizmów na glukozę skrobia i glikogen są enzymatycznie rozkładane. Rozkład glikogenu nazywamy **glikogenolizą**.

Glikogenoliza

Glikogen stanowi materiał zapasowy u grzybów i zwierząt. W organizmach zwierząt jest on wytwarzany i magazynowany głównie w mięśniach oraz w wątrobie. Glikogen mięśniowy stanowi ok. 75% całości tego cukru w organizmie. Podczas pracy mięśni cukier ten jest rozkładany do glukozy i zużywany w oddychaniu komórkowym, które dostarcza energii do skurczów mięśni. Glikogen wątrobowy odpowiada z kolei za utrzymywanie stałego stężenia glukozy we krwi w przerwach między posiłkami.

Przebieg glikogenolizy:
Pierwszym etapem glikogenolizy jest rozerwanie wiązań glikozydowych w glikogenie połączone z fosforylacją glukozy do glukozo-1-fosforanu. Związek ten zostaje przekształcony w glukozo-6-fosforan, który ulega defosforylacji do glukozy.



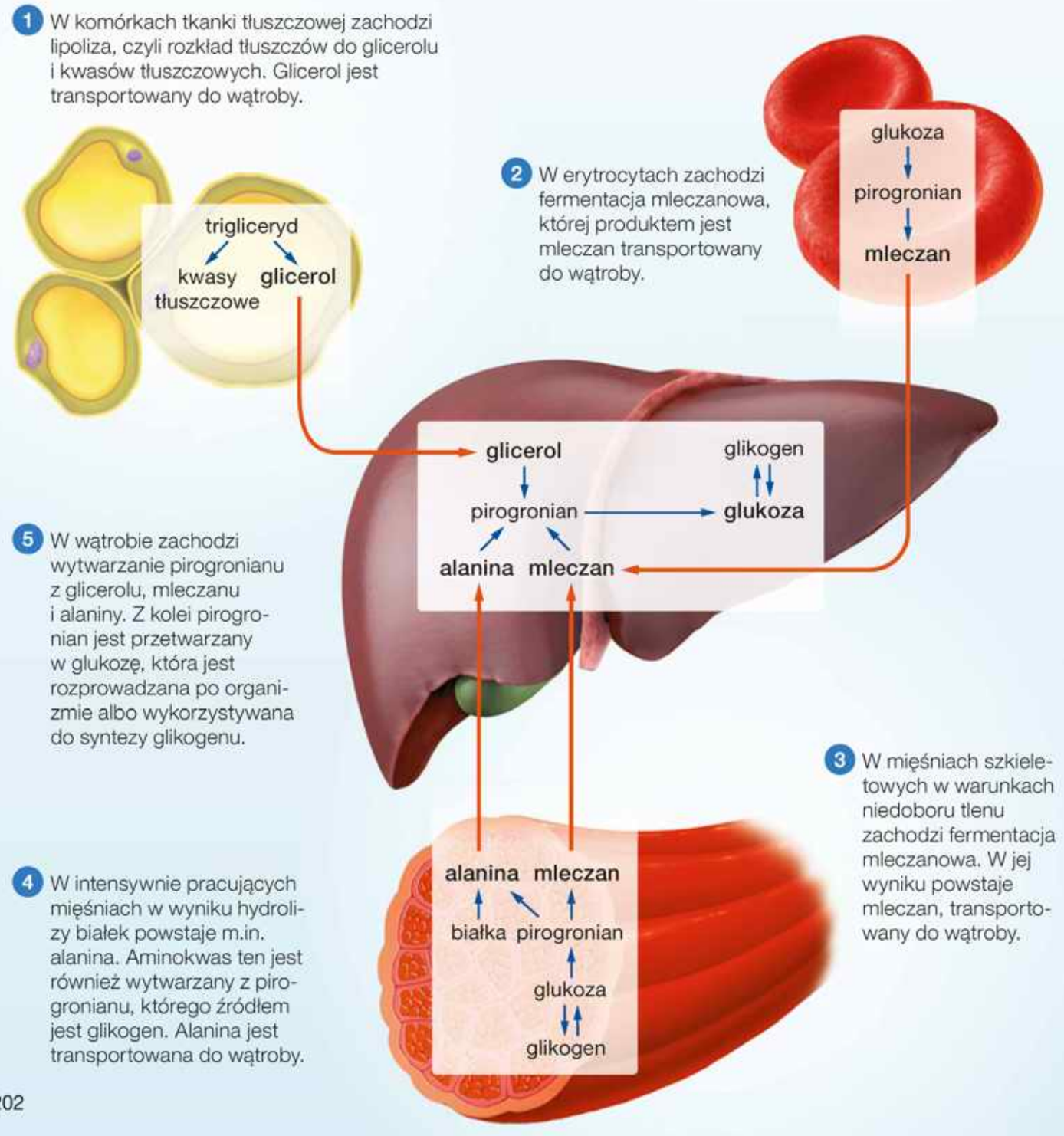
Glukoneogeneza

Glukoneogeneza jest procesem anabolicznym, który polega na syntezie glukozy ze związków innych niż cukry. U zwierząt zachodzi głównie w wątrobie oraz w nerkach.

Główne substraty glukoneogenezy u zwierząt:
- **mleczan** – powstaje w erytrocytach i mięśniach szkieletowych,
- **aminokwasy** – pochodzą głównie z białek rozkładanych w mięśniach w okresach głodu,
- **glicerol** – powstaje w komórkach tkanki tłuszczowej w wyniku hydrolizy tłuszczów.

Szlaki glukoneogenezy w organizmie człowieka

Glukoneogeneza zachodzi głównie w wątrobie. Proces ten rozpoczyna się, gdy w pokarmie jest zbyt mało sacharydów lub gdy brakuje zapasów glikogenu. Stanowi więc zabezpieczenie przed przerwaniem dostaw glukozy do neuronów i erytrocytów, a tym samym przed śmiercią organizmu. Glukoneogeneza polega na syntezie glukozy głównie z mleczanu, niektórych aminokwasów oraz glicerolu. Wszystkie te związki są w wątrobie przekształcane w pirogronian, a następnie w glukozę. Szlak syntezy glukozy z pirogronianu jest podobny do glikolizy, ale przebiega w odwrotnym kierunku. Jako że oba procesy zachodzą w cytozolu komórek, niezbędna jest ich ścisła regulacja, która odbywa się m.in. przez regulację aktywności enzymów. Duże stężenie cukrów w organizmie aktywuje enzymy katalizujące glikolizę, a hamuje enzymy katalizujące glukoneogenezę. Z kolei małe stężenie cukrów w organizmie działa odwrotnie.

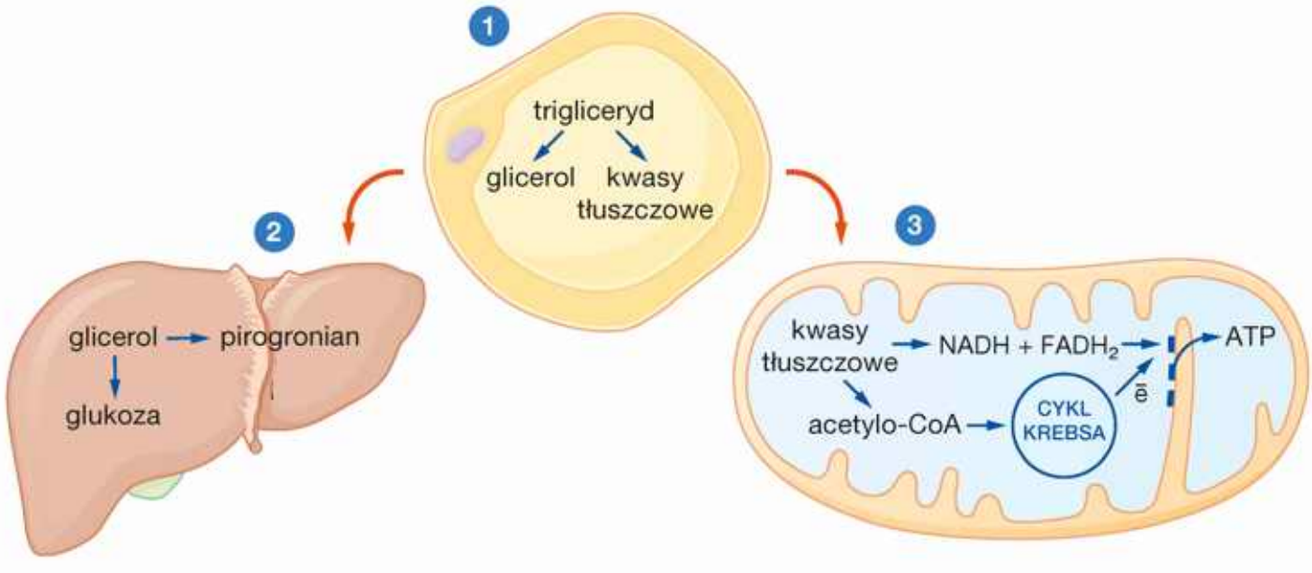


Metabolizm tłuszczów u zwierząt

Tłuszcze właściwe – triglicerydy – stanowią podstawowy materiał zapasowy zwierząt, magazynowany w komórkach tkanki tłuszczowej – adipocytach. Triglicerydy są związkami hydrofobowymi, przechowywanymi w postaci bezwodnej. Dzięki temu 1 g tłuszczu gromadzi sześciokrotnie więcej energii niż 1 g glikogenu, który – jako związek hydrofilowy – jest magazynowany w postaci uwodnionej. W warunkach dużego zapotrzebowania na energię tłuszcze są rozkładane do **glicerolu** i **kwasów tłuszczowych**, a następnie utleniane z wytworzeniem ATP. Triglicerydy są znacznie bogatsze w energię niż cukry – utlenienie 1 g tych związków daje dwa razy więcej energii niż utlenienie 1 g glukozy. Dzieje się tak, ponieważ kwasy tłuszczowe są bardziej zredukowane niż cukry, dzięki czemu dostarczają więcej elektronów i protonów niezbędnych do syntezy ATP.

Katabolizm tłuszczów

Lipoliza, czyli rozkład triglicerydów do glicerolu i kwasów tłuszczowych, zachodzi w komórkach **tkanki tłuszczowej**. Glicerol jest transportowany z krwią do wątroby, gdzie albo ulega przekształceniu w pirogronian, włączany następnie do przemian oddychania tlenowego, albo wchodzi w szlak glukoneogenezy. Z kolei kwasy tłuszczowe wędrują z krwią do różnych tkanek, w których ulegają rozkładowi. Rozkład kwasów tłuszczowych zachodzi głównie w mitochondriach i nosi nazwę **β-oksydacji**, utleniania kwasów tłuszczowych lub spirali kwasów tłuszczowych. W trakcie β-oksydacji kwasy tłuszczowe ulegają rozkładowi na dwuwęglowe jednostki – cząsteczki **acetylo-CoA**. Są one włączane w mitochondriach bezpośrednio do cyklu Krebsa. W procesie β-oksydacji powstają również cząsteczki zredukowanych nukleotydów – **NADH** i **$FADH_2$**. Elektrony pochodzące z ich utlenienia są przekazywane na łańcuch oddechowy.



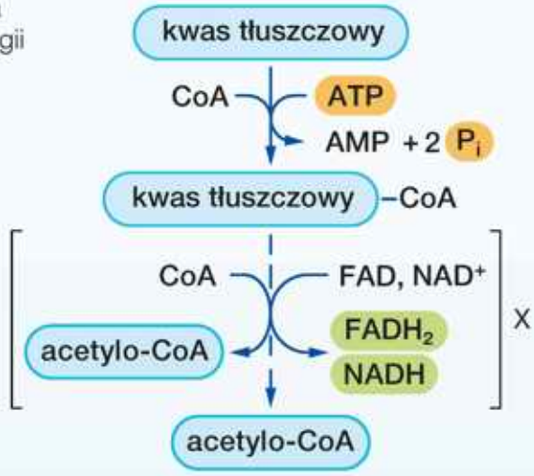
1. W komórkach tkanki tłuszczowej zachodzi lipoliza, czyli hydroliza triglicerydów do glicerolu i kwasów tłuszczowych.
2. W wątrobie część glicerolu ulega przekształceniu w pirogronian, który następnie jest włączany do przemian oddychania tlenowego. Pozostała część glicerolu wchodzi w wątrobie w szlak glukoneogenezy, czyli przekształca się w glukozę.
3. Kwasy tłuszczowe są w mitochondriach tkanek rozkładane w procesie β-oksydacji. Powstają acetylo-CoA, włączany do przemian cyklu Krebsa, oraz zredukowane nukleotydy, przenoszące elektrony na łańcuch oddechowy.

Przebieg β-oksydacji

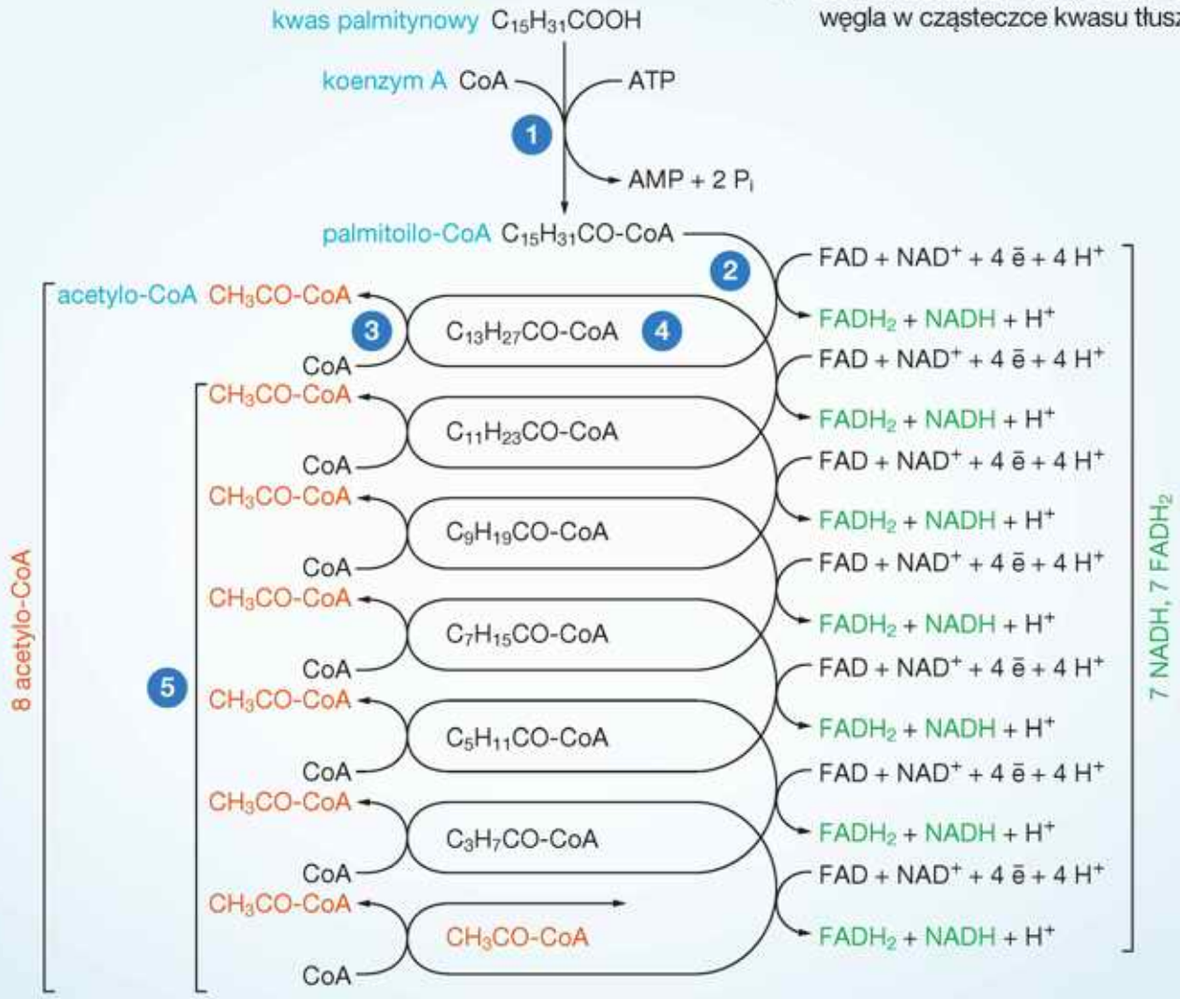
W trakcie β-oksydacji kwasy tłuszczowe są rozkładane do dwuwęglowych cząsteczek acetylo-CoA.

Przebieg β-oksydacji kwasu palmitynowego $C_{15}H_{31}COOH$:

1. Po przetransportowaniu do mitochondrium kwas palmitynowy ulega aktywacji przez przyłączenie CoA. Aktywacja wymaga nakładu energii w postaci ATP. W jej wyniku powstaje acylo-CoA[1], czyli w tym przypadku palmitoilo-CoA.
2. Palmitoilo-CoA ulega utlenieniu za pomocą FAD oraz NAD^+. W efekcie powstają zredukowane nukleotydy $FADH_2$ i NADH.
3. Jednocześnie zachodzi przyłączenie następnej cząsteczki CoA do palmitoilo-CoA, co skutkuje odłączeniem od niego dwuwęglowej cząsteczki acetylo-CoA.
4. W wyniku tych przemian powstaje cząsteczka następnego acylo-CoA, krótszego o dwa atomy węgla od palmitoilo-CoA.
5. Opisane przemiany powtarzają się do momentu, kiedy cząsteczka kwasu tłuszczowego ulegnie całkowitemu rozkładowi do acetylo-CoA.



X – liczba przemian. Zależy od liczby atomów węgla w cząsteczce kwasu tłuszczowego.



Sumaryczne równanie β-oksydacji palmitoilo-CoA:

palmitoilo-CoA + 7 FAD + 7 NAD^+ + 7 CoA + 7 H_2O → 8 acetylo-CoA + 7 $FADH_2$ + 7 NADH + 7 H^+

[1] **Acylo-CoA** – związek powstały w wyniku przyłączenia CoA do grupy acylowej.

Na podstawie sumarycznego równania β-oksydacji palmitoilo-CoA można obliczyć bilans energetyczny całkowitego utlenienia kwasu palmitynowego.

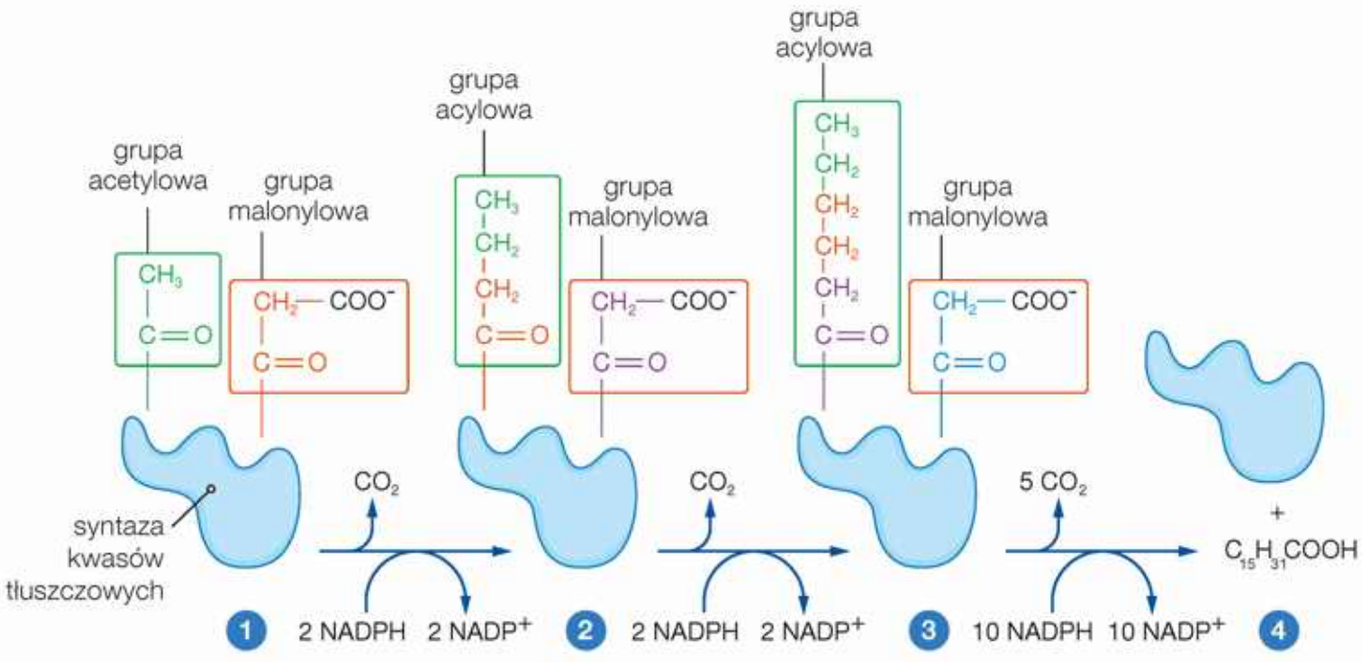
W cyklu Krebsa z jednej cząsteczki acetylo-CoA powstaje 10 cząsteczek ATP (3 NADH, 1 $FADH_2$, 1 ATP). β-oksydacja jednej cząsteczki palmitoilo-CoA skutkuje wytworzeniem 8 cząsteczek acetylo-CoA. Wchodzą one do cyklu Krebsa, powstaje więc 80 cząsteczek ATP. W wyniku β-oksydacji powstaje również 7 cząsteczek NADH i 7 cząsteczek $FADH_2$. Utlenienie jednej cząsteczki NADH w łańcuchu oddechowym powoduje syntezę 2,5 cząsteczki ATP, natomiast $FADH_2$ – 1,5 cząsteczki ATP. Z 7 cząsteczek NADH otrzymujemy zatem 17,5 cząsteczki ATP, a z 7 cząsteczek $FADH_2$ – 10,5 cząsteczki ATP. Całkowite utlenienie palmitoilo-CoA daje więc 108 cząsteczek ATP. Od tego należy odjąć 2 cząsteczki ATP zużywane na aktywację kwasu palmitynowego.

Anabolizm tłuszczów

Synteza kwasów tłuszczowych zachodzi w cytozolu adipocytów. Wszystkie **kwasy tłuszczowe** są wytwarzane z cząsteczek **acetylo-CoA**, które powstają w wyniku dekarboksylacji pirogronianu. Synteza kwasów tłuszczowych rozpoczyna się karboksylacją dwuwęglowego acetylo-CoA do trójwęglowego malonylo-CoA. Następnie zachodzi łączenie acetylo-CoA oraz malonylo-CoA z **syntazą kwasów tłuszczowych**. Enzym ten przeprowadza szereg reakcji kondensacji grup acylowych z grupą malonylową. W rezultacie powstaje kwas tłuszczowy.

Przebieg syntezy kwasu palmitynowego:

1. Acetylo-CoA i malonylo-CoA łączą się z syntazą kwasów tłuszczowych.
2. Dwuwęglowy fragment grupy malonylowej zostaje przyłączony do grupy acetylowej. Tworzy się czterowęglowa grupa acylowa, a do enzymu przyłącza się następna cząsteczka malonylo-CoA.
3. Dwuwęglowy fragment grupy malonylowej zostaje przyłączony do czterowęglowej grupy acetylowej. Tworzy się sześciowęglowa grupa acylowa, a do enzymu przyłącza się następna cząsteczka malonylo-CoA.
4. Reakcje kondensacji powtarzają się do momentu wytworzenia podstawowego kwasu tłuszczowego – kwasu palmitynowego, który odłącza się od enzymu.



Sumaryczne równanie syntezy kwasu palmitynowego:

$8\ \text{acetylo-CoA} + 7\ \text{ATP} + 14\ \text{NADPH} + 6\ H^+ \rightarrow C_{15}H_{31}COOH + 14\ NADP^+ + 8\ \text{CoA} + 6\ H_2O + 7\ \text{ADP} + 7\ P_i$

Dowiedz się więcej

Inne kwasy tłuszczowe

Głównym produktem syntezy kwasów tłuszczowych katalizowanej przez syntazę kwasów tłuszczowych jest kwas palmitynowy. Komórki potrzebują jednak wielu innych kwasów tłuszczowych, np. kwasów nasyconych o dłuższych łańcuchach lub kwasów nienasyconych. W komórkach eukariotycznych kwasy tłuszczowe o dłuższych łańcuchach powstają w wyniku dołączania kolejnych grup acetylowych pochodzących z malonylo-CoA do kwasu palmitynowego. Reakcje te są katalizowane przez enzymy znajdujące się na cytozolowej powierzchni siateczki śródplazmatycznej gładkiej. Enzymy siateczki katalizują również wprowadzanie wiązań podwójnych do reszt kwasów tłuszczowych.

Główne źródła kwasów omega



nasiona lnu



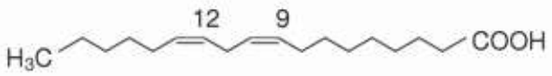
nasiona soi



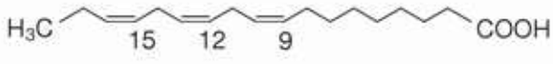
orzechy włoskie



ryby morskie



kwas linolowy (omega-6)



kwas linolenowy (omega-3)

Ssaki potrafią wytwarzać jedynie te nienasycone kwasy tłuszczowe, które mają wiązania podwójne nie dalej niż przy węglu 9. Pozostałe kwasy tłuszczowe są dla nich egzogenne, czyli muszą je pobrać wraz z pokarmem. Do kwasów tłuszczowych egzogennych dla ssaków należą: kwas linolowy, zwany również kwasem ω-6 (omega-6), i kwas linolenowy, zwany również kwasem ω-3 (omega-3). W organizmie ssaków są one substratami m.in. do syntezy niektórych hormonów.

Biologia w **medycynie**

Syntaza kwasów tłuszczowych a nowotwory

W przypadku większości nowotworów zachodzi intensywna ekspresja genów kodujących syntazę kwasów tłuszczowych. Skutkuje to wytwarzaniem dużej ilości kwasów tłuszczowych, które nie są wbudowywane w triglicerydy, ale w fosfo- i glikolipidy. Związki te są wykorzystywane do budowy nowych błon komórkowych w komórkach rozrastającego się guza nowotworowego. Dlatego obecnie trwają badania nad inhibitorami syntazy kwasów tłuszczowych, które mogłyby blokować cząsteczki enzymu, a tym samym uniemożliwiać podziały i wzrost komórek nowotworowych.



Komórki nowotworu trzustki (obraz spod SEM). Ograniczenie syntezy kwasów tłuszczowych hamuje powstawanie nowych błon komórkowych, a tym samym podziały i wzrost komórek nowotworowych.

Metabolizm związków azotowych – aminokwasów i białek

Głównymi związkami azotowymi występującymi w organizmach są **aminokwasy** i **białka**. Zwykle nie pełnią one funkcji zapasowych. Wyjątkiem są rośliny, np. z rodziny motylkowatych, które wytwarzają nasiona bogate w białka. Białka zmagazynowane w tkance spichrzowej tych nasion stanowią źródło energii i związków budulcowych dla rozwijającego się zarodka oraz młodej siewki.

Anabolizm aminokwasów i białek

Aminokwasy są syntetyzowane ze związków pośrednich podstawowych szlaków metabolicznych, takich jak cykl Krebsa lub glikoliza. Niektóre organizmy, m.in. rośliny i wiele bakterii, potrafią samodzielnie syntetyzować wszystkie niezbędne do życia aminokwasy. Inne, np. człowiek, syntetyzują tylko niektóre z nich, a pozostałe muszą pobierać z pokarmem. Aminokwasy syntetyzowane samodzielnie noszą nazwę **aminokwasów endogennych**, a pobierane z pokarmem – **egzogennych**. Do aminokwasów, które nie mogą być syntetyzowane w organizmie człowieka, należą: aminokwasy o rozgałęzionych łańcuchach, aminokwasy aromatyczne, z wyjątkiem tyrozyny, oraz niektóre aminokwasy siarkowe i zasadowe.

Aminokwasy białkowe są zwykle substratami do syntezy białek. Wytwarzanie białek odbywa się na rybosomach i zachodzi zgodnie z informacją zawartą w DNA i mRNA.

Aminokwasy u człowieka

endogenne	egzogenne
• alanina (Ala) • arginina (Arg) • asparagina (Asn) • asparaginian (Asp) • glutamina (Gln) • glutaminian (Glu) • glicyna (Gly) • prolina (Pro) • seryna (Ser) • tyrozyna (Tyr) • cysteina (Cys)	• fenyloalanina (Phe) • histydyna (His) • izoleucyna (Ile) • leucyna (Leu) • lizyna (Lys) • metionina (Met) • treonina (Thr) • tryptofan (Trp) • walina (Val)

Katabolizm aminokwasów i białek u zwierząt

Utlenianie 1 g białka dostarcza tyle samo energii, co utlenianie 1 g cukru (ok. 17,2 kJ, 4,1 kcal), jednak białka stają się substratem energetycznym zwierząt tylko w wyjątkowych sytuacjach, np. podczas długotrwałego głodu, intensywnego wysiłku fizycznego lub wtedy, gdy są dostarczane w nadmiarze w stosunku do zapotrzebowania. Pierwszym etapem rozkładu białek jest ich **hydroliza** do aminokwasów. Przeprowadzają ją enzymy hydrolityczne – **proteazy**. Aminokwasy powstałe w wyniku hydrolizy ulegają następnie **deaminacji**, która polega na odłączeniu grupy aminowej ($-NH_2$). W efekcie powstają **ketokwasy** oraz **amoniak** w postaci jonów amonowych – NH_4^+. W zależności od rodzaju aminokwasu ketokwas, który pozostał po deaminacji, może być przekształcony do różnych związków pośrednich oddychania komórkowego, np. pirogronianu, acetylo-CoA bądź związków pośrednich cyklu Krebsa. Drugi produkt deaminacji – amoniak, jest związkiem toksycznym i musi być usuwany z organizmu. Niektóre zwierzęta, np. bezkręgowce wodne, wydalają amoniak w dużej ilości rozcieńczonego moczu. Inne, np. ptaki, przekształcają go w minimalnie toksyczny i słabo rozpuszczalny w wodzie **kwas moczowy**, wydalany w postaci kryształów lub gęstej zawiesiny. Pozostałe zwierzęta, m.in. ssaki, przekształcają amoniak w słabo toksyczny i rozpuszczalny w wodzie **mocznik**.

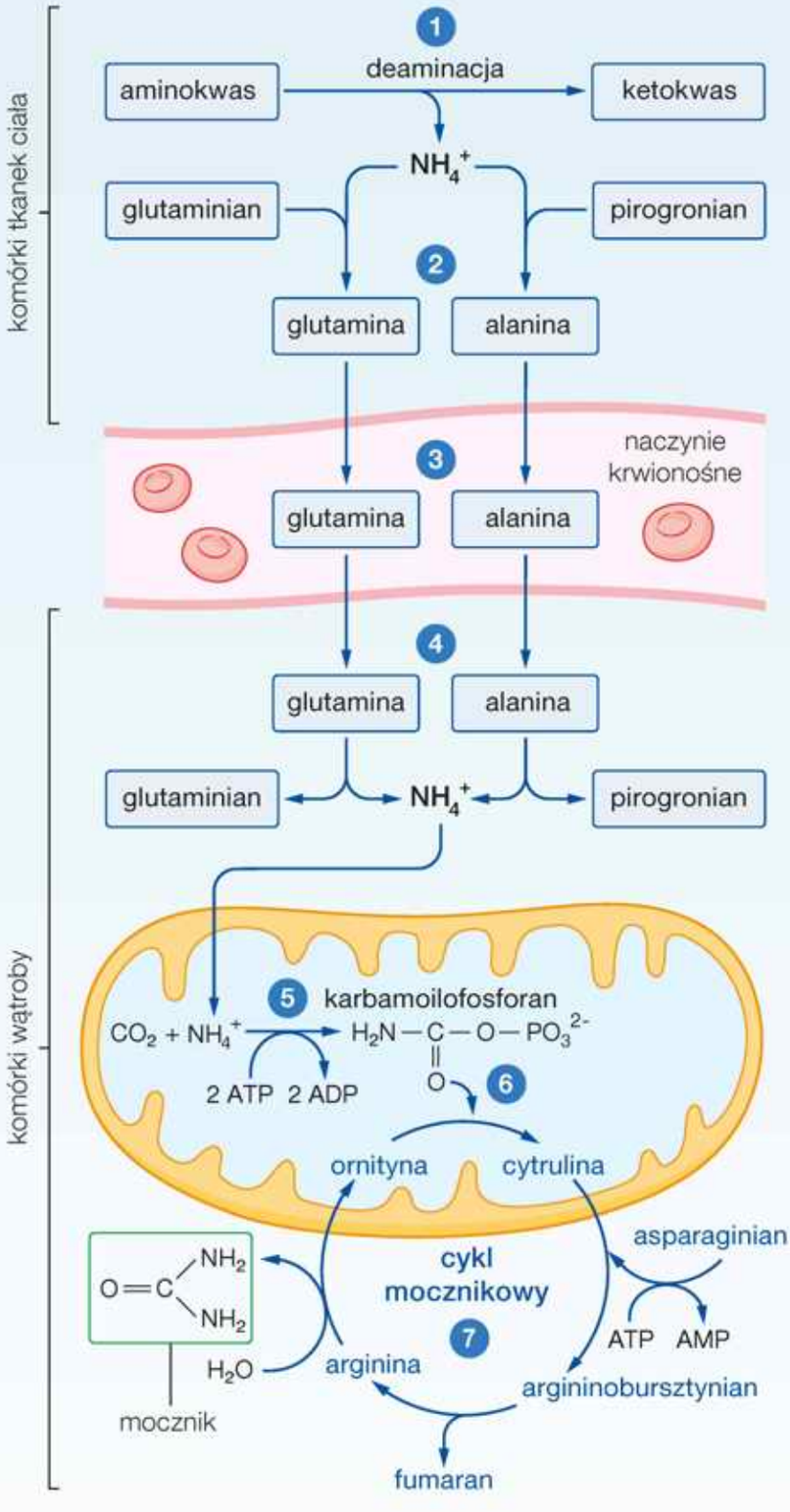
Rozkład aminokwasów zachodzi w różnych komórkach ciała, a synteza mocznika – wyłącznie w komórkach wątroby. Ponieważ jony amonowe są silnie toksyczne, nie mogą być transportowane z krwią do wątroby w stanie wolnym. W komórkach ciała są one przyłączane do **glutaminianu**, z wytworzeniem aminokwasu **glutaminy**, oraz do **pirogronianu**, z wytworzeniem aminokwasu **alaniny**. Z kolei w wątrobie są odłączane i zużywane do syntezy mocznika. Synteza mocznika wymaga dużych nakładów energii, należy więc do przemian anabolicznych. Nazywamy ją **cyklem mocznikowym** lub cyklem ornitynowym.

Transport amoniaku i cykl mocznikowy

U wielu zwierząt ostatecznym produktem rozkładu aminokwasów i białek jest mocznik. Związek ten jest syntetyzowany w wątrobie z amoniaku, dostarczanego z tkanek ciała za pośrednictwem krwi.

Etapy transportu amoniaku i cyklu mocznikowego:

1. W wyniku deaminacji aminokwasów powstają toksyczne jony amonowe.
2. W cytozolu komórek jony amonowe zostają przyłączone do glutaminianu z wytworzeniem glutaminy, oraz do pirogronianu z wytworzeniem alaniny.
3. Glutamina i alanina są transportowane do komórek wątroby za pośrednictwem krwi.
4. W cytozolu komórek wątroby zachodzi odłączenie jonów amonowych od aminokwasów oraz ich transport do matrix mitochondrium.
5. W matrix mitochondrium jony amonowe reagują z dwutlenkiem węgla, w wyniku czego powstaje karbamoilofosforan.
6. Karbamoilofosforan zostaje przeniesiony na niebiałkowy aminokwas – ornitynę. W wyniku tej reakcji powstaje niebiałkowy aminokwas cytrulina, transportowany do cytozolu.
7. W trójetapowej serii przemian cytruliny powstaje mocznik, który za pośrednictwem krwi wędruje do narządów wydalniczych. Wolna ornityna wraca do mitochondrium.



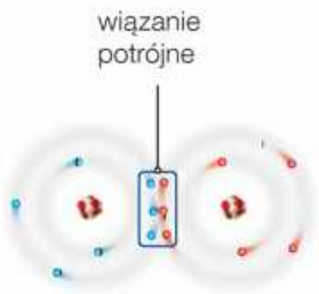
Sumaryczne równanie syntezy mocznika:

$CO_2 + NH_4^+ + 3\ ATP + asparaginian + 2\ H_2O \rightarrow mocznik + 2\ ADP + 2\ P_i + AMP + PP_i + fumaran$

Dowiedz się więcej

Wiązanie azotu atmosferycznego

Azot cząsteczkowy – N_2 stanowi aż 78,08% objętości powietrza. Jest on jednak niedostępny dla większości organizmów. Zdolność wiązania azotu atmosferycznego wykształciły jedynie niektóre bakterie. Należą do nich m.in. wolno żyjące sinice z rodzaju *Gleocapsa*, *Gleotrichia* i *Nostoc*, wolno żyjące bakterie glebowe z rodzaju *Azotobacter* i *Clostridium* oraz symbiotyczne bakterie z rodzaju *Rhizobium*, które współżyją z roślinami motylkowatymi. Bakterie te asymilują azot cząsteczkowy i przekształcają go w amoniak NH_3. Ten z kolei może zostać utleniony do NO_3^- przez chemosyntetyzujące bakterie nitryfikacyjne lub pobrany przez rośliny w formie jonów NH_4^+. Synteza amoniaku z azotu i wodoru zachodzi zgodnie z sumarycznym równaniem reakcji chemicznej:



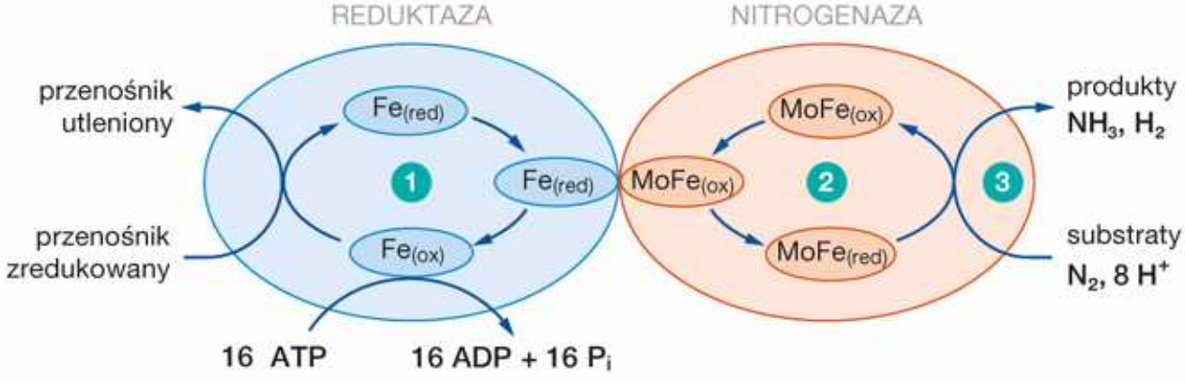
Między atomami azotu tworzącymi cząsteczkę występuje silne potrójne wiązanie kowalencyjne, które do rozerwania wymaga bardzo dużej ilości energii (940 kJ/mol).

$$3\,H_2 + N_2 \rightarrow 2\,NH_3 + 91{,}88\ J$$

Reakcja ta jest samorzutna, ponieważ wiąże się ze zmniejszeniem energii układu – jej produkty są mniej zasobne w energię niż substraty. Nie jest jednak reakcją spontaniczną, ponieważ wymaga bardzo wysokiej energii aktywacji. Pod względem metabolicznym zaliczamy ją do przemian anabolicznych, czyli reakcji syntezy związków chemicznych z substancji prostszych.

Kompleks enzymatyczny nitrogenazy

Wiązanie azotu umożliwia kompleks enzymatyczny nitrogenazy. Składa się on z dwóch białek – reduktazy, która dostarcza elektrony niezbędne do redukcji azotu, oraz nitrogenazy, która przeprowadza redukcję azotu do amoniaku. Składnikiem reduktazy jest żelazo (Fe), natomiast nitrogenazy – żelazo (Fe) oraz molibden (Mo).



1. Utleniona forma reduktazy odbiera elektrony od zredukowanego przenośnika, dzięki czemu powstaje zredukowana forma reduktazy. Proces ten wymaga bardzo dużego nakładu energetycznego w postaci 16 cząsteczek ATP.
2. Reduktaza przekazuje elektrony na utlenioną formę nitrogenazy, dzięki czemu powstaje zredukowana forma nitrogenazy.
3. Zredukowana nitrogenaza przekazuje elektrony na N_2, co powoduje jego redukcję do NH_3.

Sumaryczne równanie redukcji azotu cząsteczkowego z udziałem nitrogenazy:

$$N_2 + 16\ ATP + 8\ \bar{e} + 8\ H^+ \rightarrow 2\,NH_3 + H_2 + 16\ ADP + 16\ P_i$$

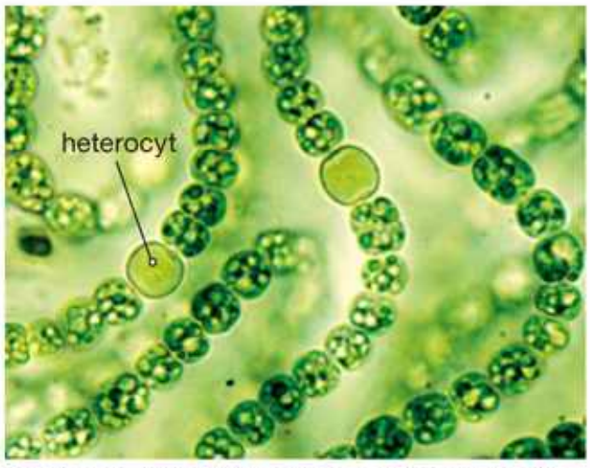
Dowiedz się więcej

Przystosowania sinic i bakterii z rodzaju *Rhizobium* do asymilacji azotu

Kompleks nitrogenazy jest bardzo wrażliwy na obecność tlenu, który powoduje dezaktywację tego enzymu. Dlatego organizmy, które wiążą azot atmosferyczny, wykształciły przystosowania ograniczające stężenie tlenu w otoczeniu nitrogenazy.

Sinice

Sinice przeprowadzają fotosyntezę oksygeniczną, czyli zachodzącą z uwolnieniem tlenu. Dlatego procesy wiązania azotu atmosferycznego zachodzą u nich w specjalnych komórkach – heterocytach (heterocystach). Komórki te są otoczone grubą ścianą komórkową, która skutecznie ogranicza dyfuzję tlenu z otoczenia. Mają również jaśniejszy kolor od pozostałych komórek kolonii, ponieważ przeprowadzają fotosyntezę wyłącznie z udziałem fotosystemu I. W jej trakcie zachodzi fosforylacja fotosyntetyczna cykliczna. W heterocytach fotosystem II jest nieaktywny, ponieważ jego funcjonowanie wiąże się z fotolizą wody i uwalnianiem tlenu.



Kolonijna, nitkowata sinica z rodzaju *Nostoc* z widocznym heterocytem.

Bakterie z rodzaju *Rhizobium*

Bakterie z rodzaju *Rhizobium* mogą żyć w glebie, jednak nie asymilują wtedy azotu. Jeśli w ich pobliżu znajdzie się roślina z rodziny motylkowatych, bakterie wnikają do jej korzeni i namnażają się, tworząc tzw. brodawki korzeniowe. Jednocześnie komórki bakterii zaczynają wytwarzać kompleks enzymatyczny nitrogenazy, a roślina – białko hemowe zwane leghemoglobiną. Białko to ma zdolność wiązania tlenu, co zmniejsza stężenie tego gazu w brodawkach korzeniowych.


Brodawki korzeniowe na korzeniach lucerny.

Polecenia kontrolne

1. Podaj funkcje glikogenu mięśniowego oraz glikogenu wątrobowego.
2. Określ, na czym polega glukoneogeneza i wyjaśnij jej znaczenie dla prawidłowego funkcjonowania organizmu.
3. Określ, w jakich warunkach zachodzi w organizmie rozkład kwasów tłuszczowych.
4. Wyjaśnij, dlaczego amoniak powstający w tkankach w wyniku deaminacji aminokwasów nie jest transportowany do wątroby w stanie wolnym.
5. Wyjaśnij związek między katabolizmem aminokwasów i białek a cyklem Krebsa.

Podsumowanie

1 Metabolizm – całość przemian chemicznych i energetycznych komórki.

2 Kierunki przemian metabolicznych

Metabolizm	
anabolizm	**katabolizm**
• Reakcje syntezy złożonych związków chemicznych z substancji prostszych. • Reakcje anaboliczne są zwykle endoergiczne – wymagają dostarczenia energii. • Produkty większości reakcji anabolicznych są bardziej zasobne w energię niż substraty. • Przykłady reakcji anabolicznych: fotosynteza, chemosynteza, synteza glikogenu, synteza kwasów tłuszczowych, synteza białek, synteza mocznika.	• Reakcje rozkładu złożonych związków chemicznych do substancji prostszych. • Reakcje kataboliczne są zwykle egzoergiczne – przebiegają z uwolnieniem energii. • Produkty większości reakcji katabolicznych są mniej zasobne w energię niż substraty. • Przykłady reakcji katabolicznych: oddychanie tlenowe, oddychanie beztlenowe, fermentacja, rozkład glikogenu, β-oksydacja, rozkład białek.

3 Mechanizmy syntezy ATP

Synteza ATP – odbywa się w wyniku fosforylacji, czyli przyłączenia reszty fosforanowej(V) do ADP.

Mechanizm fosforylacji		Równanie reakcji chemicznej	Proces
Fosforylacja substratowa		substrat wysokoenergetyczny + ADP → produkt niskoenergetyczny + ATP	• oddychanie tlenowe, beztlenowe i fermentacja – glikoliza • oddychanie tlenowe i beztlenowe – cykl Krebsa
Fosforylacja z udziałem gradientu protonowego	Fosforylacja fotosyntetyczna niecykliczna	$ADP + P_i + 2\ NADP^+ + 2\ H_2O \rightarrow ATP + 2\ NADPH + H^+ + O_2$	• faza zależna od światła fotosyntezy
	Fosforylacja fotosyntetyczna cykliczna	$ADP + P_i \rightarrow ATP$	• faza zależna od światła fotosyntezy
	Fosforylacja oksydacyjna	$ADP + P_i + NADH + FADH_2 + H^+ + O_2 \rightarrow ATP + NAD^+ + FAD + 2\ H_2O$	• oddychanie tlenowe – łańcuch oddechowy

4 Porównanie fosforylacji fotosyntetycznej niecyklicznej i fosforylacji oksydacyjnej

	Rodzaj fosforylacji	
Cechy	**Fosforylacja fotosyntetyczna niecykliczna**	**Fosforylacja oksydacyjna**
Źródło energii	światło	reakcje utleniania zredukowanych przenośników elektronów (NADH i $FADH_2$)
Dawca elektronów	woda	zredukowane przenośniki elektronów (NADH i $FADH_2$)
Biorca elektronów	$NADP^+$	O_2

5 **Uniwersalne przenośniki elektronów** – dinukleotydy, które uczestniczą w reakcjach utlenienia-redukcji zachodzących w komórce.

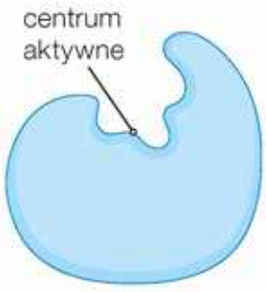
Forma utleniona	Forma zredukowana	Rodzaj reakcji
NAD^+	NADH	głównie kataboliczne
$NADP^+$	NADPH	głównie anaboliczne
FAD	$FADH_2$	głównie kataboliczne

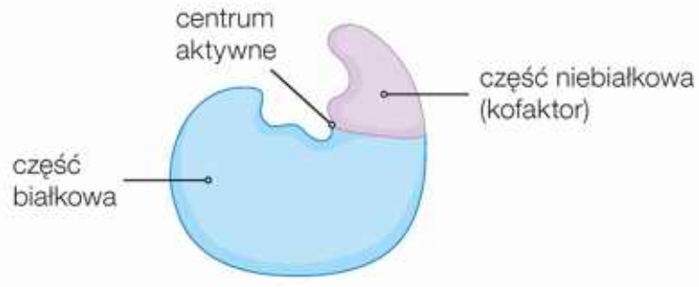
6 **Szlaki i cykle metaboliczne**

Szlaki metaboliczne	Cykle metaboliczne
• Obejmują ciągi reakcji przebiegających tylko w jednym kierunku, prowadzących do syntezy lub rozkładu określonej substancji. • Przykłady: glikoliza, rozkład glikogenu.	• Są zamkniętymi ciągami reakcji chemicznych, w których jeden z produktów reakcji końcowej cyklu jest substratem dla pierwszej reakcji kolejnego cyklu. • Przykłady: cykl Calvina, cykl Krebsa.

7 **Enzymy** – biologiczne katalizatory, czyli substancje, które przyspieszają reakcje biochemiczne przez obniżenie ich energii aktywacji. Większość enzymów należy do białek.

8 **Podział enzymów białkowych ze względu na ich budowę**

<table>
<tr><th colspan="3">ENZYMY</th></tr>
<tr><td>zbudowane z łańcuchów polipeptydowych
 

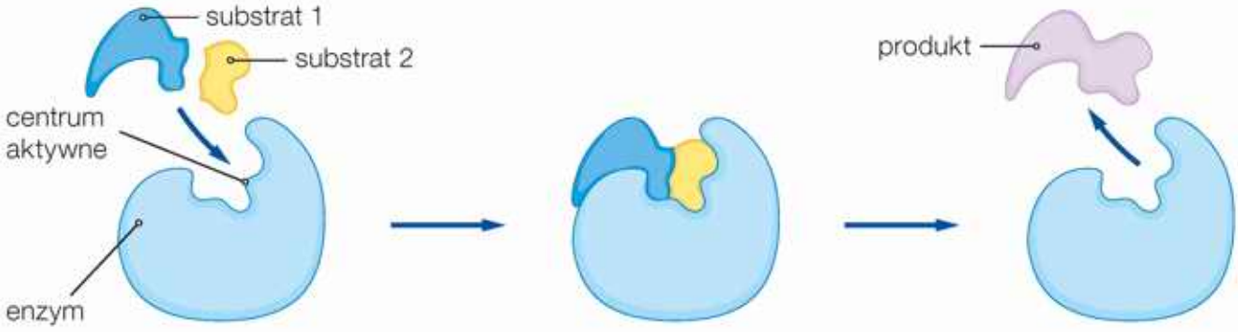
Model enzymu zbudowanego tylko z białka.</td><td colspan="2">zbudowane z łańcuchów polipeptydowych (apoenzymów) i części niebiałkowych (kofaktorów)
 

Model enzymu zbudowanego z części białkowej i niebiałkowej.</td></tr>
<tr><td rowspan="3"></td><td colspan="2">Rodzaje kofaktorów</td></tr>
<tr><td rowspan="2">jony metali, np. żelaza, miedzi, magnezu, cynku</td><td colspan="2">koenzymy</td></tr>
<tr><td>• trwale związane z apoenzymem – grupy prostetyczne, np. pochodne witamin</td><td>• luźno związane z apoenzymem, np. koenzym A, witaminy, NAD^+, FAD</td></tr>
</table>

9 **Właściwości enzymów:**

- są niezwykle efektywne,
- są swoiste względem substratu,
- mają wysoką specyficzność reakcji,
- nie zużywają się w przebiegu reakcji.

10 Przebieg katalizy enzymatycznej



Przyłączenie substratu lub substratów do centrum aktywnego.

Utworzenie kompleksu ES, co obniża energię aktywacji i przyspiesza przebieg reakcji.

Oddzielenie produktu lub produktów od enzymu.

11 Czynniki regulujące szybkość reakcji enzymatycznej

Czynniki				
stężenie substratu	temperatura	pH środowiska	aktywatory, inhibitory	Inne sposoby regulacji: • fosforylacja, defosforylacja, • proteoliza, • regulatory syntezy i degradacji enzymu.

12 Rodzaje inhibicji

Inhibicja		
nieodwracalna	**odwracalna**	
	kompetycyjna	**niekompetycyjna**
Inhibitor nieodwracalny łączy się trwale z enzymem i w ten sposób hamuje jego aktywność. Usunięcie inhibitora ze środowiska nie przywraca zdolności katalitycznych dezaktywowanym cząsteczkom enzymu.	Inhibitor kompetycyjny konkuruje z substratem o centrum aktywne enzymu. Związanie inhibitora w centrum aktywnym hamuje reakcję enzymatyczną. Inhibicję tę można ograniczyć przez zwiększenie stężenia substratu.	Inhibitor niekompetycyjny łączy się odwracalnie z enzymem poza centrum aktywnym. Enzym związany z inhibitorem jest nieaktywny katalitycznie. Inhibicję tę można ograniczyć przez usunięcie inhibitora ze środowiska.

13 Autotroficzne odżywianie się organizmów

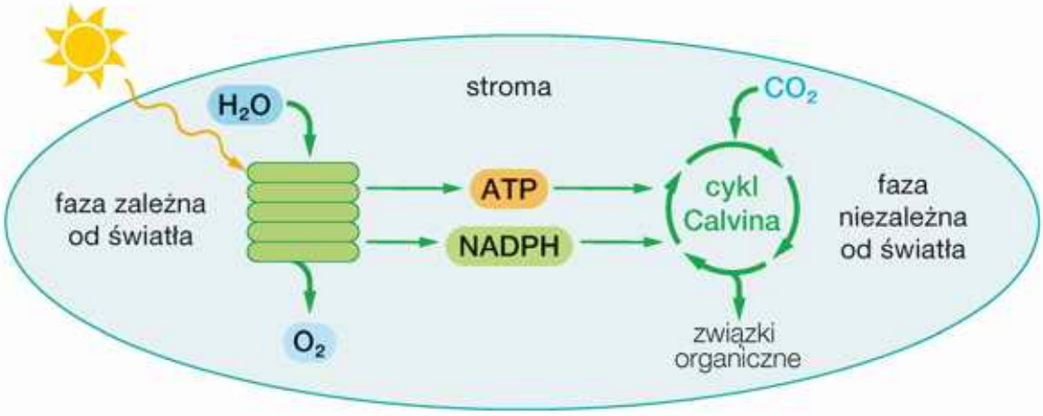
Autotrofizm – rodzaj odżywiania się organizmów, który polega na samodzielnym wytwarzaniu związków organicznych z prostych związków nieorganicznych. Podstawowym związkiem nieorganicznym wykorzystywanym w odżywianiu autotroficznym jest dwutlenek węgla.

Autotrofizm	
fotosynteza	**chemosynteza**
• Proces wytwarzania złożonych związków organicznych z prostych związków nieorganicznych z udziałem energii świetlnej. • Zachodzi u roślin, protistów roślinopodobnych oraz niektórych bakterii, m.in. sinic, bakterii zielonych i purpurowych.	• Proces wytwarzania złożonych związków organicznych z prostych związków nieorganicznych z udziałem energii chemicznej uwolnionej w wyniku utlenienia substancji obecnych w środowisku. • Zachodzi u niektórych bakterii, m.in. z rodzajów *Nitrosomonas* i *Nitrobacter*.

14 Rodzaje fotosyntezy

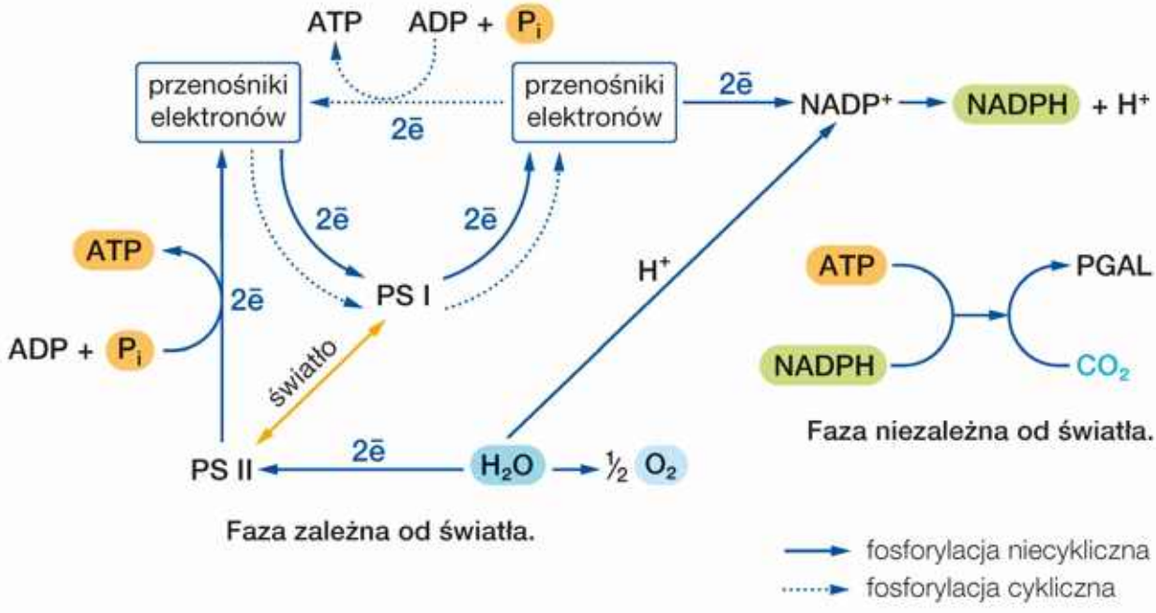
- Fotosynteza oksygeniczna – przebiega z uwolnieniem tlenu; sumaryczne równanie reakcji chemicznej: $6\ CO_2 + 6\ H_2O + E \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2$
- Fotosynteza anoksygeniczna – przebiega bez uwolnienia tlenu; sumaryczne równanie reakcji chemicznej: $6\ CO_2 + 12\ H_2S + E \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 12\ S + 6\ H_2O$

15 Fazy fotosyntezy oksygenicznej u roślin



Fotosynteza	
faza zależna od światła	**faza niezależna od światła**
• Zachodzi w tylakoidach chloroplastów. • Polega na przemianie energii świetlnej w energię chemiczną magazynowaną w postaci siły asymilacyjnej: ATP i NADPH.	• Zachodzi w stromie chloroplastów. • Polega na wykorzystaniu siły asymilacyjnej do wytworzenia związków organicznych z CO_2.

16 Przebieg fotosyntezy u roślin



Fosforylacja fotosyntetyczna niecykliczna:
$ADP + P_i + 2\ NADP^+ + 2\ H_2O \rightarrow ATP + 2\ NADPH + H^+ + O_2$

Fosforylacja fotosyntetyczna cykliczna:
$ADP + P_i \rightarrow ATP$

17 Przebieg chemosyntezy

Chemosynteza	
etap 1.	**etap 2.**
Polega na utlenieniu prostych substancji chemicznych. Umożliwia wytwarzanie siły asymilacyjnej (ATP i NADH lub ATP i NADPH) przy wykorzystaniu energii uwalnianej podczas reakcji utlenienia.	Polega na redukcji dwutlenku węgla do związków organicznych przy wykorzystaniu siły asymilacyjnej pochodzącej z pierwszego etapu chemosyntezy. Przebiega w sposób podobny do fazy fotosyntezy niezależnej od światła.

18 Porównanie fotosyntezy z chemosyntezą

Porównywane elementy	Fotosynteza	Chemosynteza
Rodzaj energii wykorzystywanej do wytwarzania siły asymilacyjnej	energia świetlna	energia chemiczna
Składniki siły asymilacyjnej	ATP i NADPH	ATP i NADH lub ATP i NADPH
Organizmy przeprowadzające proces	rośliny, protisty roślinopodobne, niektóre bakterie, m.in. sinice, bakterie zielone i purpurowe	niektóre bakterie
Znaczenie procesu dla organizmu	wytwarzanie związków organicznych	
Znaczenie procesu w przyrodzie	• wytwarzanie związków organicznych • produkcja tlenu	• wytwarzanie związków organicznych • neutralizacja substancji toksycznych • udział w krążeniu pierwiastków w przyrodzie

19 Oddychanie komórkowe i jego rodzaje

Oddychanie komórkowe – podstawowy proces dostarczający komórkom energii. W jego trakcie złożone związki organiczne są rozkładane i utleniane do związków prostszych, czemu towarzyszy uwolnienie energii.

Rodzaje oddychania komórkowego		
z udziałem tlenu	**bez udziału tlenu**	
oddychanie tlenowe	oddychanie beztlenowe	fermentacja

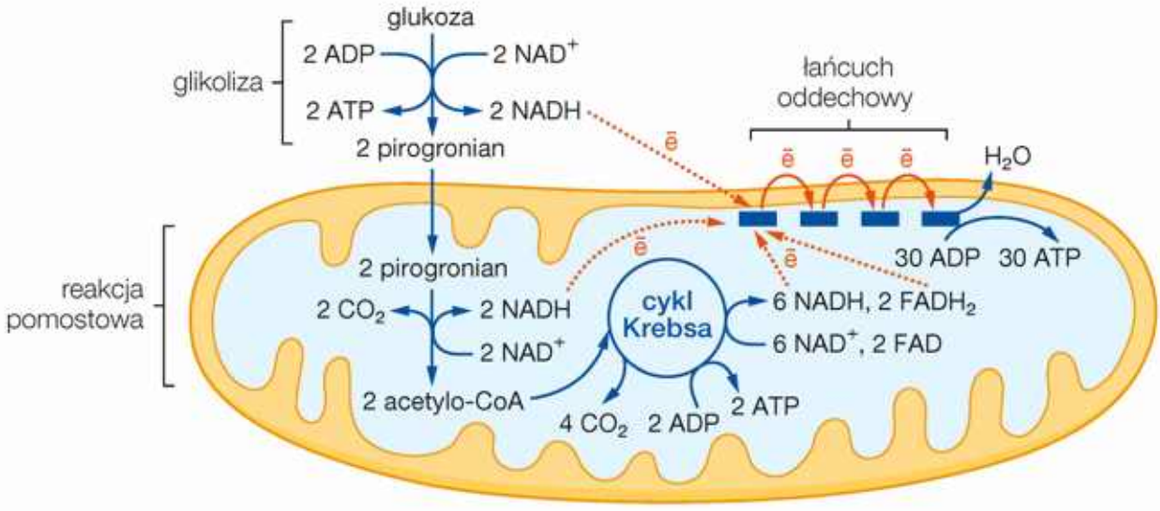
20 Podział organizmów ze względu na tolerancję tlenu w środowisku

Organizmy		
tlenowce (aeroby)	**beztlenowce bezwzględne (anaeroby obligatoryjne)**	**beztlenowce względne (anaeroby fakultatywne)**
• Żyją wyłącznie w środowisku tlenowym. • Uzyskują energię na drodze oddychania tlenowego.	• Żyją wyłącznie w środowisku beztlenowym. • Uzyskują energię z procesów zachodzących bez udziału tlenu.	• Żyją zarówno w środowisku tlenowym, jak i beztlenowym. • W obecności tlenu oddychają tlenowo, natomiast przy braku lub niedoborze tlenu uzyskują energię w procesach beztlenowych.

21 **Oddychanie tlenowe** – proces całkowitego utlenienia związku organicznego, głównie glukozy, do dwutlenku węgla i wody z uwolnieniem energii. Zachodzi u większości organizmów eukariotycznych oraz u niektórych prokariotycznych (tlenowych bakterii).

Sumaryczne równanie reakcji oddychania tlenowego: $C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 \rightarrow 6\ CO_2 + 6\ H_2O + E$

22 **Etapy oddychania tlenowego w komórce eukariotycznej**



Cecha	Glikoliza	Reakcja pomostowa	Cykl Krebsa	Łańcuch oddechowy
Mechanizm	rozkład i utlenienie glukozy do pirogronianu	przekształcenie pirogronianu w acetylo-CoA	cykl przemian prowadzących do wytworzenia zredukowanych przenośników elektronów	utlenianie zredukowanych przenośników elektronów sprzężone z syntezą ATP
Substraty	glukoza, ADP, –P, NAD^+, H^+	pirogronian, CoA NAD^+, H^+	szczawiooctan, acetylo-CoA, NAD^+, FAD, H^+, ADP, –P	NADH, $FADH_2$, ADP, P_i, O_2
Produkty	pirogronian, ATP, NADH	acetylo-CoA, CO_2, NADH	szczawiooctan, CoA, CO_2, NADH, $FADH_2$, ATP	NAD^+, FAD, ATP, H_2O
Lokalizacja	cytozol	matrix mitochondrium	matrix mitochondrium	wewnętrzna błona mitochondrium, przestrzeń międzybłonowa
Zysk energetyczny w przeliczeniu na jedną cząsteczkę glukozy	2 ATP	–	2 ATP	26–28 ATP

23 **Oddychanie beztlenowe** – proces całkowitego utlenienia związku organicznego, głównie glukozy, w warunkach beztlenowych. Produktami są: dwutlenek węgla, woda, związek nieorganiczny oraz ATP. Zachodzi wyłącznie u niektórych bakterii, m.in. bakterii denitryfikacyjnych.

24 Fermentacja – proces uzyskiwania energii, który polega na niecałkowitym utlenieniu substratu organicznego, głównie glukozy, w warunkach beztlenowych. Składa się z dwóch etapów: glikolizy oraz regeneracji NAD^+. Zachodzi u niektórych bakterii, grzybów, protistów zwierzęcych, pasożytów układu pokarmowego oraz w niektórych tkankach organizmów tlenowych.

	Rodzaj fermentacji	
Cecha	**Alkoholowa**	**Mleczanowa**
Ostateczny akceptor elektronów	etanal (aldehyd octowy)	pirogronian
Lokalizacja w komórce	cytozol	cytozol
Podstawowy substrat organiczny	glukoza	glukoza
Ostateczne produkty procesu	alkohol etylowy, ATP, CO_2	kwas mlekowy, ATP
Wydajność energetyczna	2 ATP	2 ATP

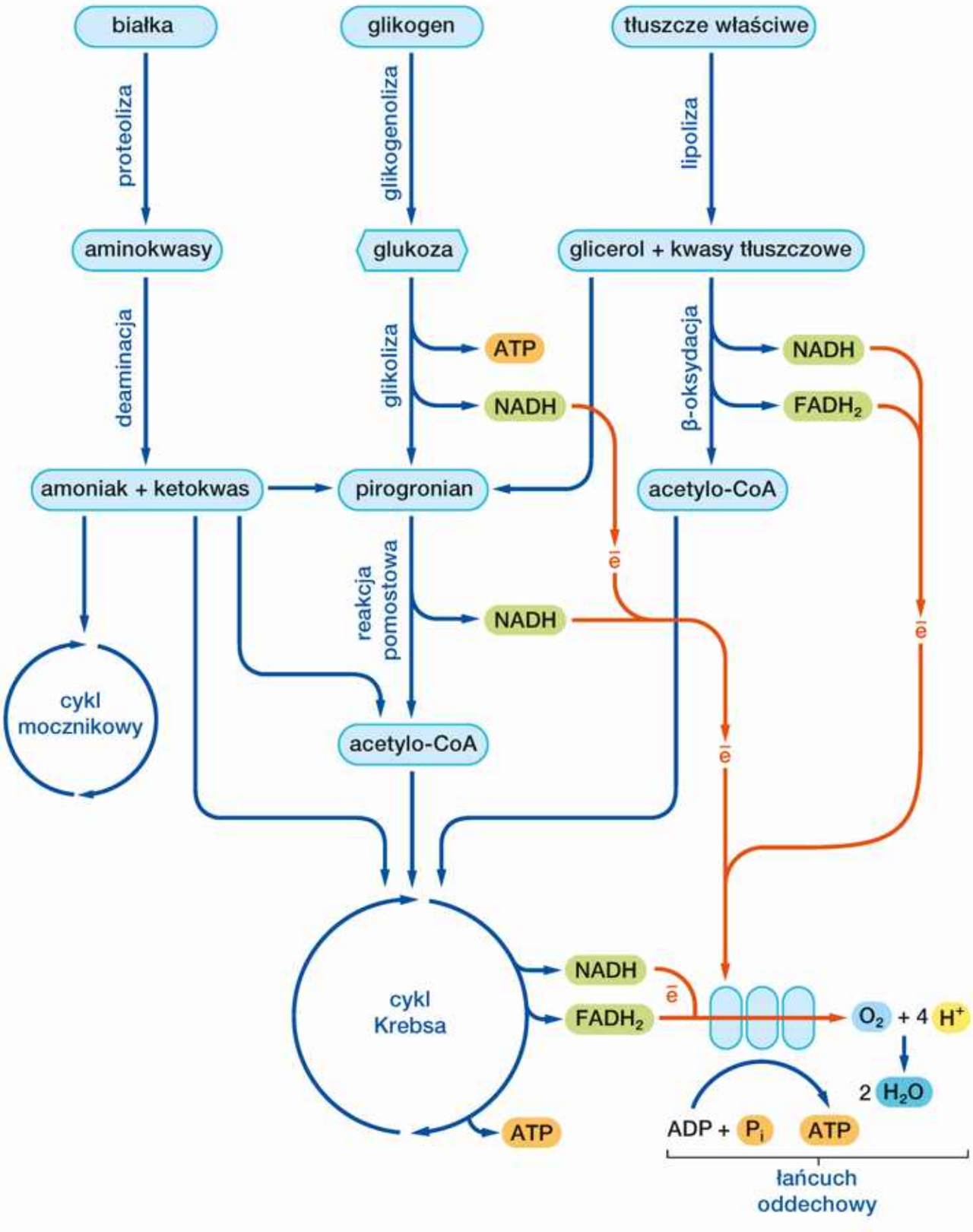
25 Inne przemiany anaboliczne w organizmie zwierzęcym

	Przemiana			
Cecha	**Glikogenogeneza**	**Glukoneogeneza**	**Synteza kwasów tłuszczowych**	**Cykl mocznikowy**
Sens biologiczny przemiany	synteza wielocukru zapasowego – glikogenu	synteza glukozy w sytuacji braku sacharydów w organizmie	synteza kwasów tłuszczowych niezbędnych do syntezy tłuszczów	synteza mocznika – jednego z ostatecznych produktów rozkładu aminokwasów
Główne substraty	glukoza	mleczan, aminokwasy, glicerol	acetylo-CoA	amoniak
Główne produkty	glikogen	glukoza	kwasy tłuszczowe	mocznik
Lokalizacja procesu w organizmie	głównie wątroba – cytozol komórek	głównie wątroba i nerki – cytozol komórek	tkanka tłuszczowa – cytozol komórek	wątroba – cytozol i mitochondria komórek

26 Inne przemiany katabolizne w organizmie zwierzęcym

	Przemiana	
Cecha	**Glikogenoliza**	**β-oksydacja**
Sens biologiczny przemiany	rozkład wielocukru zapasowego – glikogenu na potrzeby energetyczne komórki	rozkład kwasów tłuszczowych na potrzeby energetyczne komórki
Główne substraty	glikogen	kwasy tłuszczowe
Główne produkty	glukoza	acetylo-CoA
Lokalizacja procesu w organizmie	mięśnie i wątroba – cytozol komórek	tkanka tłuszczowa – mitochondria komórek

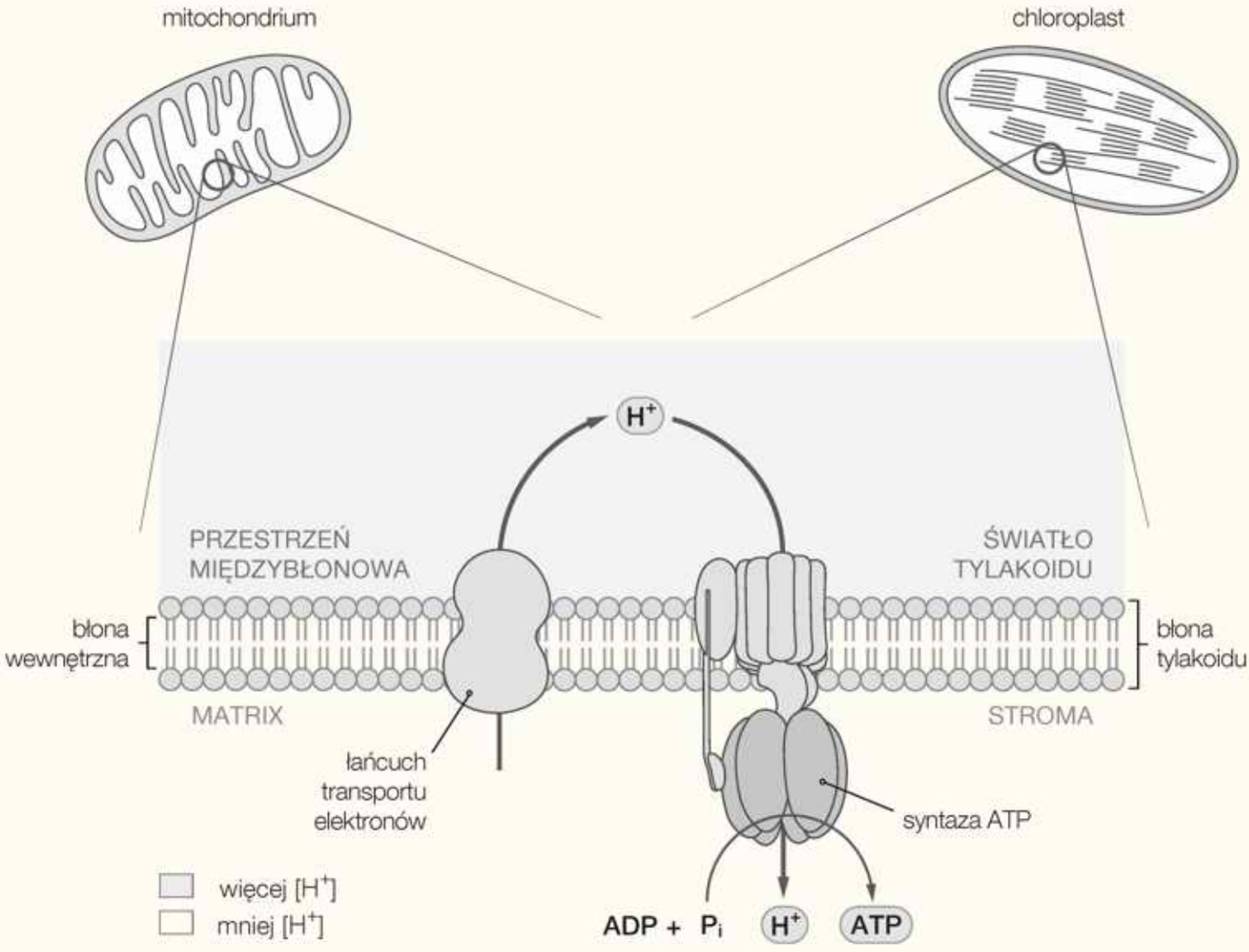
27 Związek między metabolizmem sacharydów, tłuszczów i białek a pozyskiwaniem energii przez komórkę



Sposób na zadania

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Schemat przedstawia wytwarzanie ATP w mitochondriach i chloroplastach.



a) Podaj dwie wspólne cechy budowy mitochondriów i chloroplastów.

b) Określ, czy transport protonów (H^+) ze stromy chloroplastów do światła tylakoidu to transport bierny czy czynny. Odpowiedź uzasadnij.

c) Zaznacz prawidłowe dokończenie zdania.

Źródłem elektronów przemieszczających się w łańcuchu transportu elektronów

A. w mitochondriach jest tlen, natomiast w chloroplastach – światło słoneczne.

B. w mitochondriach jest tlen, natomiast w chloroplastach – woda.

C. w mitochondriach są związki organiczne, natomiast w chloroplastach jest światło słoneczne.

D. w mitochondriach są związki organiczne, natomiast w chloroplastach jest woda.

Wskazówki

Podpunkt a)

1. Przypomnij sobie, jak są zbudowane mitochondria i chloroplasty. Informacje na ten temat znajdziesz na s. 105 we fragmencie **Budowa mitochondriów** oraz na s. 107 we fragmencie **Budowa chloroplastów**. Część informacji możesz również uzyskać dzięki analizie schematu.
2. Podczas udzielania odpowiedzi pamiętaj, aby podać dwie cechy budowy wspólne dla obu struktur.

Podpunkt b)

1. Przypomnij sobie, czym charakteryzuje się transport bierny, a czym – czynny. Informacje dotyczące tych tematów znajdziesz w rozdziale 3 na s. 89 we fragmencie **Transport bierny i czynny**.
2. Przyjrzyj się schematowi. Odszukaj na nim informacje dotyczące stężenia jonów H^+ w stromie oraz w świetle tylakoidu. Zastanów się, czy transport protonów ze stromy chloroplastów do światła tylakoidu zachodzi zgodnie z gradientem stężeń czy wbrew gradientowi stężeń.
3. Na podstawie tych informacji sformułuj odpowiedź. Pamiętaj, aby ją uzasadnić w oparciu kierunek transportu i różnicę stężeń H^+ w obu strukturach.

Podpunkt c)

1. Przypomnij sobie, jaka cząsteczka jest źródłem elektronów przechodzących przez przenośniki elektronów w chloroplastach, a jaka w mitochondriach. Informacje na ten temat znajdziesz na s. 178–179 we fragmencie **Przebieg fotosyntezy** oraz na s. 190–191 we fragmencie **Przebieg oddychania tlenowego**. Na podstawie tych informacji zaznacz właściwą odpowiedź.

Zadania powtórzeniowe

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Oksydaza polifenolowa to enzym zawarty m.in. w owocach i warzywach. Katalizuje on reakcje utleniania związków fenolowych do ich barwnych pochodnych. W wyniku działania oksydazy polifenolowej świeżo obrane lub przekrojone owoce i warzywa ciemnieją.

Uczniowie na lekcji przeprowadzili doświadczenie mające na celu zbadanie wpływu określonego czynnika na aktywność oksydazy polifenolowej w bulwie ziemniaka. W tym celu umyli dwa ziemniaki. Jeden z nich w całości ugotowali, a potem ostudzili, natomiast drugi pozostawili surowy. Następnie oba ziemniaki przecięli na pół i świeże przekroje zwilżyli 1% roztworem pirokatechiny, która jest związkiem fenolowym. Po pewnym czasie uczniowie zaobserwowali, że przekrój surowego ziemniaka zmienił barwę na brunatnoczarną, natomiast przekrój ugotowanego ziemniaka pozostał jasny.

a) Wyjaśnij, dlaczego przekrój ugotowanego ziemniaka pozostał jasny.

b) Sformułuj problem badawczy do opisanego doświadczenia.

2 Poniżej przedstawiono uproszczony zapis jednego z procesów zachodzących w komórce.

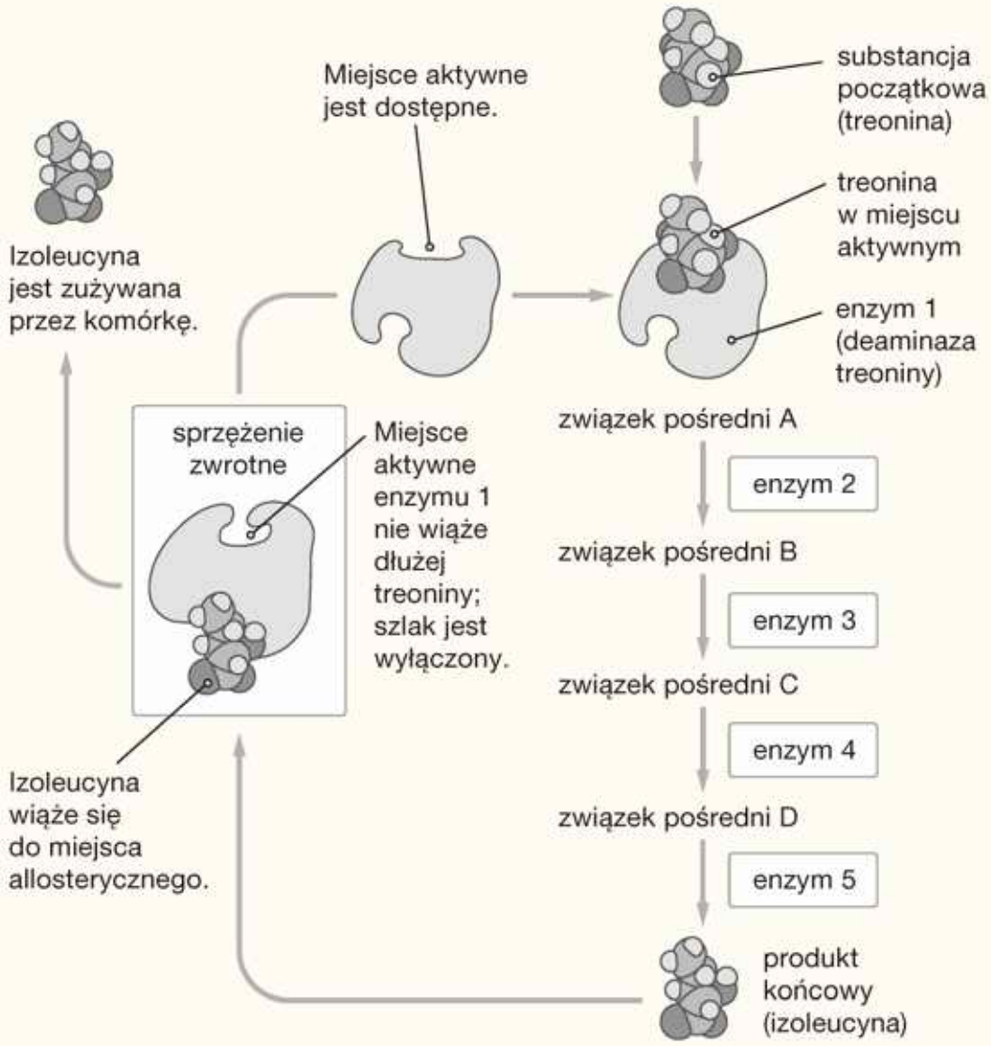
$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + E$

a) Określ, czy przedstawiony proces ma charakter kataboliczny czy anaboliczny. Odpowiedź uzasadnij poprzez odniesienie się do jednej z cech tego procesu.

b) Podaj nazwę struktury komórkowej, w której zachodzi większość etapów przedstawionego procesu.

c) Określ, który z substratów przedstawionej reakcji jest reduktorem.

3 Schemat przedstawia inhibicję syntezy izoleucyny (aminokwasu o wzorze sumarycznym $C_6H_{13}NO_2$) z treoniny (aminokwasu o wzorze sumarycznym $C_4H_9NO_3$) przez sprzężenie zwrotne.

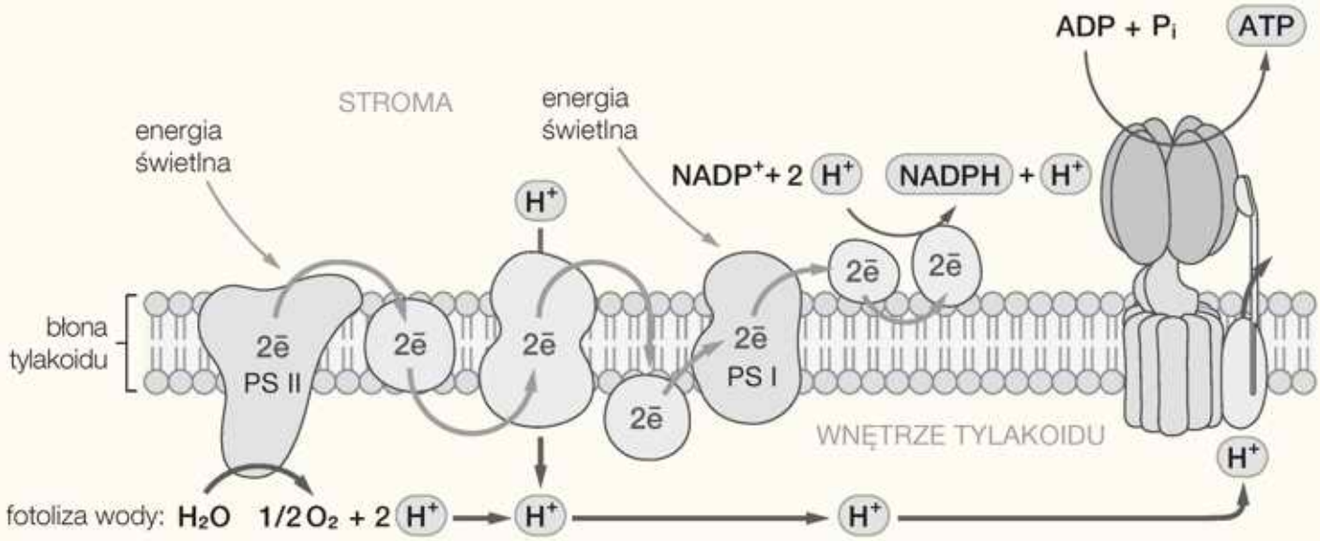


Na podstawie: N.A. Campbell i in., *Biologia*, Poznań 2012, s. 159.

Określ, które stwierdzenia dotyczące szlaku syntezy izoleucyny oraz jego inhibicji są prawdziwe. Zaznacz P, jeśli stwierdzenie jest prawdziwe, albo F – jeśli jest fałszywe.

1.	Inhibicja przez sprzężenie zwrotne chroni komórkę przed nadmierną akumulacją izoleucyny.	P	F
2.	Izoleucyna jest inhibitorem kompetycyjnym deaminazy treoniny.	P	F
3.	Szlak syntezy izoleucyny z treoniny jest szlakiem katabolicznym.	P	F

4 Schemat przedstawia przebieg fazy zależnej od światła fotosyntezy.



droga elektronów

droga protonów

a) Określ, które z produktów fazy zależnej od światła stanowią siłę asymilacyjną.

b) Określ, które stwierdzenia dotyczące fazy zależnej od światła są prawdziwe. Zaznacz P, jeśli stwierdzenie jest prawdziwe, albo F – jeśli jest fałszywe.

1.	Bezpośrednią siłą napędową fosforylacji fotosyntetycznej zachodzącej z udziałem syntazy ATP jest energia pochodząca z elektronów transportowanych na łańcuchu przenośników.	P	F
2.	Stężenie protonów jest większe we wnętrzu tylakoidu niż w stromie chloroplastu.	P	F
3.	Głównym celem fotolizy wody podczas fazy zależnej od światła jest produkcja tlenu niezbędnego w procesie oddychania.	P	F

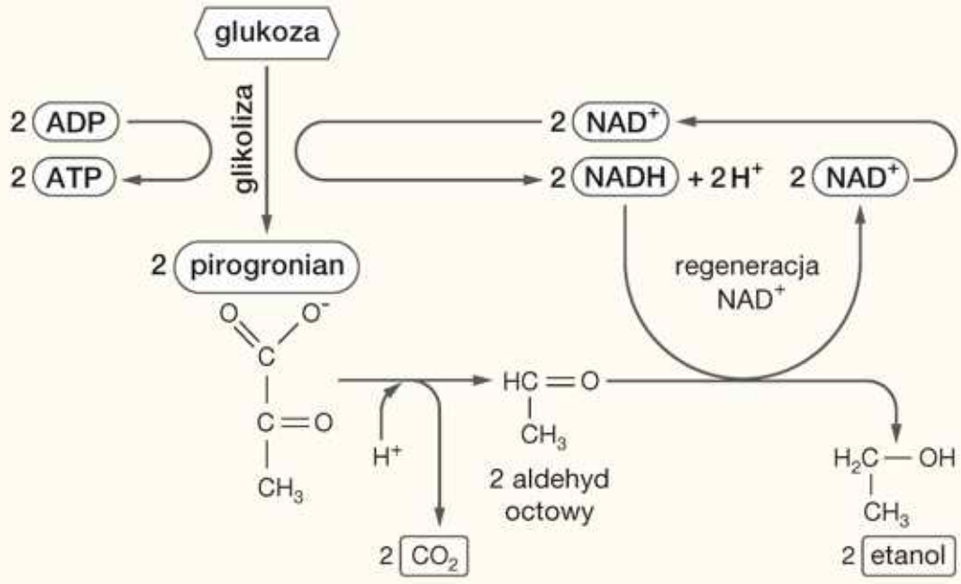
5 W cyklu Krebsa z jednej cząsteczki acetylo-CoA powstaje 10 cząsteczek ATP. Jednym ze źródeł acetylo-CoA jest β-oksydacja kwasów tłuszczowych, np. kwasu stearynowego. Jest to nasycony kwas tłuszczowy występujący głównie w tłuszczach zwierzęcych. W swoim łańcuchu kwas stearynowy zawiera 18 atomów węgla.

a) Określ, ile cząsteczek ATP powstanie w cyklu Krebsa, do którego wejdą wszystkie cząsteczki acetylo-CoA powstałe w wyniku rozpadu jednej cząsteczki kwasu stearynowego.

b) Określ, czy kwas stearynowy ma w temperaturze pokojowej konsystencję stałą, czy ciekłą. Odpowiedź uzasadnij.

c) Podaj nazwę substancji, która oprócz kwasów tłuszczowych, jest podstawowym składnikiem tłuszczów właściwych.

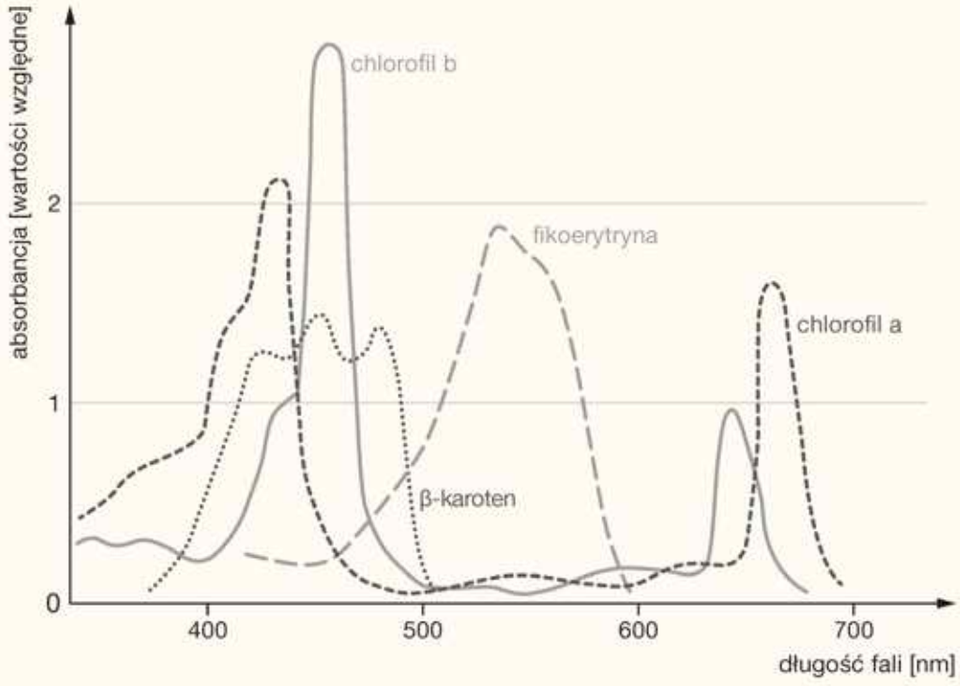
6 Schemat przedstawia reakcje zachodzące podczas fermentacji alkoholowej.



a) Wyjaśnij, jakie znaczenie dla całego procesu fermentacji alkoholowej ma etap przekształcenia pirogronianu do etanolu.

b) Określ rolę NADH w procesie fermentacji alkoholowej.

7 Poniżej przedstawiono widma absorpcyjne głównych barwników fotosyntetycznych.



a) Na podstawie wykresu uzasadnij, że β-karoten jest barwnikiem pomocniczym w stosunku do chlorofili.

b) Wymień dwie funkcje karotenoidów, inne niż aktywny udział w fotosyntezie.

c) Określ, do jakiej grupy związków organicznych należą karotenoidy.

Sposób na zadania – odpowiedzi

Strona	Propozycja poprawnej odpowiedzi
	Chemiczne podstawy życia
26	**a)** Podlewanie nasion pieprzycy siewnej wodą z wyciągiem z czosnku wpływa na kiełkowanie i rozwój siewek.
	b) Szalka z watą oraz nasionami pieprzycy siewnej, ustawiona na parapecie pracowni biologicznej i podlewana przez kilka dni wodą bez wyciągu z czosnku
	c) wysokość siewki, powierzchnia blaszki liściowej
	Chemiczne podstawy życia
73	**a)** Insulina należy do białek prostych, ponieważ jest zbudowana wyłącznie z aminokwasów / ponieważ nie zawiera części niebiałkowej.
	b) Cząsteczka insuliny jest zbudowana z dwóch łańcuchów polipeptydowych (z dwóch podjednostek).
	c) Sekwencja DNA wyznacza sekwencję aminokwasów w łańcuchu polipeptydowym, czyli warunkuje pierwszorzędową strukturę białka.
	Komórka – podstawowa jednostka życia
142	**a)** Ponieważ transport glukozy ze światła jelita do wnętrza komórki nabłonka jelitowego odbywa się wbrew gradientowi stężeń (ze środowiska o niższym stężeniu glukozy do środowiska o wyższym jej stężeniu), natomiast transport tej substancji z wnętrza komórki nabłonka jelitowego do płynu zewnątrzkomórkowego odbywa się zgodnie z gradientem (ze środowiska o wyższym stężeniu glukozy do środowiska o niższym jej stężeniu).
	b) 1. P, 2. P, 3. F
	Metabolizm
219	**a)** Do wyboru dwie spośród podanych: obecność dwóch błon, własne DNA, własne rybosomy
	b) Transport czynny, ponieważ zachodzi wbrew gradientowi stężeń (ze środowiska o mniejszym stężeniu protonów do środowiska o większym ich stężeniu).
	c) D

Doświadczenia i obserwacje – odpowiedzi

Strona	Tytuł doświadczenia lub obserwacji	Propozycja poprawnej odpowiedzi
	Chemiczne podstawy życia	
44	Wykrywanie cukrów redukujących w soku z winogron	**Wynik obserwacji:** Zarówno w próbie badawczej, jak i kontrolnej nastąpiła zmiana barwy roztworu z niebieskiej na ceglastoczerwoną. **Wniosek:** W soku z winogron znajdują się cukry redukujące.
49	Obserwacja lipidów w nasionach słonecznika	**Wynik obserwacji:** Rozgniecione nasiona słonecznika zabarwiły się na czerwono.
53	Wykrywanie wiązań peptydowych – reakcja biuretowa	**Problem badawczy:** Czy roztwór białka jaja kurzego zawiera białka? **Hipoteza:** Roztwór białka jaja kurzego zawiera białka. / Roztwór białka jaja kurzego nie zawiera białek. **Wynik obserwacji:** W próbie badawczej nastąpiła zmiana barwy roztworu z niebieskiej na fioletową. W próbie kontrolnej nie zaszły żadne zmiany. **Wniosek:** Roztwór białka jaja kurzego zawiera białka.
59	Badanie wpływu różnych substancji i wysokiej temperatury na mieszaninę białka z wodą	**Problem badawczy:** Wpływ wysokiej temperatury, alkoholi, stężonych kwasów i soli metali lekkich na mieszaninę białka z wodą. **Hipoteza:** Pod wpływem wysokiej temperatury, alkoholi, stężonych kwasów i soli metali lekkich białka ulegają denaturacji. / Pod wpływem wysokiej temperatury, alkoholi, stężonych kwasów i soli metali lekkich białka ulegają odwracalnej koagulacji. / Pod wpływem wysokiej temperatury, alkoholi i stężonych kwasów białka ulegają denaturacji, a pod wpływem soli metali lekkich – odwracalnej koagulacji. / wysalaniu. **Wynik doświadczenia:** W próbach badawczych wytrącił się kłaczkowaty, biały osad. Po dodaniu wody osad rozpuścił się tylko w probówce nr 4. / w probówce z NaCl. **Wniosek:** Pod wpływem wysokiej temperatury, alkoholi i stężonych kwasów białka ulegają denaturacji, a pod wpływem soli metali lekkich – odwracalnej koagulacji. / wysalaniu.
	Komórka – podstawowa jednostka życia	
91	Odróżnianie substancji osmotycznie czynnych od osmotycznie biernych	**Wynik doświadczenia:** W probówce B poziom cieczy w rurce był taki sam jak w próbie kontrolnej, a w probówce A – niższy. **Wniosek**: Glukoza jest substancją osmotycznie czynną, a skrobia – osmotycznie bierną.

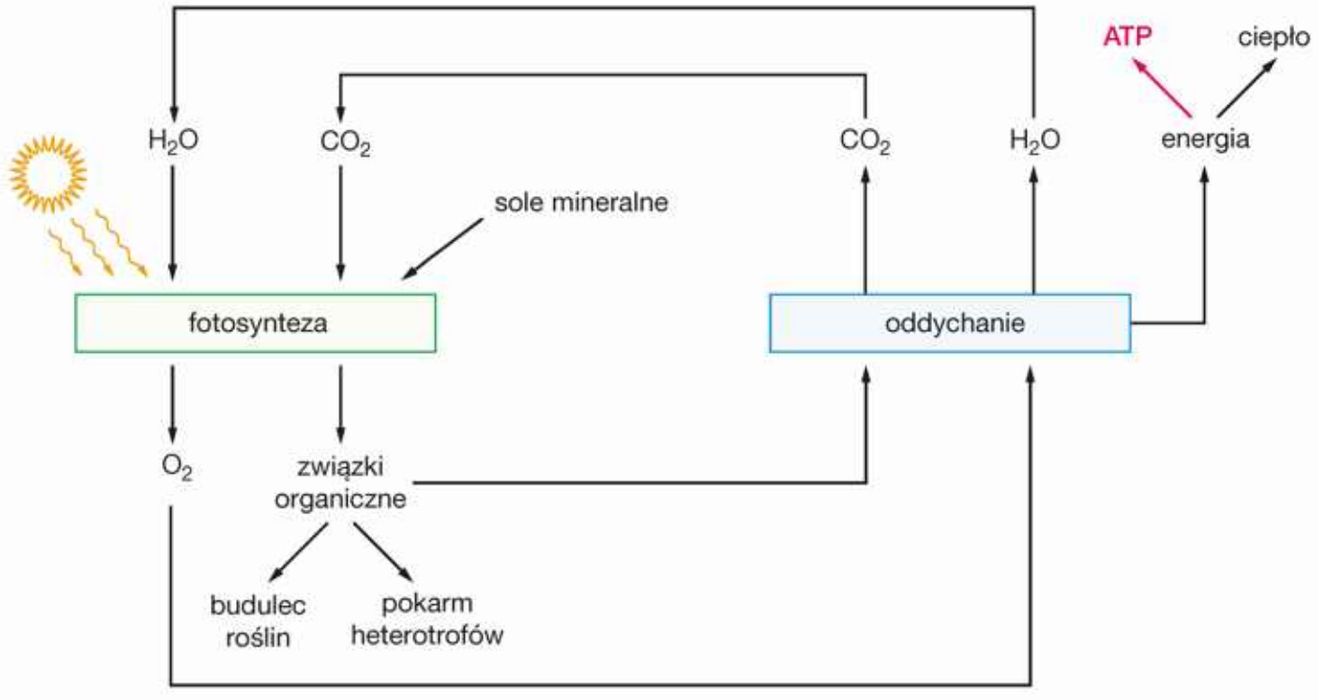
Metabolizm		
169	Badanie wpływu pH na aktywność pepsyny – enzymu proteolitycznego żołądka	**Wynik doświadczenia:** W próbach kontrolnych nie nastąpiła zmiana zabarwienia roztworu. W próbach badawczych nastąpiła zmiana zabarwienia roztworu w probówkach, w których pH było zbliżone do 2. **Wniosek:** Wartość pH ma wpływ na aktywność pepsyny.
170	Badanie wpływu wysokiej i niskiej temperatury na aktywność katalazy	**Wynik doświadczenia:** W próbie kontrolnej zaobserwowano pojawianie się pęcherzyków gazu. W próbie badawczej nr 1 ilość pęcherzyków gazu była znacznie mniejsza niż w próbie kontrolnej, natomiast w próbie badawczej nr 2 pęcherzyki gazu się nie pojawiły. **Wniosek:** Wysoka i niska temperatura powodują spadek aktywności katalazy.
180	Synteza skrobi asymilacyjnej w liściach pelargonii	**Wynik doświadczenia:** W próbie badawczej liść zalany płynem Lugola nie zabarwił się na granatowo. W próbie kontrolnej liść zalany płynem Lugola zabarwił się na granatowo. **Wniosek:** W liściach pelargonii poddanych działaniu światła zachodzi synteza skrobi asymilacyjnej.
194	Wydzielanie dwutlenku węgla przez kiełkujące nasiona	**Wynik doświadczenia:** W pierwszej kolbie z wodą wapienną nie wytrącił się osad / nie zaobserwowano zmętnienia. W drugiej kolbie z wodą wapienną wytrącił się osad / zaobserwowano zmętnienie. **Wniosek:** Kiełkujące nasiona wydzielają dwutlenek węgla.
195	Pochłanianie tlenu przez kiełkujące nasiona	**Wynik doświadczenia:** Barwny płyn w U-rurce przemieścił się w kierunku próby badawczej. **Wniosek:** Kiełkujące nasiona pochłaniają tlen.
200	Wydzielanie dwutlenku węgla podczas fermentacji alkoholowej	**Wynik doświadczenia:** W próbie badawczej nastąpiło zmętnienie wody wapiennej, a w próbie kontrolnej – nie. **Wniosek:** Jednym z produktów fermentacji alkoholowej jest dwutlenek węgla.

Tablice biologiczne

Etapy doświadczenia biologicznego

1 Obserwacja	**Opis:** Polega na zaobserwowaniu przez badacza nieznanego organizmu czy niewytłumaczonego procesu. **Przykład:** Kwiaty niezapominajek rosnących w glebie o pH obojętnym i kwaśnym różnią się barwą.
2 Sformułowanie problemu badawczego	**Opis:** Jest to określenie celu badania. Problem badawczy przyjmuje postać zdania pytającego, na które badacz chce znaleźć odpowiedź, lub równoważnika zdania. **Przykład:** Czy pH podłoża ma wpływ na barwę kwiatów niezapominajek?
3 Postawienie hipotezy	**Opis:** Polega na udzieleniu przewidywanej, niekoniecznie prawdziwej odpowiedzi na pytanie sformułowane w problemie badawczym. **Przykład:** pH podłoża wpływa na barwę kwiatów niezapominajek.
4 Weryfikacja hipotezy	**Opis:** Są to wszystkie czynności niezbędne do sprawdzenia prawdziwości hipotezy. Etap ten obejmuje: określenie sposobu, w jaki badacz będzie sprawdzał hipotezę; przeprowadzenie badań; zebranie wyników i analizę wyników. **Przykład:** Rośliny z próby kontrolnej rosły na podłożu o pH wynoszącym ok. 7, a rośliny z próby badawczej – na podłożu o pH wynoszącym ok. 5,5. Kwiaty roślin z próby kontrolnej miały błękitną barwę, a z próby badawczej – różową barwę.
5 Sformułowanie wniosku	**Opis:** Jest to określenie, czy hipoteza została potwierdzona, czy odrzucona. **Przykład:** Hipoteza została potwierdzona. Sformułowany wniosek brzmi: pH podłoża ma wpływ na barwę kwiatów niezapominajek.

Związek między fotosyntezą a oddychaniem



Wykrywanie związków organicznych w materiale biologicznym

Wykrywanie związków organicznych w materiale biologicznym jest techniką (procedurą) badawczą, którą można wykorzystać zarówno podczas przeprowadzania obserwacji, jak i doświadczeń. To, w jakim rodzaju badania będzie ona wykorzystana, zależy od tego, jak jest sformułowany problem badawczy.

1. **Przykład obserwacji**

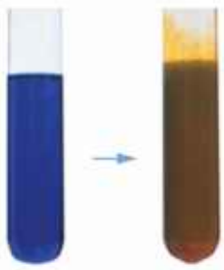
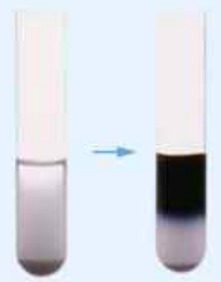
   Problem badawczy: Czy bulwy ziemniaka zawierają skrobię?

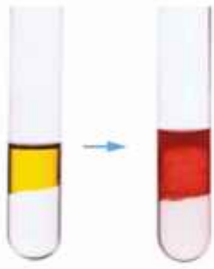
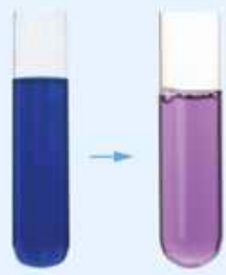
   Takie badanie jest obserwacją, ponieważ jego celem jest ustalenie stanu faktycznego, czyli obecności skrobi w bulwach ziemniaka, a nie ustalenie wpływu określonego czynnika na proces lub obiekt badawczy.

2. **Przykład doświadczenia**

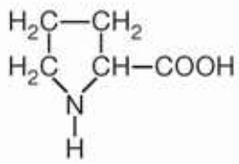
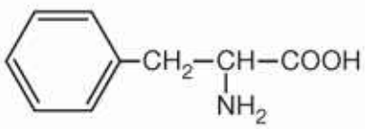
   Problem badawczy: Czy wysoka temperatura wpływa na zawartość skrobi w bulwach ziemniaka?

   Takie badanie jest doświadczeniem, ponieważ można wskazać w nim czynnik, którego wpływ badamy. Czynnikiem tym jest wysoka temperatura.

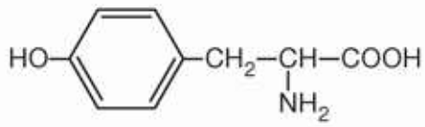
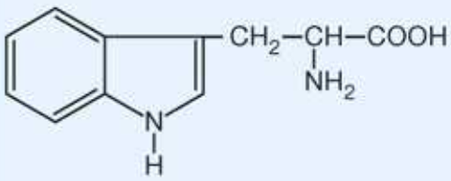
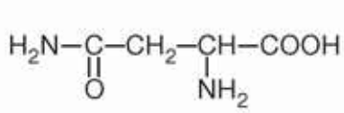
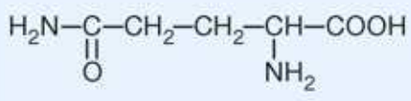
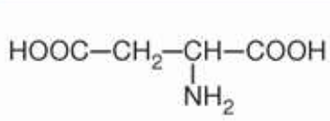
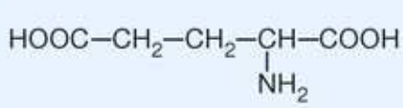
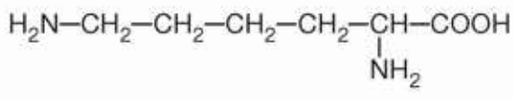
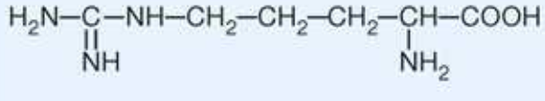
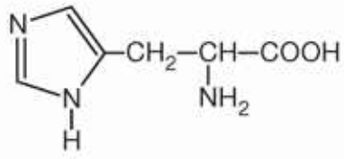
Wykrywane związki organiczne		Reakcja	Charakterystyka reakcji	Wynik reakcji
Cukry	Cukry zawierające wolną grupę aldehydową	**Nazwa:** próba Fehlinga. **Odczynniki:** • odczynnik Fehlinga I – wodny roztwór $CuSO_4$, • odczynnik Fehlinga II – wodny roztwór NaOH i winianu sodowo-potasowego. W wyniku zmieszania obu odczynników powstaje $Cu(OH)_2$.	• Pozwala na wykrywanie w materiale biologicznym cukrów redukujących, czyli cukrów zawierających wolną grupę aldehydową. Działanie odczynników Fehlinga opiera się na utlenieniu cukru do kwasu karboksylowego oraz redukcji $Cu(OH)_2$ do Cu_2O. • Jest to próba jakościowa i ilościowa. Natężenie barwy ceglastoczerwonej i masa powstałego osadu są tym większe, im większa jest zawartość cukru redukującego w próbie.	Na ściankach probówki w obecności aldozy pojawia się ceglastoczerwony osad Cu_2O.  wynik pozytywny
	Skrobia	**Nazwa:** próba jodowa. **Odczynnik:** płyn Lugola (roztwór jodu w jodku potasu) lub jodyna (alkoholowy roztwór jodu).	• Pozwala na wykrywanie skrobi w materiale biologicznym. Zabarwienie skrobi jest spowodowane wnikaniem jodu do wnętrza spiralnie skręconego łańcucha amylozy i powstaniem barwnego związku kompleksowego. • Jest to próba jakościowa i ilościowa. Natężenie granatowej barwy jest tym większe, im większa jest zawartość skrobi w próbie.	Skrobia zabarwia się na granatowy kolor.  wynik pozytywny

Tłuszcze	**Odczynnik:** syntetyczny barwnik – Sudan III	Sudan III jest barwnikiem rozpuszczalnym w tłuszczach.	Krople tłuszczu wybarwiają się na czerwony kolor.  wynik pozytywny
Białka	**Nazwa:** reakcja biuretowa. **Odczynnik:** $Cu(OH)_2$ otrzymany w wyniku zmieszania roztworów $CuSO_4$ i NaOH.	• Pozwala na wykrywanie peptydów i białek zawierających w cząsteczce co najmniej dwa wiązania peptydowe. Takie związki tworzą w środowisku zasadowym kompleksy z jonami miedzi. • Jest to próba jakościowa i ilościowa. Natężenie fioletowej barwy jest tym większe, im większa jest zawartość peptydu lub białka w próbie.	Następuje zmiana barwy roztworu z niebieskiej na fioletową w obecności peptydów i białek.  wynik pozytywny
	Nazwa: reakcja ksantoproteinowa. **Odczynnik:** stężony roztwór HNO_3.	• Pozwala na wykrywanie białek zawierających aminokwasy aromatyczne (tyrozynę, tryptofan oraz fenyloalaninę). Pod wpływem stężonego roztworu HNO_3 zachodzi reakcja tego kwasu z pierścieniem aromatycznym aminokwasu. • Jest to próba jakościowa i ilościowa. Natężenie żółtej barwy jest tym większe, im większa jest zawartość aminokwasów aromatycznych w białku.	W obecności białek zawierających aminokwasy aromatyczne pojawia się żółte zabarwienie.  wynik pozytywny

Wzory i nazwy aminokwasów białkowych

Wzór półstrukturalny	Nazwa zwyczajowa	Skróty nazwy zwyczajowej*	pI
H_2N-CH_2-COOH	glicyna	Gly, G	5,97
$H_3C-\underset{\displaystyle NH_2}{\underset{\vert}{CH}}-COOH$	alanina	Ala, A	6,02
$\begin{matrix} H_3C \\ H_3C \end{matrix}\!\!>\!CH-\underset{\displaystyle NH_2}{\underset{\vert}{CH}}-COOH$	walina	Val, V	5,97
$\begin{matrix} H_3C \\ H_3C \end{matrix}\!\!>\!CH-CH_2-\underset{\displaystyle NH_2}{\underset{\vert}{CH}}-COOH$	leucyna	Leu, L	5,98
$H_3C-CH_2-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{\vert}{CH}}-\underset{\displaystyle NH_2}{\underset{\vert}{CH}}-COOH$	izoleucyna	Ile, I	6,02
$HO-CH_2-\underset{\displaystyle NH_2}{\underset{\vert}{CH}}-COOH$	seryna	Ser, S	5,68
$HS-CH_2-\underset{\displaystyle NH_2}{\underset{\vert}{CH}}-COOH$	cysteina	Cys, C	5,02
$H_3C-\underset{\displaystyle OH}{\underset{\vert}{CH}}-\underset{\displaystyle NH_2}{\underset{\vert}{CH}}-COOH$	treonina	Thr, T	6,53
	prolina	Pro, P	6,10
$H_3C-S-CH_2-CH_2-\underset{\displaystyle NH_2}{\underset{\vert}{CH}}-COOH$	metionina	Met, M	5,75
	fenyloalanina	Phe, F	5,98

* Międzynarodowe skróty stosowane dla aminokwasów białkowych.

Wzór półstrukturalny	Nazwa zwyczajowa	Skróty nazwy zwyczajowej*	pI
	tyrozyna	Tyr, Y	5,65
	tryptofan	Trp, W	5,88
	asparagina	Asn, N	5,41
	glutamina	Gln, Q	5,65
	kwas asparaginowy	Asp, D	2,87
	kwas glutaminowy	Glu, E	3,22
	lizyna	Lys, K	9,74
	arginina	Arg, R	10,76
	histydyna	His, H	7,74

* Międzynarodowe skróty stosowane dla aminokwasów białkowych.

Przydatne terminy

β-oksydacja – zachodzący w mitochondriach rozkład kwasów tłuszczowych do acetylo-CoA.

acetylokoenzym A (acetylo-CoA) – aktywny octan, związek wysokoenergetyczny odgrywający kluczową rolę w metabolizmie. Bierze udział m.in. w cyklu Krebsa.

adenozynotrifosforan (ATP) – związek wysokoenergetyczny składający się z adeniny, rybozy i trzech reszt fosforanowych. Jest podstawowym nośnikiem energii w reakcjach biochemicznych.

aktywator – substancja, która zwiększa aktywność enzymu, ale nie bierze bezpośredniego udziału w reakcji katalizy.

aminokwas – podstawowa jednostka budulcowa białek i peptydów (monomer).

anabolizm – procesy syntezy złożonych związków występujących w organizmie ze związków o prostszej strukturze.

antyport – rodzaj czynnego transportu substancji przez błonę lipidową z udziałem białek błonowych. Polega na jednoczesnym transporcie dwóch substancji przez błonę, przy czym substancje te są transportowane w odwrotnych kierunkach.

aparat Golgiego – organellum otoczone jedną błoną, odpowiadające głównie za modyfikowanie, sortowanie i transport białek.

apoenzym – białkowa część enzymu czynna katalitycznie dopiero po połączeniu z niebiałkowym kofaktorem.

apoptoza (programowana śmierć komórki) – fizjologiczny proces obumierania komórki.

blaszka środkowa – struktura zbudowana z pektyn, znajdująca się między ścianami komórkowymi sąsiadujących komórek roślinnych.

bruzda podziałowa – przewężenie w komórce, które powstaje w trakcie cytokinezy komórki zwierzęcej, w wyniku działania pierścienia kurczliwego.

centromer – przewężenie w obrębie chromosomu, do którego przyłączają się włókna wrzeciona kariokinetycznego w trakcie podziału jądra komórkowego.

centrosom – centrum organizacji mikrotubul, z którego wyrasta sieć mikrotubul komórki. U zwierząt uczestniczy w tworzeniu wrzeciona podziałowego.

centrum aktywne – obszar w obrębie cząsteczki enzymu, który wiąże cząsteczki substratu i część niebiałkową enzymu, jeśli dany enzym ją ma. Obszar ten jest odpowiedzialny za właściwości katalityczne enzymu.

centrum allosteryczne (miejsce allosteryczne) – obszar cząsteczki enzymu umożliwiający przyłączenie substancji innej niż substrat, w konsekwencji czego zmienia się kształt cząsteczki enzymu i jego aktywność enzymatyczna.

chemiosmoza – proces syntezy ATP z udziałem gradientu protonowego.

chemosynteza – sposób autotroficznego odżywiania się organizmów. Zachodzi ona u grupy bakterii, które czerpią energię potrzebną do asymilacji dwutlenku węgla z utleniania prostych substancji nieorganicznych lub jednowęglowych związków organicznych.

chlorofile – główne barwniki fotosyntetyczne. Mają zieloną barwę i pochłaniają światło widzialne w zakresie fal niebieskich i czerwonych.

chloroplasty – owalne lub kuliste organelle komórkowe otoczone dwiema błonami, odpowiedzialne za przeprowadzanie fotosyntezy w komórkach roślin i niektórych protistów.

chromatyna – forma upakowania DNA u organizmów eukariotycznych, w której liniowe cząsteczki DNA są nawinięte na białka histonowe.

chromoplasty – rodzaj barwnych plastydów występujących m.in. w komórkach kwiatów i owoców.

chromosom eukariotyczny – pojedyncza, liniowa cząsteczka DNA u organizmów eukariotycznych.

chromosomy homologiczne – w komórkach diploidalnych para odpowiadających sobie chromosomów, mających tę samą długość i zawierających te same geny.

ciałko podstawowe – zlokalizowana pod błoną komórkową dolna część pęczka mikrotubul tworzących w komórkach eukariotycznych wici i rzęski.

crossing-over – proces zachodzący w trakcie mejozy, podczas którego następuje wymiana niektórych odcinków chromatyd między chromosomami homologicznymi.

cykl Calvina – ciąg reakcji zachodzący u roślin podczas fotosyntezy, w fazie niezależnej od światła. Polega na przekształceniu dwutlenku węgla w glukozę. W cyklu tym wyróżnia się trzy etapy: karboksylację, redukcję i regenerację.

cykl komórkowy (cykl życiowy komórki) – ogół procesów prowadzących do wzrostu i podziału komórki eukariotycznej. Składa się z interfazy, w której trakcie następuje przygotowanie się komórki do podziału i fazy M, na którą składają się mitoza (kariokineza) oraz cytokineza.

cykl Krebsa (cykl kwasu cytrynowego) – ciąg reakcji zachodzący u organizmów oddychających tlenowo. Polega na utlenieniu acetylokoenzymu A do dwutlenku węgla. Powstające w trakcie przemian dinukleotydy NADH i $FADH_2$ są źródłem elektronów przekazywanych na tlen cząsteczkowy przez kolejne przenośniki w łańcuchu oddechowym.

cykl mocznikowy – szereg procesów metabolicznych prowadzący do przemiany amoniaku w praktycznie nietoksyczny mocznik.

cytokineza – podział cytoplazmy komórki.

cytoszkielet – sieć włókien występująca w cytozolu komórek eukariotycznych. W jego skład wchodzą: mikrotubule, filamenty pośrednie i mikrofilamenty (filamenty aktynowe).

cytozol – roztwór koloidalny, w którym fazę rozpraszającą stanowi woda, a fazę rozproszoną – inne związki nieorganiczne i organiczne (głównie białka, w tym białka tworzące cytoszkielet).

deaminacja – enzymatyczne usuwanie grupy aminowej ($-NH_2$) z cząsteczek związków organicznych. Grupa ta może być przeniesiona na inny związek lub uwolniona w postaci amoniaku (NH_3).

denaturacja – zniszczenie struktury drugo-, trzecio- i czwartorzędowej białka pod wpływem czynników chemicznych lub fizycznych.

deplazmoliza – ponowne uwodnienie cytozolu oraz wzrost objętości wakuoli splazmolizowanych komórek roślinnych w wyniku umieszczenia ich w środowisku hipotonicznym, spowodowane osmotycznym napływem wody do ich wnętrza.

dinukleotydy – związki zbudowane z dwóch połączonych ze sobą nukleotydów, a niekiedy również innych elementów budulcowych. Do dinukleotydów należą m.in. FAD^+, NAD^+, $NADP^+$.

dyfuzja – samorzutne, nieodwracalne mieszanie się cząsteczek lub jonów wskutek ich chaotycznych ruchów. Odbywa się zgodnie z różnicą stężeń, aż do momentu uzyskania stanu równowagi.

dyfuzja prosta – rodzaj biernego transportu błonowego, który polega na przenikaniu substancji rozpuszczonych zgodnie z gradientem stężeń bezpośrednio przez dwuwarstwę lipidową.

dyfuzja ułatwiona – rodzaj biernego transportu błonowego, w którym uczestniczą białka błonowe. Zachodzi zgodnie z gradientem stężeń transportowanej substancji.

egzocytoza – proces usuwania z komórki powstałych w jej wnętrzu substancji za pomocą pęcherzyków utworzonych z błony komórkowej.

endocytoza – proces pobierania substancji przez komórkę eukariotyczną z otaczającego środowiska za pomocą utworzonych z błony komórkowej pęcherzyków.

endosymbioza – rodzaj symbiozy polegający na współżyciu dwóch gatunków, przy czym jeden z nich (prokariotyczny lub eukariotyczny) żyje we wnętrzu komórki lub narządu drugiego (eukariotycznego).

energia aktywacji – najmniejsza ilość energii potrzebna do zapoczątkowania reakcji chemicznej.

enzymy – biologiczne katalizatory (najczęściej białka) przyśpieszające reakcje chemiczne przez obniżenie ich energii aktywacji.

enzymy allosteryczne – enzymy, których aktywność może być regulowana za pomocą substancji sygnałowych wiążących się w miejscu innym niż centrum aktywne. Miejsce to nazywamy centrum (miejscem) allosterycznym.

etioplasty – plastydy zawierające żółty barwnik – protochlorofilid. Pod wpływem światła mogą przekształcać się w chloroplasty.

fagocytoza – rodzaj endocytozy, który polega na wchłanianiu większych cząstek, np. mikroorganizmów za pomocą utworzonych z błony komórkowej pęcherzyków.

fermentacja – beztlenowy proces uzyskiwania energii, w którym donorami i akceptorami elektronów są bardziej złożone związki organiczne, a produktami końcowymi – mniej złożone związki organiczne i energia.

filamenty aktynowe (mikrofilamenty) – elementy cytoszkieletu, zbudowane z białka – aktyny. Największa ich liczba występuje pod błoną komórkową, co pozwala na kontrolowanie zmian kształtu komórki i nadaje błonie wytrzymałość mechaniczną.

filamenty pośrednie – elementy cytoszkieletu, zbudowane z włókienek różnych białek, m.in. keratyny. Są one sztywne i bardzo wytrzymałe, dlatego pełnią w komórce funkcję wzmacniającą.

fosforylacja – reakcja przyłączenia reszty kwasu fosforowego do związku organicznego, wymagająca dostarczenia energii.

fotoliza – reakcja rozkładu cząsteczek związku chemicznego pod wpływem światła, np. rozkład wody do jonów wodorowych lub protonów i tlenu podczas fotosyntezy.

fotosynteza – proces wytwarzania związków organicznych (przede wszystkim glukozy) z dwutlenku węgla z udziałem energii świetlnej. Zachodzi u roślin oraz niektórych protistów (brunatnic, okrzemek) i bakterii, m.in. sinic, bakterii zielonych i purpurowych.

fotosystem – kompleks złożony z chlorofilu, barwników pomocniczych, białek i lipidów znajdujący się w błonach tylakoidów, emitujący elektrony w reakcji na pobudzenie światłem.

gen – odcinek DNA zawierający informację na temat sposobu syntezy jednej cząsteczki białka lub RNA.

genofor – materiał genetyczny komórek prokariotycznych. Występuje w formie koliście zamkniętej cząsteczki DNA, znajdującej się bezpośrednio w cytozolu.

glikogenoliza – proces rozkładu glikogenu w sytuacji niedoboru glukozy w organizmie.

glikoliza – pierwszy etap oddychania komórkowego, przebiegający w cytozolu. Polega na beztlenowym rozkładzie glukozy do pirogronianu, czemu towarzyszy powstanie ATP.

glikozydy – barwne, organiczne związki chemiczne, które nadają jaskrawe barwy kwiatom i owocom. Należą do nich żółte flawony oraz czerwone, niebieskie lub fioletowe antocyjany.

glukoneogeneza – proces anaboliczny, który polega na syntezie glukozy ze związków innych niż cukry.

gradient protonowy – różnica stężeń protonów po dwóch stronach błony biologicznej.

grupa prostetyczna – organiczny składnik niektórych enzymów, niezbędny do ich aktywności, trwale związany z enzymem.

histony – występujące w jądrze komórkowym białka zasadowe, na które nawinięty jest DNA. Histony wraz z nawiniętym na nie DNA tworzą chromatynę.

inhibicja enzymatyczna – zahamowanie lub obniżenie aktywności enzymów pod wpływem różnych czynników chemicznych.

inhibicja kompetycyjna – rodzaj inhibicji enzymatycznej polegający na zahamowaniu aktywności enzymu przez związek przypominający strukturalnie substrat, który konkuruje z substratem o centrum aktywne enzymu.

inhibicja niekompetycyjna – rodzaj inhibicji enzymatycznej polegający na zahamowaniu aktywności enzymów przez substancję, która wiąże się z enzymem w innym miejscu niż centrum aktywne.

inhibicja nieodwracalna – rodzaj inhibicji enzymatycznej polegający na trwałym łączeniu się inhibitora z enzymem i trwałym zahamowaniu jego aktywności.

inhibitor – substancja, która hamuje aktywność enzymu.

jąderko – część chromatyny, która zawiera geny kodujące rRNA. W jąderku zachodzi synteza rRNA oraz proces jego łączenia się z białkami w podjednostki rybosomów, transportowane następnie do cytozolu.

kariokineza – podział jądra komórkowego. Wyróżnia się dwa rodzaje kariokinezy: mitozę i mejozę.

kariolimfa – płyn wypełniający jądro komórkowe, zawierający m.in. chromatynę, białka enzymatyczne i RNA.

karoteinody – rodzaj lipidów izoprenowych, do których należą barwne związki – czerwone i pomarańczowe karoteny oraz żółte ksantofile.

katabolizm – procesy metaboliczne polegające na rozkładzie wielkocząsteczkowych substancji na prostsze, czemu towarzyszy uwalnianie ciepła i energii gromadzonej w postaci ATP.

kataliza enzymatyczna – proces przyspieszenia reakcji chemicznej spowodowany działaniem enzymu.

katalizator – substancja, która przyspiesza reakcję chemiczną przez obniżenie jej energii aktywacji.

koagulacja (wysalanie) – odwodnienie białka i jego agregacja (łączenie się) oraz wytrącenie z roztworu pod wpływem soli metali lekkich.

koenzym – organiczny składnik niektórych enzymów, niezbędny do ich aktywności. Może być luźno lub trwale związany z enzymem.

kofaktor – niebiałkowy składnik niektórych enzymów niezbędny do ich aktywności. Może nim być jon metalu lub koenzym.

kwas deoksyrybonukleinowy (DNA) – polimer zbudowany z deoksyrybonukleotydów połączonych ze sobą wiązaniami 3',5'-fosfodiestrowymi. Pełni w organizmach funkcję nośnika informacji genetycznej.

kwas rybonukleinowy (RNA) – polimer zbudowany z rybonukleotydów połączonych ze sobą wiązaniami 3',5'-fosfodiestrowymi. Pełni w organizmach głównie funkcje związane z odczytywaniem informacji genetycznej.

leukoplasty – bezbarwne plastydy. Magazynują substancje zapasowe w postaci skrobi (amyloplasty) lub tłuszczów (elajoplasty).

lipidy izoprenowe – grupa hydrofobowych związków, niebędących estrami. Zalicza się do nich m.in. karotenoidy i steroidy.

lipidy proste – estry kwasów tłuszczowych i alkoholi. Do lipidów prostych należą tłuszcze właściwe (estry kwasów tłuszczowych i glicerolu) oraz woski (estry kwasów tłuszczowych i alkoholi zawierających jedną grupę hydroksylową).

lipidy złożone – lipidy, w których skład, poza alkoholem i kwasami tłuszczowymi, wchodzą również inne związki, np. reszta kwasu fosforowego(V), monocukier.

lizosom – organellum otoczone jedną błoną, w którym zachodzi trawienie wewnątrzkomórkowe.

łańcuch oddechowy – etap oddychania tlenowego, podczas którego zredukowane nukleotydy – NADH oraz $FADH_2$, które powstały w poprzednich etapach oddychania, są utleniane, a uwolniona energia zostaje wykorzystana do syntezy ATP.

makroelementy – pierwiastki wchodzące w skład organizmów, których zawartość w suchej masie komórek wynosi 0,01% lub więcej.

matrix (macierz) – wypełniająca wnętrze mitochondrium koloidalna substancja, w której znajdują się rybosomy i mitochondrialny DNA.

mejoza – podział jądra komórkowego na cztery jądra potomne. Każde z nich ma zredukowaną o połowę liczbę chromosomów w porównaniu do komórki macierzystej.

metabolizm – całość przemian chemicznych i energetycznych komórki.

mikroelementy – pierwiastki wchodzące w skład organizmów, których zawartość w suchej masie komórek wynosi poniżej 0,01%.

mikrotubule – elementy cytoszkieletu, długie rurki zbudowane z białka – tubuliny. Głównym ośrodkiem ich formowania w komórkach zwierzęcych jest centrosom.

mitochondria – owalne lub kuliste organelle komórkowe otoczone dwiema błonami, odpowiedzialne za procesy przetwarzania energii w komórkach eukariotycznych oddychających tlenowo.

mitoza – podział jądra komórkowego na dwa identyczne pod względem genetycznym jądra potomne.

monosacharydy (cukry proste, jednocukry) – związki o słodkim smaku, dobrze rozpuszczalne w wodzie, które zawierają w cząsteczkach od trzech do ośmiu atomów węgla.

mostek dwusiarczkowy – wiązanie kowalencyjne miedzy grupami –SH dwóch cząsteczek cysteiny w białku. Utrzymuje strukturę trzeciorzędową i czwartorzędową białka.

nukleoid – obszar cytozolu zawierający materiał genetyczny komórki bakteryjnej.

nukleotyd – podstawowa jednostka budulcowa kwasów nukleinowych (monomer), zbudowany z pięciowęglowego cukru (rybozy lub deoksyrybozy), zasady azotowej i od jednej do trzech reszt fosforanowych(V).

nukleosom – fragment chromatyny, składający się z DNA nawiniętego na białka histonowe.

oddychanie beztlenowe – rodzaj oddychania komórkowego, w którym ostatecznym akceptorem elektronów są związki nieorganiczne (np. azotany, siarczany) albo pierwiastki (np. siarka). Jego substratami są związki organiczne, a produktami ostatecznymi – dwutlenek węgla, związki nieorganiczne i energia w postaci ATP. Występuje wyłącznie u niektórych bakterii.

oddychanie komórkowe – zachodzący w komórkach wieloetapowy proces uzyskiwania energii, polegający na utlenianiu substancji organicznych.

oddychanie tlenowe – rodzaj oddychania komórkowego, w którym ostatecznym akceptorem elektronów jest tlen. Jego substratami są związki organiczne, a produktami ostatecznymi: dwutlenek węgla, woda i energia w postaci ATP. Występuje u większości organizmów.

oligosacharydy (kilkocukry) – sacharydy, które powstają przez połączenie się od dwóch do dziesięciu cząsteczek cukrów prostych wiązaniem O-glikozydowym.

organelle półautonomiczne – organelle częściowo niezależne od jądra komórkowego, których część białek niezbędnych do ich funkcjonowania jest kodowana przez geny znajdujące się w ich własnym DNA. Są nimi mitochondria i plastydy.

osmoregulacja – aktywna regulacja stopnia uwodnienia komórek.

osmoza – przenikanie rozpuszczalnika przez błonę półprzepuszczalną z roztworu o mniejszym stężeniu substancji rozpuszczonych do roztworu o większym ich stężeniu.

peptydoglikan – związek zbudowany z peptydów i sacharydów.

peroksysom – organellum otoczone jedną błoną, w którym zachodzą reakcje utleniania różnych związków oraz neutralizacji reaktywnych form tlenu.

pierścień kurczliwy – zbudowana z filamentów aktynowych i miozynowych struktura w komórkach zwierzęcych, odpowiedzialna za cytokinezę.

pierwiastki biogenne – pierwiastki wchodzące w skład związków organicznych budujących wszystkie organizmy: węgiel (C), wodór (H), tlen (O), azot (N), fosfor (P) i siarka (S).

pinocytoza – rodzaj endocytozy, który polega na wchłanianiu kropli płynów wraz z rozpuszczonymi w nich związkami wielkocząsteczkowymi za pomocą utworzonych z błony komórkowej pęcherzyków.

plastydy – otoczone dwiema błonami organelle komórkowe, występujące w komórkach roślin i niektórych protistów. Zawierają własne rybysomy i DNA. Wśród nich wyróżnia się: etioplasty, chloroplasty, chromoplasty oraz leukoplasty.

plazmid – mała kolista cząsteczka DNA obecna w komórkach prokariotycznych.

plazmodesmy – cienkie pasma cytoplazmy, otoczone błoną komórkową, które przenikają z jednej komórki roślinnej do drugiej dzięki znajdującym się w ich ścianach jamkom. Stanowią połączenia między sąsiadującymi komórkami w tkankach roślinnych.

plazmoliza – odwodnienie cytozolu oraz zmniejszenie objętości wakuoli komórek roślinnych znajdujących się w środowisku hipertonicznym, spowodowane osmotycznym wypływem wody z ich wnętrza. Skutkiem jest kurczenie się protoplastu i jego odstawanie od sztywnej ściany komórkowej.

płytka metafazowa – chromosomy połączone z włóknami wrzeciona kariokinetycznego, ułożone w płaszczyźnie równikowej komórki. Powstaje w trakcie metafazy podczas kariokinezy.

proplastydy – formy młodociane plastydów.

polimeryzacja – łączenie się prostych związków organicznych (monomerów) w długie łańcuchy (polimery).

polisacharydy (wielocukry) – sacharydy zbudowane z wielu (powyżej 10) cząsteczek monosacharydów połączonych ze sobą wiązaniami O-glikozydowymi.

pory jądrowe – białkowe kompleksy w otoczce jądrowej, które odpowiadają za transport substancji między wnętrzem jądra a cytozolem.

protoplast – część komórki ograniczona błoną komórkową. Struktura ta jest definiowana jedynie w komórkach otoczonych ścianą komórkową.

reakcja endoergiczna – reakcja chemiczna, która do zajścia wymaga dostarczenia energii, np. w postaci energii świetlnej lub energii chemicznej, ponieważ jej produkty są bardziej zasobne w energię niż substraty.

reakcja egzoergiczna – reakcja chemiczna, w której trakcie jest uwalniana energia, ponieważ jej produkty są mniej zasobne w energię niż substraty.

reakcja kondensacji – reakcja chemiczna polegająca na łączeniu się prostych związków organicznych (monomerów) w długie łańcuchy (polimery) z jednoczesnym wytworzeniem cząsteczek wody.

reakcja redoks (reakcja oksydoredukcyjna, reakcja utlenienia-redukcji) – reakcja chemiczna polegająca na wymianie elektronów między dwiema substancjami. Jedna z substancji – reduktor oddaje elektrony, czyli ulega utlenieniu, a druga – utleniacz przyjmuje elektrony, czyli ulega redukcji.

reakcja pomostowa – etap oddychania tlenowego, który polega na przekształceniu pirogronianu w acetylo-CoA (acetylokoenzym A). Podczas reakcji pomostowej powstają również NADH i proton (H^+).

renaturacja – przywrócenie właściwej, biologicznie aktywnej formy białka po jego wcześniejszej denaturacji.

replikacja DNA – proces powielania DNA, prowadzący do powstania dwóch cząsteczek DNA identycznych z cząsteczką wyjściową.

rybosom – struktura zbudowana z rRNA i białek, uczestnicząca w biosyntezie białek.

siateczka śródplazmatyczna (retikulum endoplazmatyczne) – system błon biologicznych przyjmujących postać spłaszczonych woreczków (cystern) i rozgałęziających się kanalików.

siły van der Waalsa – rodzaj oddziaływań międzycząsteczkowych, które występują między cząsteczkami niepolarnymi. Polegają one na elektrostatycznym przyciąganiu się chwilowych dipoli, które powstają na skutek ruchów elektronów w obojętnych atomach.

sok komórkowy – wodny roztwór różnych substancji, wypełniający wnętrze wakuol roślinnych.

stała Michaelisa (K_M) – stężenie substratu, przy którym szybkość reakcji enzymatycznej osiąga połowę swojej szybkości maksymalnej.

steroidy – rodzaj lipidów izoprenowych o złożonej pierścieniowej budowie i płaskich cząsteczkach. Głównym steroidem zwierzęcym jest cholesterol, który występuje m.in. w błonach komórek oraz w osłonkach włókien nerwowych.

stroma – wypełniająca wnętrze chloroplastów koloidalna substancja, w której znajdują się tylakoidy, rybosomy i chloroplastowy DNA.

symport – rodzaj czynnego transportu substancji przez błonę lipidową z udziałem białek błonowych. Polega na jednoczesnym transporcie dwóch substancji przez błonę w tym samym kierunku.

szlak metaboliczny – ciąg reakcji metabolicznych, zachodzących w określonej kolejności, w którym produkt jednej reakcji jest substratem następnej.

tonoplast – błona wakuoli roślinnej.

transport bierny (pasywny) – rodzaj transportu błonowego, który zachodzi zgodnie z różnicą (gradientem) stężeń i nie wymaga nakładu energii.

transport czynny (aktywny) – rodzaj transportu błonowego, który zachodzi brew różnicy (gradientowi) stężeń i wymaga nakładu energii.

transport pęcherzykowy – rodzaj transportu błonowego, który polega na przenoszeniu ładunków za pomocą pęcherzyków utworzonych z fragmentów błon biologicznych.

tylakoidy (chromatofory) – błoniaste struktury obecne w chloroplastach roślin, roślinopodobnych protistów i komórkach bakterii fotosyntetyzujących. Podczas fotosyntezy w ich błony są wbudowywane barwniki aktywne, m.in. u bakterii – bakteriochlorofil.

ujemne sprzężenie zwrotne (hamowanie przez sprzężenie zwrotne) – rodzaj regulacji enzymatycznej, w którym końcowy produkt danego szlaku metabolicznego jest inhibitorem enzymu wcześniejszego etapu tego szlaku.

wakuole (wodniczki) – organelle występujące w komórkach roślin, grzybów oraz niektórych protistów i zwierząt, mające postać pęcherzyków otoczonych jedną błoną i wypełnionych płynem. Powstają z siateczki śródplazmatycznej, aparatu Golgiego lub z innych wakuol.

wiązanie 3',5'-fosfodiestrowe – wiązanie między nukleotydami w kwasach nukleinowych. Powstaje między resztą fosforanową(V) jednego nukleotydu a cukrem następnego.

wiązanie O-glikozydowe – wiązanie między atomami węgla należącymi do różnych cząsteczek monocukrów za pośrednictwem tlenu (mostka tlenowego).

wiązanie peptydowe – wiązanie kowalencyjne, które występuje między aminokwasami w białkach i peptydach. Powstaje między grupą karboksylową jednego aminokwasu a grupą aminową drugiego aminokwasu.

wrzeciono kariokinetyczne (wrzeciono podziałowe) – zbudowana z mikrotubul struktura obecna w komórkach eukariotycznych, która umożliwia kontrolowane przemieszczanie się chromosomów podczas podziału komórki.

Indeks

α-aminokwasy 50, 76
α-helisa 54, 71
β-harmonijka 54, 71
β-oksydacja 203–205, 211, 217,218, 232

A
cetylokoenzym A (acetylo-CoA) 186, 188, 190, 191, 203–205, 207, 216–218, 232
adenina 29, 61–63, 65, 72, 149
adenozynodifosforan (ADP) 62, 89, 92–94, 114, 149–152, 166, 174, 176–179, 185, 186, 188, 189,190–192, 196, 197, 205, 208, 209, 211, 214, 216, 218
adenozynomonofosforan (AMP) 68, 204, 208
adenozynotrifosforan (ATP) 39, 61, 72, 89, 92–94, 105, 108, 114, 148–152, 154–157, 166, 171, 174, 176–179, 182, 184–186, 188–193, 196, 197, 199, 203–205, 208, 209, 211, 214–218, 227, 232
adipocyty 203, 205
aktyna 102, 126, 140
aktywacja 166, 185, 193, 204
aktywator 31, 62, 66, 72, 160, 164, 213, 232
alanina 37, 51, 60, 202, 207, 208, 230
albuminy 56, 70
aldoza 37, 38, 41, 238
alkaloidy 116
alkohol etylowy 33, 59, 199, 217
allel 132, 133
aminokwas 12, 30, 37, 50–57, 60, 64–66, 70–72, 93, 114, 120, 148, 156, 159, 201, 202, 207, 208, 217, 229, 230, 232
– białkowy 50–52, 60, 140, 150, 151, 230
– egzogenny 206, 207
– endogenny 207
– kwasowy 51, 52
– niebiałkowy 50
– obojętny 52
– zasadowy 51, 52
amoniak 148, 182, 183, 207, 208, 209, 217, 218
amylopektyna 42
amyloza 39, 42, 238
anabolizm 148, 207, 211, 232
anafaza 124–126, 130–132
anomer 38, 40, 41, 68
antyport 92–94, 232
aparat Golgiego 20, 82, 82, 85, 109, 112–114, 135–137, 140, 232
apoenzym 156, 212, 232
apoptoza 121, 127, 232
autotrofizm 171, 173, 182, 213

B
bakteriochlorofil 181
barwniki
– antenowe 175, 176
– fotosyntetyczne 81, 171, 172, 174
– pomocnicze 48, 69, 172
białka
– histonowe 56, 70, 80, 97–99, 108, 122, 233
– niehistonowe 80
– nośnikowe 92, 98, 96, 138
– opiekuńcze 109, 112
– proste 56, 70, 87
– złożone 56, 57, 70
biwalent 130, 132
blaszka środkowa 119, 120, 126, 232
błona
– biologiczna 33, 45, 47, 48, 69, 86–89, 91, 92, 96, 138, 149, 150, 151
– komórkowa 40, 48, 69, 81, 86, 88, 89, 94, 96, 102, 108, 112, 113, 115, 126, 136–138, 196, 206
– półprzepuszczalna 89, 91, 96, 139
– śródplazmatyczna 80, 82, 86, 88, 94, 138
bruzda podziałowa 126, 232

C
celuloza 42, 43, 68, 80, 82, 118, 119, 135
centriola 124, 126, 137
centromer 124, 125, 130, 131, 232
centrosom 82, 83, 103, 126, 140, 232
centrum
– aktywne 156, 157, 158, 164–166, 168, 212, 213, 232
– allosteryczne 168, 232
chemiosmoza 150, 151, 192, 232
chemosynteza 171, 182, 183, 201, 209, 211, 213, 232
chiazma 130
chityna 42, 43, 68, 80, 83, 118, 135
chloroplast 23, 48, 69, 82, 83, 85, 104–108, 111, 135, 140, 151, 171, 173–176, 178, 179, 214, 232
cholesterol 48, 49, 69, 86, 109, 110, 138
chromatofor (patrz: tylakoid)
chromatyda 99, 124, 125, 130–134
chromatyna 56, 97, 95, 99, 102, 232
chromoplasty 106, 107, 232
chromosom 77, 80, 81, 97, 99, 121–126, 128–134, 136, 140, 141,
– autosomalny 121
– bakteryjny 80, 81, 136
– eukariotyczny 80, 232
– homologiczny 121, 130, 132, 232
– płciowy 121
– potomny 125, 131
ciałko
– apoptotyczne 127
– podstawowe 104, 232
crossing-over 130, 132, 232
cukry redukujące 41, 44, 225, 228
cykl
– Calvina 177, 179, 181, 182, 212, 214, 232
– komórkowy 121–125, 127, 133, 141, 232
– Krebsa 185, 186, 188, 189, 190, 191, 193, 203, 205, 207, 211, 212, 216, 218, 232
– mocznikowy (ornitynowy) 50, 207, 208, 211, 217, 218, 232
cykliczny adenozynomonofosforan (cAMP) 62
cytokineza 121, 122, 125, 126, 130, 131, 141, 232
cytoplazma 97, 104, 110, 114, 120, 121, 122, 126, 231
cytoszkielet 23, 102, 127, 136, 137, 140, 232
cytozol 20, 36, 51, 65, 72, 80, 81–83, 85, 87, 90, 99, 94, 95, 97–99, 104, 105, 107, 108, 110, 111, 114, 117, 120, 126, 128, 135, 138, 139, 140, 155, 171, 185, 187, 190, 191, 196, 199, 202, 205, 206, 208, 216, 217, 232
cytozyna 29, 61, 63, 65, 72

D
deaminacja 207, 208, 218, 232
defosforylacja 166, 201, 213
denaturacja 58, 59, 71, 163, 164, 170, 225, 232
denitryfikacja 196
deoksyrybonukleotydy 61, 72
deoksyryboza 29, 39, 57, 61, 65, 68, 72
deoksyrybozym 159
deplazmoliza 90, 139, 232
dezaktywacja 166, 210
dinukleotyd flawinoadeninowy (FAD) 62, 72, 153, 156, 187–191, 193, 196, 203–205, 211, 218

dinukleotyd nikotynamidoadeninowy (NAD^+) 39, 62, 72, 148, 153, 156, 185–189, 193, 195–197, 204, 211, 212, 216, 217, 223
dipol 32, 33, 34, 47
disacharydy 39, 40
DNA (kwas deoksyrybonukleinowy) 12, 13, 22, 29, 37, 39, 56, 61–64, 72, 80, 81, 83, 97–99, 105–108, 111, 123, 124, 127, 128, 130–134, 140, 141, 159, 207, 234
doświadczenie 5–8, 12, 14, 16, 24, 53, 59, 91, 100, 169, 170, 173, 180, 192, 194, 195, 200, 225–228
dyfuzja
– prosta 89, 94, 138, 139, 233
– ułatwiona 89, 94, 138, 233

E
egzocytoza 95, 103, 114, 115, 138, 233
ekspresja genów 98, 206
elektrony walencyjne 31, 32
elektroujemność 31, 32
endocytoza 95, 114, 115, 135, 138, 233
endosymbioza 105, 107, 108, 211, 233
– teoria 105, 108
energia aktywacji 154, 155, 209, 212, 213, 233
enzym 31, 36, 41, 42, 45, 62, 66, 67, 72, 85, 87, 99, 105, 107–109, 111–116, 118, 122, 154–169, 177, 193, 202, 205–207, 210, 212, 213, 233
– allosteryczny 168, 233
estry 69
etioplasty 106, 233

F
fagocytoza 95, 102, 108, 233
fermentacja 94, 196–200, 217, 223, 233
– alkoholowa 197–200, 217, 228, 223
– mleczanowa 197–200, 217
fibrynogen 57
filamenty
– aktynowe 102, 126, 140
– miozynowe 126
– pośrednie 102, 140, 154
fitol 172
fosfataza 166
fosfolipid 30, 45, 47, 68, 69, 86, 88, 96, 206
fosfoproteiny 30
fosforan dinukleotydu nikotynoamidoadeninowego ($NADP^+$) 62, 148, 153, 156, 174, 176, 177–179, 205, 211, 212, 214
fosforylacja
– fotosyntetyczna 151, 174, 176, 177, 210, 211, 214
– oksydacyjna 151, 189, 192, 211
– substratowa 150, 157, 185, 188, 211
fotoliza 175–178, 210, 233
fotosynteza 16, 31, 38, 39, 48, 62, 66, 67, 69, 81, 83, 104, 107, 108, 140, 147, 151, 154, 171–182, 211, 213–215, 227, 233.
– anoksygeniczna 171, 181, 214
– oksygeniczna 171, 174, 175, 210, 214
fotosystem 171, 175–178, 210, 233
fruktoza 37, 39, 41, 63,116, 157

G
galaktoza 59, 46, 47, 68
gametogeneza 129
garbniki 116
gen 64, 81, 97, 108, 121, 132
glicerol 45, 47, 69, 89, 148, 201–203, 217, 218
glicyna 52, 60, 207, 230
glikogen 40, 42, 68, 82, 83, 201–203, 211, 212, 217, 218, 233
glikogenogeneza 201, 217
glikogenoliza 201, 217, 218, 233
glikokaliks 88
glikolipid 45, 47, 48, 68, 69, 86, 84, 88, 108, 138, 136, 206
glikoliza 185–187, 190, 191, 193,197, 202, 207, 211, 212, 216–218, 223, 233
glikoproteiny 56, 57, 86–88, 113, 115, 138
glikozydy 116, 233
globuliny 55, 57, 70
glukoneogeneza 201–203, 217, 233
glukoza 37–44, 47, 68, 75, 91, 93, 94, 96, 116, 118, 119, 146–148, 153, 184–186, 188, 190, 191, 193, 196, 197, 199, 201–203, 216–218, 223–225
gradient
– protonowy 150, 151, 176–178, 189, 191, 192, 196, 197, 233
– stężeń 89, 92, 93, 96, 138, 150
grupa
– aldehydowa 37, 38, 41, 44, 68, 228
– aminowa 37, 50–53, 70, 207
– funkcyjna 50, 51, 73, 156, 163
– hydroksylowa 37, 46, 63, 68, 69, 109
– karboksylowa 37, 45, 50–53, 70, 228
– karbonylowa 37, 38, 68
– ketonowa 37, 38, 68
– prostetyczna 156, 212, 233
– tiolowa 50
grzebień mitochondrialny 105
guanina 29, 37, 61, 63, 72

H
heksozy 38, 39
hemiceluloza 112, 118, 119, 126
hemoglobina 31, 55–57, 66, 70
hemoproteiny 57
hipoteza 5–7, 15, 16, 24, 44, 53, 59, 91, 100, 169, 170, 173, 180, 192, 194, 195, 200, 225, 227
histony 56, 70, 80, 97–99, 108, 122, 233
histydyna 52, 207, 231
hormon steroidowy 48, 69, 109, 110
hydrolazy 157
hydroliza 149, 155, 157, 166, 201–203, 207

I
inhibicja 160, 164–166, 168, 213, 233
inhibitor 160, 164, 165, 168, 206, 213, 233
– kompetycyjny 164, 213, 233
– niekompetycyjny 165, 213, 233
– nieodwracalny 164, 213, 233
insulina 13, 224
interfaza 121, 122, 126, 141
izomerazy 157
izomeryzacja 157

J
jąderko 97, 124, 125, 130, 131, 233
jądro komórkowe 20, 65, 72, 80–85, 97–104, 108, 111, 115, 121, 127–129, 131, 135–137, 140
jon obojnaczy 51, 163

K
karboksylacja 177, 179, 197, 205
kariokineza 121, 122, 141, 233
kariolimfa 97, 233
kariotyp 121
karotenoidy 45, 48, 49, 68, 69, 106, 172, 175
karoteny 48, 69, 172, 175
katabolizm 148, 201, 203, 207, 211, 233
katalaza 114, 170

kataliza enzymatyczna 158, 213, 233
katalizator 155, 212
keratyna 54, 56, 70, 102
ketokwasy 207, 208, 218
ketoza 37, 38
kinaza 166
koagulacja 54, 234
kod genetyczny 12
koenzym 156, 186, 212, 234
kofaktor 156, 212, 234
kolagen 56, 70
komórka
– bakterii 17, 23, 77, 78, 80, 81, 86, 95, 118, 120, 128, 135, 136, 150, 151, 163, 165, 173, 196, 210
– diploidalna 121, 123, 129, 132, 133, 141
– eukariotyczna 17, 80, 82, 84, 86, 97, 102–105, 110, 111, 114, 121, 123, 128, 129, 135–137, 150, 151, 171, 184, 199, 206, 216
– haploidalna 129, 131–133, 141
– nowotworowa 124, 205
– prokariotyczna 80, 81, 86, 108, 110, 111, 135, 136, 151, 163, 171, 184, 195, 216
kondensacja 97, 99, 124, 130, 131
krzywa Michaelisa–Menten 160–162
ksantofile 48, 69, 172, 175
kutykula 46, 119
kutyna 118, 119
kwas
– γ-aminomasłowy 50
– asparaginowy 52, 76, 231
– deoksyrybonukleinowy (patrz: DNA)
– fosforowy(V) 29, 47, 69
– glutaminowy 51, 221
– karboksylowy 45, 50, 228
– mlekowy 197–199, 201, 202, 217
– palmitynowy 37, 205–207
– rybonukleinowy (patrz: RNA)
– tłuszczowy 45–47, 69, 86, 109, 113, 114, 148, 201–203, 205, 206, 211, 217, 218

L
laktoza 39–41, 68
leukoplasty 106, 136, 234
liazy 157
ligazy 157
ligniny 118, 119
lipidy
– fosfolipidy 30, 45, 47, 68, 69, 86, 96, 192, 206
– glikolipidy 45, 47, 48, 68, 69, 86, 88, 109, 138, 206
– izoprenowe 45, 48, 49, 68, 69, 86, 234
– proste 45, 46, 69, 234
– złożone 47, 69, 86
lipoproteiny 87, 113
lizosom 82, 83, 85, 103, 109, 111–115, 135, 137, 140, 163, 167, 234

Ł
łańcuch
– oddechowy 185–193, 195, 197, 203, 205, 211, 216, 218, 234
– polinukleotydowy 63, 64, 72

M
makroelementy 30, 31, 66, 234
maltoza 39, 40, 41, 68, 157
matrix mitochondrium 105, 108,185, 187, 189–191, 196, 208, 216, 234
mejospora 129, 132, 141
mejoza 77, 121, 129–133, 141, 234
metabolizm 50, 58, 62, 85, 98, 99, 105, 148–150, 152–154, 156, 160, 165, 166, 168, 174, 182, 185, 194, 201, 203, 205–207, 209–212, 218, 234
metafaza 124, 130, 131
metionina 52, 207, 230
mikoryza 14
mikroelementy 30, 31, 66, 234
mikrofilamenty 102, 126, 140
mikrometr 25
mikroskop 17–25, 79, 85, 173, 90, 100, 104, 106, 107, 117, 124, 173
mikrotubule 102–104, 126, 131, 137
mioglobina 31, 56, 57, 66, 70
mitochondrium 23, 82, 83, 85, 94, 102, 105, 108, 111, 122, 135–137, 140, 151, 184–187, 189–191, 193, 197, 199, 203, 204, 208, 216, 234
mitoza 77, 121, 122, 124, 125, 129, 133, 141, 234
mocznik 50, 207, 208, 211, 217, 218
model
– indukowanego dopasowania 157
– klucza i zamka 157
monosacharydy 38–41, 68, 148, 234
mostek dwusiarczkowy 55, 71, 233
mRNA 65, 72, 98, 159, 207
mureina 80, 81, 118, 120, 135, 165

N
nanometr 25
napięcie powierzchniowe 35, 67
nitrogenaza 209, 210
nukleoproteiny 110
nukleoid 81, 135, 234
nukleosom 80, 98, 99, 234
nukleotyd 12, 13, 29, 30, 39, 61–68, 93, 99, 114, 149, 153, 187–189, 191, 203, 204, 212, 234

O
obserwacja 5–8, 10, 14–25
oddychanie
– beztlenowe 171, 181, 184, 187, 196, 199, 211, 215, 217, 234
– komórkowe 39, 147–149, 154, 164, 184, 194, 201, 207, 215, 234
– tlenowe 31, 66, 81, 83, 105, 108, 140, 148, 151, 184, 188, 190, 193, 194, 199, 203, 211–217, 227, 234
oddziaływania
– międzycząsteczkowe 31, 32, 35
– dipol-dipol 32, 47
– hydrofobowe 32, 33, 47, 55, 71, 157
– jon-dipol 32
oksydoreduktazy 53
oligopeptydy 53
oligosacharydy 38–40, 68, 234
organelle półautonomiczne 108,122, 234
osmoregulacja 117 234
osmoza 89–91, 96, 116, 138, 139, 234
otoczka jądrowa 80, 97, 109, 124, 125, 127, 130, 131

P
pektyny 112, 118–129, 126
pentoza 38, 39, 61, 72
pepsyna 156, 163, 166, 169, 226
pepsynogen 166
peptydoglikan 80, 120, 234
peroksysomy 82, 83, 85, 109, 111, 112, 114, 135, 136, 140, 234
pinocytoza 95, 234
pirogronian 153, 185, 186, 190, 191, 197, 199, 202, 203, 205, 207, 208, 216–218
plazmid 81, 136, 235
plazmodesma 120, 235
plazmoliza 90, 139, 235
płytka metafazowa 124, 235
pole sitowe 84
polimeryzacja 37, 235
polipeptydy 53
polisacharydy 37–39, 41–44, 68, 80, 81, 112, 118, 148, 165, 201, 235

pompa protonowa 93, 114, 150
potencjał redoks 176, 178, 189
problem badawczy 6, 7, 14–16, 24, 44, 53, 59, 91, 100, 169, 170, 173, 180, 192, 194, 195, 200, 227, 228
proenzym 166
profaza 124, 130, 131
proplastydy 106, 235
proteasom 167
proteoliza 166, 213, 218
protoplast 84, 90, 118, 139, 235
próba
– badawcza 6, 7, 14, 16, 24, 44, 49, 53, 59, 173, 180, 192, 194, 195, 200
– Fehlinga 41, 228
– jodowa 228
– kontrolna 6, 7, 14, 16, 24, 44, 49, 53, 59, 75, 91, 170, 173, 180, 192, 194, 195, 200
przewężenie pierwotne (patrz: centromer)
punkt izoelektryczny 51, 60

R
reakcja
– biuretowa 53, 169, 229
– egzoergiczna 148, 152, 155, 184, 211, 235
– endoergiczna 148, 152, 155, 211, 235
– ksantoproteinowa 229
– pomostowa 18, 186, 188–191, 193, 216, 218, 235
– redoks 153, 235
reaktywne formy tlenu 48, 83, 114, 140
reduktor 153
renaturacja 58, 235
replikacja DNA 64, 98, 99, 122–124, 128, 130, 131, 133, 134, 141, 235
RNA 29, 39, 61–65, 72, 97, 98, 195, 197, 110, 159, 235
roztwór
– hipertoniczny 89, 90, 139
– hipotoniczny 89, 90, 94, 117, 118, 120, 139
– izotoniczny 89, 90, 94, 96, 139
– koloidalny (koloid) 58, 80, 102, 140
rRNA 65, 72, 81, 97, 98, 110, 131, 159
rybonukleotyd 39, 61, 72, 149
rybosom 23, 31, 53, 65, 66, 72, 80–83, 97–99, 105–115, 135–137, 140, 159, 207, 224, 235
ryboza 39, 62, 68, 72, 149
rybozym 159
rzęska 81, 104, 136

S
sacharoza 40, 41, 68, 90, 93, 116, 157
sacharydy 38, 39–44, 67, 68, 80, 81, 112, 118, 120, 148, 165, 201, 202, 217, 218
suberyna 118, 119
seryna 52, 60, 207, 230
siateczka śródplazmatyczna 82–85, 102, 109–110, 113, 115, 120, 135–137, 140, 235
– gładka 82, 83, 109, 114, 120, 136, 137, 140, 206
– szorstka 82, 83, 109, 112, 115, 136, 137, 140
siły van der Waalsa 32, 33, 55, 71, 157, 235
skrobia 14, 21, 39–42, 68, 82, 91, 107, 179, 180, 201, 228
sok komórkowy 116, 235
spermacet 46
sprzężenie zwrotne 168, 235
stała Michaelisa 160–162, 235
steroidy 45, 48, 49, 68, 69, 88, 96, 235
stroma 107, 108, 174, 176–179, 214, 235
sudan III 49, 229
symport 92, 93, 235
syntaza ATP 108, 150, 151, 157, 174, 176, 178, 185, 189, 192
szlak metaboliczny 154, 168, 174, 178, 185, 189, 192, 201, 207, 212, 235

Ś
ściana
– komórkowa 31, 35, 43, 66, 68, 78, 80–82, 84, 90, 104, 112, 116–120, 126, 128, 135–137, 139, 140, 165, 210
– pierwotna 118–120, 126
– wtórna 118

T
telofaza 124, 125, 126, 130, 131
tetrada chromatyd 130, 132
tetrozy 38
tłuszcze właściwe 45, 68, 69, 203, 218
tłuszczowce (patrz: lipidy)
tonoplast 116, 235
transferazy 157
transformacja nowotworowa 124
transport
– bierny (pasywny) 86, 91–93, 235
– czynny (aktywny) 89, 91–93, 213, 235
– pęcherzykowy 94, 95, 138, 235
trawienie wewnątrzkomórkowe 83, 114, 140
triglicerydy (patrz: tłuszcze właściwe)
triozy 38, 39
tRNA 65, 72, 98, 99, 159
tubulina 103
turgor 116
tylakoid 81, 107, 135, 136, 151, 171, 172, 174–179, 214, 235
tymina 29, 61, 63, 72

U
ubikwityna 55, 161, 167
uracyl 61, 65, 72
utleniacz 153
utlenianie kwasów tłuszczowych 203

W
wakuola 82, 83, 90, 102, 109, 111, 112, 116, 117, 135–137, 139, 235
– lityczna 116
wiązanie
– 1,4-glikozydowe 40
– 3',5'-fosfodiestrowe 63, 72, 235
– α-glikozydowe 40, 41, 68
– β-glikozydowe 40, 68
– estrowe 45–47, 61, 72
– jonowe 31, 32, 55, 56, 71, 87, 98
– kowalencyjne 31–34, 50, 53–55, 70, 113, 164, 165, 209
– O-glikozydowe 40, 235
– peptydowe 53, 54, 70, 71, 159, 165, 166, 229, 235
– spolaryzowane 32, 34
– wodorowe 32, 33, 35, 36, 43, 47, 54, 55, 63, 71, 72, 118, 157
wić 103–105
wielocukry (patrz: polisacharydy)
wodniczka (patrz: wakuola)
– pokarmowa 117
– tętniąca 117
woski 45, 46, 68
wrzeciono
– cytokinetyczne 126
– kariokinetyczne (podziałowe) 103, 124, 126, 130, 131, 235
wysalanie (patrz: koagulacja)

Z
zasada azotowa 29, 37, 61, 63–65, 72
zmienna
– niezależna 10, 11
– zależna 10, 11
zymogen (patrz: proenzym)

Literatura uzupełniająca

Alberts B. i in., *Podstawy biologii komórki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2009.

Bartel H., *Embriologia*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2010.

Berg J.M. i in., *Biochemia*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005.

Bryszewska M., Leyko W. (red.), *Biofizyka dla biologów*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1997.

Campbell N.A. i in., *Biologia*, Dom Wydawniczy REBIS, Poznań 2012.

Cichocki T., Litwin J.A., Mirecka J., *Kompendium histologii*, Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków 2002.

Drewa G., Ferenc T. (red.), *Genetyka medyczna*, Elsevier Urban & Partner, Wrocław 2011.

Epstein R.J., *Biologia molekularna człowieka*, Wydawnictwo Czelej, Lublin 2005.

Gołąb J., Jakobisiak M., Lasek W., Stokłosa T. (red.), *Immunologia*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2009.

Jura C., Krzanowska H., *Leksykon biologiczny*, Wiedza Powszechna, Warszawa 1992.

Kawiak J. i in. (red.), *Podstawy cytofizjologii*, PWN, Warszawa 2008.

Kłyszejko-Stefanowicz L., *Cytobiochemia. Biochemia niektórych struktur komórkowych*, PWN, Warszawa 2002.

Kunicki-Goldfinger W.J.H., *Życie bakterii*, PWN, Warszawa 2008.

Lewak S., Kopcewicz J., *Fizjologia roślin. Wprowadzenie*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2009.

Mindell E., *Biblia witamin*, Muza S.A., Warszawa 1996.

Murray R.K., Granner D. K., Rodwell V.W., *Biochemia Harpera ilustrowana*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2010.

Roberts R., Shettles L.B., *Od poczęcia do narodzin*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 1998.

Salyers A.A., Whitt D.D., *Mikrobiologia. Różnorodność, chorobotwórczość i środowisko*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2010.

Sawicki W., *Histologia*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2009.

Schlegel H.G., *Mikrobiologia ogólna*, PWN, Warszawa 2005.

Sikorski Z., Drozdowski B., Samotus B., Pałasiński M., *Chemia żywności*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1998.

Solomon E.P., Berg L.R., Martin D.W., Vilee C.A., *Biologia*, MULTICO Oficyna Wydawnicza, Warszawa 2011.

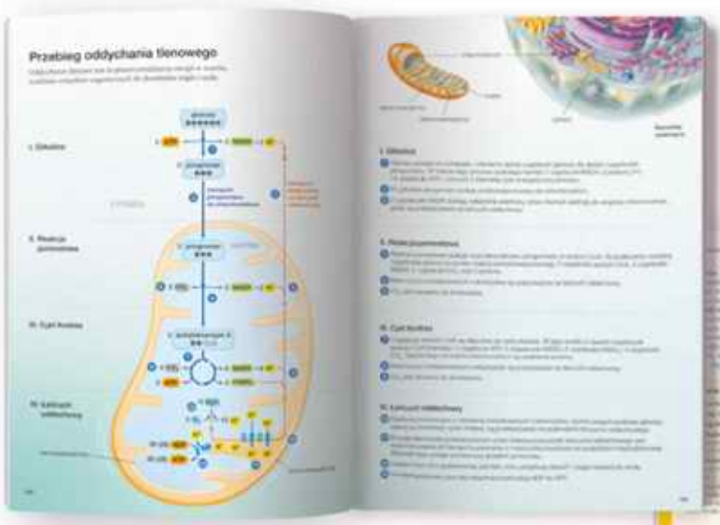
Zdjęcia pochodzą ze zbiorów:

Archiwum Nowej Ery s. 77, 147, okładka; **BE&W:** ALAMY STOCK PHOTO – blickwinkel s. 107, 173 (skrętnica), molekuul.be s. 57 (globiliny), Richard Watkins s. 13 (książka z sekwencją DNA), Westend61 GmbH s. 22 (umieszczenie preparatów na szkiełku podstawowym); Science Source/SciMat s. 41 (ziarna skrobi jęczmienia); **EAST NEWS:** Media Drum/Lynn Wu s. 108 (ślimak), Science Photo Library/Biophoto Associates s. 20 (aparat Golgiego), VISUALS UNLIMITED – Conly Rieder and Alexey Khodjakov s. 126 (wrzeciona kariokinetyczne), David Wrobel s. 106 (liście), Dr Robert Calentine s. 210 (sinice), Wim van Egmond s. 78 (okrzemki); **FLASH PRESS MEDIA:** Diomedia/Marka/Franco Valoti s. 117 (kryształy szczawianu wapnia), Diomedia/Science Source/David M. Phillips s. 129 (komórka jajowa), MEDICAL Images/Medical Images RM/Claude Bucau s. 121 (kariotyp); **GETTY IMAGES:** E+/Ethan Myerson s. 22 (wybarwiony preparat), E+/hsihsiang Liu s. 13 (ampułka i strzykawka), E+/MaXPdia s. 22 (zatapianie preparatu w parafinie); **ISTOCKPHOTO** – buccaneership s. 42 (ziarna skrobi ziemniaka), gorodenkoff s. 22 (analiza preparatu pod mikroskopem), shironosov s. 18 (tło infografiki), tonaquatic s. 22 (mikrotron); Lonely Planet Images/Ignacio Palacios s. 163 (gejzer), Moment Open/xia yuan s. 84 (neurony), Oxford Scientific RM/Burt Jones/Maurine Shimlock s. 36 (ślimak morski), Photolibrary RM/Martin Harvey s. 33 (gekon), Science Photo Library RM/Steve Gschmeissner s. 43 (ściana komórkowa), Science Source/Gregory MD. s. 100 (parasolowce), Thinkstock/iStock/Joseph Zeltner s. 6; **INDIGO IMAGES:** ALAMY STOCK PHOTO – Helmut Corneli s. 46 (kaszalot), Inga Spence s. 210 (brodawki korzeniowe), Peter Hermes Furian s. 85 (komórki skórki liścia cebuli); CAIA IMAGE/Adam Gault s. 106 (bulwy roślin); CULTURA RM/Andrew Brookes s. 12 (pipeta); Fotosearch LBRF/Kateryna_Kon s. 57 (wirus HIV i przeciwciała); **SCIENCE PHOTO LIBRARY** – A. Barrington Brown s. 12 (James Watson i Francis Circk), Alfred Pasieka s. 182 (bakterie Nitrobacter), Andrew Lambert Photography s. 41, 228 (próba Fehlinga), Andrew Syred s. 104 (orzęski), Biophoto Associates s. 106 (chloroplasty), CAMR/A.B. Dowsett s. 20 (leukocyty), Dennis Kunkel Microscopy s. 79 (Acetabularia), 84 (krwinki czerwone, komórki roślinne), 131 (komórka z jąderkiem), 181 (bakterie Chlorobiaceae), 198 (bakterie Lactobacillus plantarum), Dr Jeremy Burgess s. 106 (etioplasty), Dr P. Marazzi s. 119 (kora drzewa – suberyna), Gerd Guenther s. 106 (chromoplasty), Marek Miś s. 79 (eugleny), Martyn F. Chillmaid s. 229 (reakcja biuretowa), Moredun Animal Health s. 124 (komórka nowotworowa), Pr. G. Gimenez-Martin s. 124–125 (przebieg mitozy), Ramon Andrade 3dciencia s. 28, 57 (fibrynogen), Science Photo Library RF s. 198 (komórki drożdży), 206 (komórki nowotworowe trzustki), Science Photo Library RF/KATERYNA KON s. 103 (transport substancji z udziałem białek), Science Photo Library RF/MOLEKUUL s. 56 (keratyna), Science Photo Library RF/TEK IMAGE s. 13 (hodowla komórek wątroby), Science Photo Library s. 12 (odkrywcy kodu genetycznego J. Heinrich Matthaei i Marshall Warren Nirenberg), 19 (bakterie E.coli, mikroskop transmisyjny i skaningowy), 20 (aparat Golgiego), 35 (naczynia kapilarne), 42 (ziarna glikogenu), 65 (rybosom), 84 (rurki sitowe), 90 (plazmoliza), 106 (amyloplasty, kwiat), 110 (rybosomy związane siateczką śródplazmatyczną), 113 (aparat Golgiego), 116 (wakuola), 119 (komórki drewna – lignina, liść – kutyna), 128 (podział komórki), 198 (grzyby z rodzaju Penicillium), Secchi-Lecaque/Roussel-Uclaf/Col. V. Gremet/CNRI s. 57 (zakrzep krwi), Steve Gschmeissner s. 104 (wiciowiec), Thomas Deerinck, NCMIR s. 13 (bakterie), University Of Aberdeen/Kevin Mackenzie s. 20 (mikroskopia fluorescencyjna); **SHUTTERSTOCK:** Africa Studio s. 18 (szakla z rośliną, szklane kolby), AlenKadr s. 198 (kufel piwa), Billion Photos s. 35 (skóra z potem), DanielCz s. 46 (kaktusy), Elena Masiutkina s. 125 (rozłogi truskawki), Elnur s. 9 (dziewczyna), eranicle s. 42, 202 (wątroba), Eric Isselée s. 15 (ropucha szara), etitarenko s. 198 (ser pleśniowy), HAKINMHAN s. 198, isak55 s. 12 (kod genetyczny), jamesteohart s. 34 (waleń), Jan Miko s. 35 (narciki), jessicahyde s. 106 (drzewo), JL-Pfeifer s. 42 (ziemniaki), kwanchai.c s. 18 (mikroskop), LAURA_VN s. 206 (nasiona soi), Idambies s. 44 (rtg stopy), Liya Graphics s. 35 (ludzkie serce), mexrix s. 206 (ryby), molekuul_be s. 55 (model ubikwityny), 80 (model nukleosomu), Monika Surzin s. 46 (ptak), New Africa s. 58 (surowe jajo kurze), Nick Pecker s. 43 (kwiaty), Olga Ustynova s. 43 (owad z chitynowym pancerzem), petarg s. 55, 57 (model hemoglobiny), Rtstudio s. 206 (nasiona lnu), Rudmer Zwerver s. 15 (żaba trawna), Sangaroon s. 159 (grzyby Neurospora), Sea Wave s. 198 (kiszone ogórki), Sebastian Duda s. 5, Sergei Drozd s. 64 (kod genetyczny), sergey kolesnikov s. 46 (pszczoły), Sergey Ryzhov s. 79 (jajo strusie i kurze), Shimkovich Svetlana s. 21 (preparat mikroskopowy, montaż z telefonem), Somboon Bunproy s. 49 (larwa motyla), SOMMAI s. 58 (ugotowane jajo kurze), Starkov Roman s. 34 (ryby pod lodem), Sumruay Rattanataipob s. 49 (motyl), Tim UR s. 206 (orzechy włoskie), Timmary s. 198 (ciasto drożdżowe), toeytoey s. 20 (leukocyty), Vector8DIY s. 57 (krwinki czerwone), vectorfusionart s. 12, 13 (tło infografiki, model DNA), Vitalii Hulai s. 15 (grzebiuszka ziemna) oraz Anna Helmin s. 21 (wykonanie zdjęcia mikroskopowego telefonem komórkowym), **Ed Uthman/Flickr.com** s. 22 (barwienie preparatów, obraz preparatu na ekranie), **Ewelina i Bogdan Wańkowiczowie/Patryk Budzich** s. 49, 229 (barwienie tłuszczu Sudanem III), 228 (próba jodowa), 229 (próba ksantoproteinowa), Farin HF, Lüdtke TH-W, Schmidt MK, Placzko S, Schuster-Gossler K, Petry M. et al. (2013) https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1003467/Editor: Rolf Zeller, University of Basel, Switzerland (udostępnione na licencji Creative Commons Attribution License) s. 127 (formowanie się łapki zarodka myszy), **Izabella Kołodziejek** s. 107 (chromoplasty), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), U.S. Department of Commerce s. 183 (komin hydrotermalny), **Robert Stawarz** s. 104 (komórki moczarki kanadyjskiej), Wikimedia Commons/AzaToth s. 57, 70 (model mioglobiny), www.cell.com/Elsevier Inc./Fangyu Liu, Zhe Zhang, Laszlo Csanady, David C. Gadsby, Jue Chen, 2017 s. 112 (model białka kanału chlorkowego).

nowa era *Twoje mocne strony*

Biologia na czasie

Podręcznik *Biologia na czasie 1* do zakresu rozszerzonego zawiera treści dotyczące metodyki doświadczeń, chemicznych podstaw życia, komórki oraz metabolizmu, konieczne do zrozumienia kolejnych zagadnień. Szczególny nacisk położono w nim na kształcenie umiejętności badawczych oraz wyjaśnianie związków przyczynowo-skutkowych i analizę procesów biologicznych.

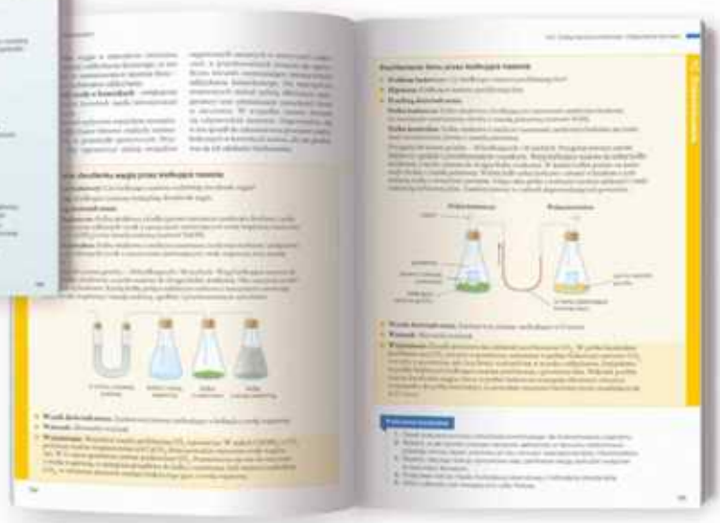


Czytelne infografiki procesów

Infografiki stanowią graficzne przedstawienie ważnych procesów biologicznych. Ułatwiają ich zrozumienie i zapamiętanie.

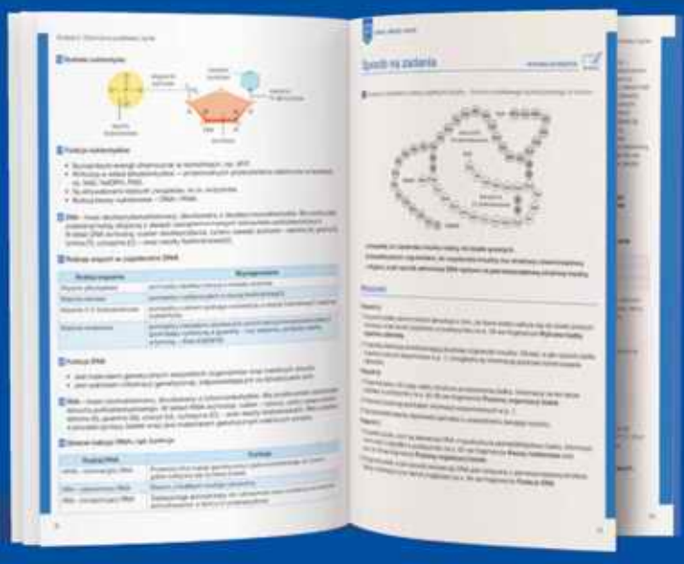
Doświadczenia i obserwacje

Wszystkie doświadczenia i obserwacje w podręczniku mają wyraźnie wyróżnione etapy badań biologicznych.



WIESZ, UMIESZ, ZDASZ

W podręczniku *Biologia na czasie 1* do zakresu rozszerzonego znajduje się szereg rozwiązań, umożliwiających wykształcenie kluczowych umiejętności zawartych w podstawie programowej. Jednym z nich jest blok *Wiesz, umiesz, zdasz*, porządkujący wiadomości i kształcący umiejętności z danego działu. Zawiera *Podsumowanie*, *Sposób na zadania* oraz *Zadania powtórzeniowe*.



Nowa Era Sp. z o.o.

www.nowaera.pl nowaera@nowaera.pl

Centrum Kontaktu: 801 88 10 10, 58 721 48 00

ISBN 978-83-267-3636-0