

Nowość
EDYCJA 2024

NOWA Biologia na czasie

1

PODRĘCZNIK • LICEUM • TECHNIKUM

ZAKRES ROZSZERZONY

ZMIANY
W PODSTAWACH
2024



oznaczenia
usuniętych
treści

nowa
era

NOWA Biologia na czasie

1 PODRĘCZNIK • LICEUM • TECHNIKUM
ZAKRES ROZSZERZONY

MAREK GUZIK
RYSZARD KOZIK
AGNIESZKA KROTKE
RENATA MATUSZEWSKA
ANNA TYC
WŁADYSŁAW ZAMACHOWSKI

NOWA Biologia na czasie

Podręcznik dopuszczony do użytku szkolnego przez ministra właściwego do spraw oświaty i wychowania i wpisany do wykazu podręczników przeznaczonych do kształcenia ogólnego do nauczania biologii, na podstawie opinii rzeczoznawców:

dr Anny Krystyny Strenickiej, mgr. Adama Pukocza, dr Marii Jolanty Piaseckiej.

Etap edukacyjny: III

Typ szkoły: liceum ogólnokształcące i technikum

Rok dopuszczenia: 2024

Numer ewidencyjny w wykazie MEN: 1225/1/2024

Podręcznik został opracowany na podstawie *Programu nauczania biologii dla liceum ogólnokształcącego i technikum w zakresie rozszerzonym – Biologia na czasie*.

Nabyta przez Ciebie publikacja jest dziełem twórcy i wydawcy. Prosimy o przestrzeganie praw, jakie im przysługują. Zawartość publikacji możesz udostępnić nieodpłatnie osobom bliskim lub osobiście znanym, ale nie umieszczaj jej w internecie. Jeśli cytujesz jej fragmenty, to nie zmieniaj ich treści i koniecznie zaznacz, czyje to dzieło. Możesz skopiować część publikacji jedynie na własny użytek.

Szanujemy cudzą własność i prawo. Więcej na www.legalnakultura.pl

Wykorzystywanie treści niniejszego Utworu, w jakiegokolwiek formie lub w jakimkolwiek procesie, do celów eksploracji tekstu i danych, uczenia maszynowego, rozwoju i/lub szkolenia i/lub wzbogacania sztucznej inteligencji jakiegokolwiek rodzaju jest surowo zabronione.



© Copyright by Nowa Era Sp. z o.o. 2024
ISBN 978-83-267-5021-2

Autorzy: Anna Tyc (1. *Badania biologiczne, Sposób na zadania, Zadania powtórzeniowe*); Marek Guzik, Ryszard Kozik, Renata Matuszewska, Władysław Zamachowski (2. *Chemiczne podstawy życia, 3. Komórka – podstawowa jednostka życia*); Agnieszka Krotke (4. *Metabolizm*).

Koordinacja prac i redakcja merytoryczna: Magdalena Bujnowska.

Redakcja merytoryczna: Aleksandra Mazur. **Redakcja językowa:** Roksana Blech.

Nadzór artystyczny: Kaia Pichler. **Opieka graficzna:** Maciej Galiński, Marcin Oleksak.

Projekt okładki: Maciej Galiński. **Projekt graficzny:** Marcin Kołacz.

Opracowanie graficzne: Maciej Galiński, Elena Grikurova-Wojnowska, Marcin Kołacz, Marcin Oleksak, Joanna Ptak, Marcin Ptak, Wojciech Sendal, Agnieszka Stankiewicz.

Ilustratorzy: Ewelina Baran, Elżbieta Buczkowska, Rafał Buczkowski, Marta Długokęcka, Zuzanna Dudzic, Justyna Dybala, Marcin Franczak, Natalia Helman, Wioleta Herczyńska, Ewa Kaletyn, Agata Knajdek, Laura Maziewska, Krzysztof Mrawiński, Marek Nawrocki, Marcin Oleksak, Paulina Podolska, Joanna Ptak, Marcin Ptak, Wojciech Sendal, Marta Sieczkowska, Ewa Sowulewska, Monika Wiśniewska.

Fotoserwis: Bogdan Wańkowicz. **Realizacja projektu graficznego:** Ewa Pietras.

Wydawnictwo dołożyło wszelkich starań, aby odnaleźć posiadaczy praw autorskich do wszystkich utworów zamieszczonych w publikacji. Pozostałe osoby prosimy o kontakt z Wydawnictwem.

Nowa Era Sp. z o.o.
Aleje Jerozolimskie 146 D, 02-305 Warszawa
www.nowaera.pl, e-mail: nowaera@nowaera.pl
Centrum Kontaktu: 58 721 48 00

Druk i oprawa: Quad/Graphics Europe Sp. z o.o.

O czym jest podręcznik?

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

Dlaczego większość komórek ma małe rozmiary?

Skąd organizmy czerpią energię do życia?

Z jakich związków chemicznych jest zbudowany organizm człowieka?

Do czego służą poszczególne elementy podręcznika?



Przypomnij sobie

Najważniejsze treści omawiane **w szkole podstawowej** pomogą Ci zrozumieć nowe wiadomości.

Samouczek

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

Ważne w tym temacie

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

Dowiedz się więcej

Dodatkowe treści dotyczące danego tematu pozwolą Ci lepiej zrozumieć omawiane zagadnienia i pogłębić wiedzę biologiczną.

Czy wiesz, że...

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

Doświadczenie



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



Biologia w medycynie

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

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

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

Spis treści

► 1. Badania biologiczne

1.1. Metody badawcze w biologii

1.2. Obserwacje mikroskopowe

1.3. Proste analizy statystyczne w biologii

1.4. Analiza materiałów źródłowych w badaniach biologicznych

Podsumowanie

Sposób na zadania

Zadania powtórzeniowe

► 2. Chemiczne podstawy życia

2.1. Skład chemiczny organizmów

2.2. Budowa i funkcje sacharydów

2.3. Budowa i funkcje lipidów

2.4. Aminokwasy. Budowa i funkcje białek

2.5. Właściwości i wykrywanie białek

2.6. Budowa i funkcje nukleotydów oraz kwasów nukleinowych

Podsumowanie

Sposób na zadania

Zadania powtórzeniowe

► 3. Komórka – podstawowa jednostka życia

3.1. Budowa i funkcje komórki. Rodzaje komórek

3.2. Błony biologiczne

3.3. Transport przez błony biologiczne

3.4. Jądro komórkowe. Cytosol

3.5. Mitochondria i plastidy. Teoria endosymbiozy

3.6. Struktury komórkowe otoczone jedną błoną i rybosomy

3.7. Ściana komórkowa

3.8. Cykl komórkowy. Mitoza

3.9. Mejoza

Podsumowanie

Sposób na zadania

Zadania powtórzeniowe

► 4. Metabolizm

4.1. Podstawowe zasady metabolizmu

4.2. Budowa i działanie enzymów

4.3. Regulacja aktywności enzymów

4.4. Autotroficzne odżywianie się organizmów – fotosynteza

4.5. Czynniki wpływające na intensywność fotosyntezy

4.6. Autotroficzne odżywianie się organizmów – chemosynteza

4.7. Oddychanie komórkowe. Oddychanie tlenowe

4.8. Procesy beztlenowego uzyskiwania energii

4.9. Metabolizm głównych substratów energetycznych

Podsumowanie

Sposób na zadania

Zadania powtórzeniowe

Sposób na zadania – odpowiedzi

Doświadczenia i obserwacje – odpowiedzi

Tablice biologiczne

Przydatne terminy

Indeks

Literatura uzupełniająca

- Klasa 2

•

Rożnorodność organizmów
- Klasa 3

•

Człowiek
- Klasa 4

•

Genetyka

•

Ewolucjonizm

•

Ekologia

•

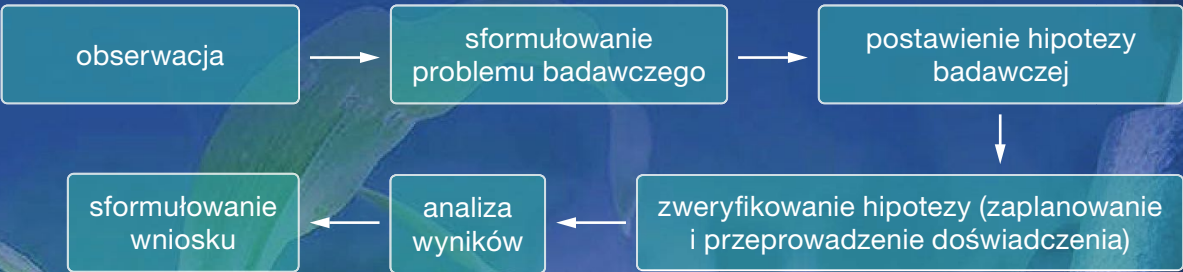
Ochrona przyrody

1. Badania biologiczne

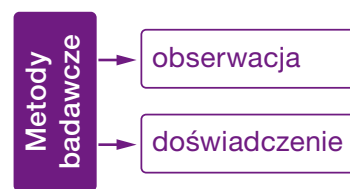


Przypomnij sobie – to było w szkole podstawowej

- **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. Metody badawcze w biologii



Ważne w tym temacie!

- sposób przeprowadzania obserwacji i doświadczeń
- różnice między próbą kontrolną a próbą badawczą
- formułowanie problemu badawczego, hipotezy badawczej i wniosków

Biologia (gr. *bíos* – ‘życie’, *lógos* – ‘słowo’, ‘nauka’) to nauka przyrodnicza badająca zjawiska i procesy związane z życiem. Biologia zajmuje się więc budową i funkcjonowaniem organizmów, a także zależnościami zachodzącymi między nimi a środowiskiem. Głównym sposobem zdobywania wiedzy biologicznej są badania naukowe, które zapewniają rzetelne i wiarygodne informacje dzięki wykorzystywaniu metod badawczych.

Metody badawcze

Metodami badawczymi stosowanymi w biologii są **obserwacja** i **doświadczenie**.

Obserwacja to metoda prowadzenia badań, w której nie wpływa się na badane obiekty, zjawiska lub procesy, lecz przeprowadza się bezpośrednią analizę za pomocą zmysłów oraz

dokonyuje się pomiarów (np. badanie liczebności populacji rysia euroazjatyckiego w Polsce).

Uwaga: Obserwacja ma dwa znaczenia – może stanowić osobną metodę badawczą lub być jedynie etapem innego badania (→ s. 7).

Doświadczenie to metoda prowadzenia badań, w której celowo i w kontrolowanych warunkach zmienia się jeden lub kilka czynników wpływających na badane obiekty, zjawiska lub procesy (np. badanie wpływu natężenia światła na intensywność fotosyntezy u moczarki kanadyjskiej).

Etapy badań biologicznych

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

Etapy badań biologicznych

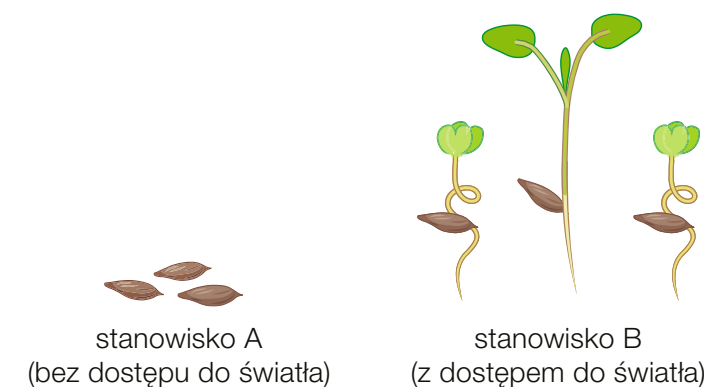


Zaobserwowanie zjawiska lub procesu

Planowanie badań rozpoczyna się od zaobserwowania przez badacza nieznanego organizmu, niewytłumaczonego procesu lub niezrozumiałego zjawiska.

Przykład obserwacji (etapu badań):

Zaobserwowano, że nasiona sałaty na stanowisku A nie wykiełkowały, natomiast nasiona sałaty na stanowisku B wykiełkowały.



Ten etap doświadczenia skłania do zadawania pytań, na które następnie szuka się odpowiedzi.

Przykłady pytań zadawanych przez badaczy:

- Czym różnią się stanowiska sałaty?
- Czy czynnikiem wpływającym na tempo kiełkowania nasion sałaty może być dostęp do światła?

Sformułowanie problemu badawczego

Kolejnym etapem badań biologicznych jest sformułowanie **problemu badawczego**, czyli pytania, na które chce się poznać odpowiedź. Problem badawczy przyjmuje zazwyczaj postać zdania pytającego lub równoważnika zdania. Właściwie sformułowany problem badawczy powinien określać cel badania, czyli zawierać informacje na temat:

- **przedmiotu badań** – zjawiska lub procesu, które chce się poznać (np. kiełkowanie),
- **obiekту badań**, a więc materiału biologicznego lub organizmów, na których będą prowadzone badania (np. nasiona sałaty),
- **badanego czynnika**, którego wpływ na przedmiot badań chce się poznać (np. dostęp do światła).

Wartość badanego czynnika wyznacza osoba przeprowadzająca badanie (np. dostęp lub brak dostępu do światła). Czynnikiem, którego wartość jest ustalana przez badacza, nazywa się **zmienną niezależną**. Zmienna niezależna wpływa na obiekt badań, ponieważ oddziałuje na inne parametry. Parametr, którego wartość zmienia się pod wpływem zmiennej niezależnej, określa się mianem **zmiennej zależnej**. W przywołanym przykładzie zmienną zależną może być np. tempo kiełkowania nasion.

Aby wynik badania był wiarygodny, należy utrzymywać na stałym poziomie parametry, których wpływ na badany czynnik nie jest przedmiotem badania. Czynnikiem, którego wartość badacz kontroluje i utrzymuje na stałym poziomie, określa się mianem **zmiennej kontrolowanej**. W opisanym doświadczeniu zmienną kontrolowaną może być np. temperatura powietrza lub częstotliwość podlewania nasion.

Przykłady problemu badawczego:

- Czy dostęp do światła wpływa na kiełkowanie nasion sałaty?
- Wpływ dostępu do światła na kiełkowanie nasion sałaty.

Metody badawcze

obserwacja

Badacz nie wpływa na badane obiekty, zjawiska lub procesy.



Przykład: liczenie przedstawicieli różnych gatunków ptaków na danym terenie.

doświadczenie

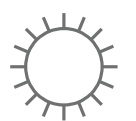
Badacz sprawdza, jak zmiana wybranego czynnika wpływa na badane obiekty, zjawiska lub procesy.



Przykład: badanie wpływu związków chemicznych na tempo podziałów komórek nowotworowych.

Formułowanie problemu badawczego i hipotezy badawczej

Poprawnie sformułowane problem badawczy i hipoteza badawcza zawierają: badany czynnik, przedmiot badań oraz obiekt badań.

	Badany czynnik (zmienna niezależna) Czynnik, którego wpływ na przedmiot badań chce się poznać.	Przedmiot badań (zmienna zależna) Zjawisko lub proces, na które ma wpływ badany czynnik.	Obiekt badań Materiał biologiczny lub organizmy, na których prze- prowadza się badanie.
	 natężenie światła	 intensywność fotosyntezy	 stokrotka pospolita
Problem badawczy:	Wpływ natężenia światła na Czy natężenie światła wpływa na	intensywność fotosyntezy intensywność fotosyntezy	u stokrotki pospolitej. u stokrotki pospolitej?
Hipoteza:	Natężenie światła wpływa na	intensywność fotosyntezy	u stokrotki pospolitej.

Postawienie hipotezy badawczej

Po sformułowaniu problemu badawczego należy postawić **hipotezę badawczą**, czyli ustalić wstępne założenia dotyczące wyniku badań. Hipoteza może mieć formę zdania oznajmującego twierdzącego lub przeczącego. Hipotezę trzeba następnie zweryfikować za pomocą odpowiednio zaplanowanych badań.

Przykład hipotezy badawczej:
Dostęp do światła umożliwia kiełkowanie nasion sałaty.

Zweryfikowanie hipotezy

Ten etap polega na sprawdzeniu, czy postawiona hipoteza jest prawdziwa. Aby to zrobić, badający przygotowuje tzw. próby, czyli zestawy doświadczalne. Wyróżnia się dwa rodzaje prób: próbę badawczą (badaną) i próbę kontrolną.

Próba badawcza i próba kontrolna

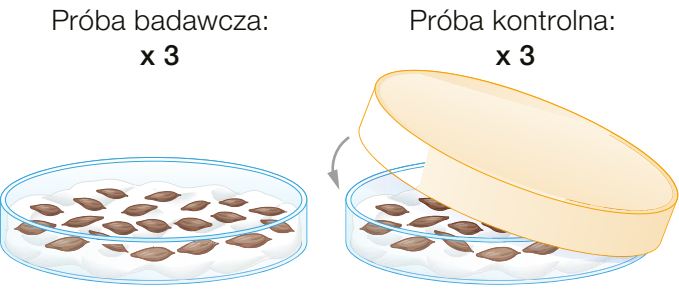
W **doświadczeniu** próba badawcza to zestaw doświadczalny, w którym **wynik badania nie**

jest znany badaczowi. Dzięki przeanalizowaniu tego wyniku można odpowiedzieć na pytanie zawarte w problemie badawczym. Próbą badawczą jest zwykle materiał biologiczny, organizm lub proces, w którym **występuje badany czynnik**.

Próba kontrolna to zestaw doświadczalny, w którym **wynik badania jest znany** badaczowi. Wynik uzyskany w tej próbie stanowi więc punkt odniesienia dla wyniku uzyskanego w próbie badawczej. Próbą kontrolną jest zwykle materiał biologiczny, organizm lub proces, w którym **nie występuje badany czynnik**. W pewnych doświadczeniach nie można usunąć badanego czynnika w próbie kontrolnej (→ np. s. 192).

Próba badawcza i próba kontrolna powinny różnić się wyłącznie obecnością bądź wartością badanego czynnika. Pozostałe parametry powinny być jednakowe. Dzięki temu obserwowany w próbie badawczej efekt będzie wynikał tylko z działania badanego czynnika. Porównanie wyników próby badawczej i próby kontrolnej pozwala zweryfikować hipotezę i wyciągnąć odpowiednie wnioski.

Przykład próby badawczej: 60 nasion sałaty wysianych na 3 szalkach (po 20 nasion na każdej), które umieszczono na stanowiskach z dostępem do światła, np. na parapecie.
Przykład próby kontrolnej: 60 nasion sałaty wysianych na 3 szalkach (po 20 nasion na każdej), które umieszczono na stanowiskach bez dostępu do światła, np. przykryto je kartonami.



W **obserwacji** (metodzie badawczej) próbą badawczą są organizmy lub obiekty, dla których nie jest znany efekt obserwacji, np. produkty spożywcze o nieznannej zawartości skrobi. Próbą kontrolną są zaś organizmy lub obiekty, dla

których efekt obserwacji jest znany z góry, np. próbki laboratoryjne o znanej zawartości skrobi.

Jak zaplanować przebieg badań?

W badaniach biologicznych trzeba wykonać serię powtórzeń dla każdej próby. Następnie otrzymane wyniki należy przeanalizować z wykorzystaniem metod statystycznych (przykład przebiegu badania → s. 10–11, przykład analizy wyników → s. 19–23).

Sformułowanie wniosku

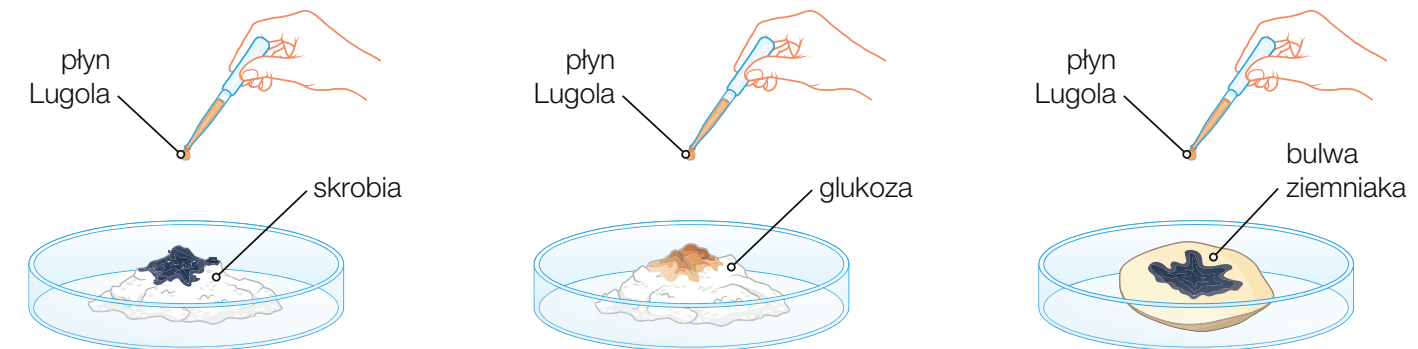
Ostatnim etapem badań jest wyciągnięcie wniosku i potwierdzenie lub odrzucenie hipotezy badawczej. Podczas pisania wniosku zawsze używa się czasu teraźniejszego. Ponadto we wniosku należy uwzględnić sposób, w jaki badany czynnik wpływa na przedmiot badań (przykład wniosku → s. 11).

Kontrola negatywna i kontrola pozytywna

W badaniach biologicznych często stosuje się dwa rodzaje prób kontrolnych:

- ▶ **próbę kontrolną pozytywną** (kontrolę pozytywną), czyli zestaw doświadczalny, w którym spodziewamy się zaobserwować badane zjawisko lub proces,
- ▶ **próbę kontrolną negatywną** (kontrolę negatywną), czyli zestaw doświadczalny, w którym nie spodziewamy się zaobserwować badanego zjawiska lub procesu.

Z wynikami obu prób porównuje się wynik uzyskany w próbie badawczej – w ten sposób można sprawdzić, czy badanie przeprowadzono poprawnie. Przykładem badania wykorzystującego próbę kontrolną pozytywną i próbę kontrolną negatywną jest wykrywanie skrobi w bulwie ziemniaka. Do wykrywania skrobi stosuje się płyn Lugola, który barwi skrobię na granatowo.



Próba kontrolna pozytywna zawiera skrobię, dlatego pod wpływem płynu Lugola próbka zabarwia się na granatowo.
Próba kontrolna negatywna nie zawiera skrobi, dlatego pod wpływem płynu Lugola próbka nie zabarwia się na granatowo.
Próba badawcza pod wpływem płynu Lugola zabarwia się na granatowo – oznacza to, że bulwa ziemniaka zawiera skrobię.

Etapy doświadczenia biologicznego

Każde doświadczenie biologiczne składa się z pięciu etapów: zaobserwowania zjawiska lub procesu, sformułowania problemu badawczego, postawienia hipotezy badawczej, zweryfikowania hipotezy oraz sformułowania wniosku.

Doświadczenie dotyczące wpływu jednostronnego oświetlenia na kierunek wzrostu siewek pieprzycy siewnej (*Lepidium sativum*)

**1 Zaobserwowanie zjawiska lub procesu**

Zaobserwowane przez badacza nieznanie zjawisko lub niezrozumiały proces skłania go do zadawania pytań.

Zazwyczaj siewki pieprzycy siewnej rosną pionowo. Dlaczego siewki, które rosną na parapecie, wyginają się w stronę okna? Czy odpowiada za to ruch powietrza?

A może dzieje się tak dlatego, że siewki wyginają się w kierunku źródła światła?

Zacznę od sprawdzenia drugiej możliwości.

Pieprzycę siewną potocznie nazywa się **rzeżuchą**.



**2 Sformułowanie problemu badawczego**

Badacz określa cel badania.

Problem badawczy:

Czy **jednostronne oświetlenie** wpływa na **kierunek wzrostu pędu siewek pieprzycy siewnej**?

lub

Wpływ **jednostronnego oświetlenia** na **kierunek wzrostu pędu siewek pieprzycy siewnej**.

Problem badawczy i hipoteza muszą zawierać badany czynnik, przedmiot badań oraz obiekt badań.

badany czynnik (zmienna niezależna)

przedmiot badań (zmienna zależna)

obiekt badań

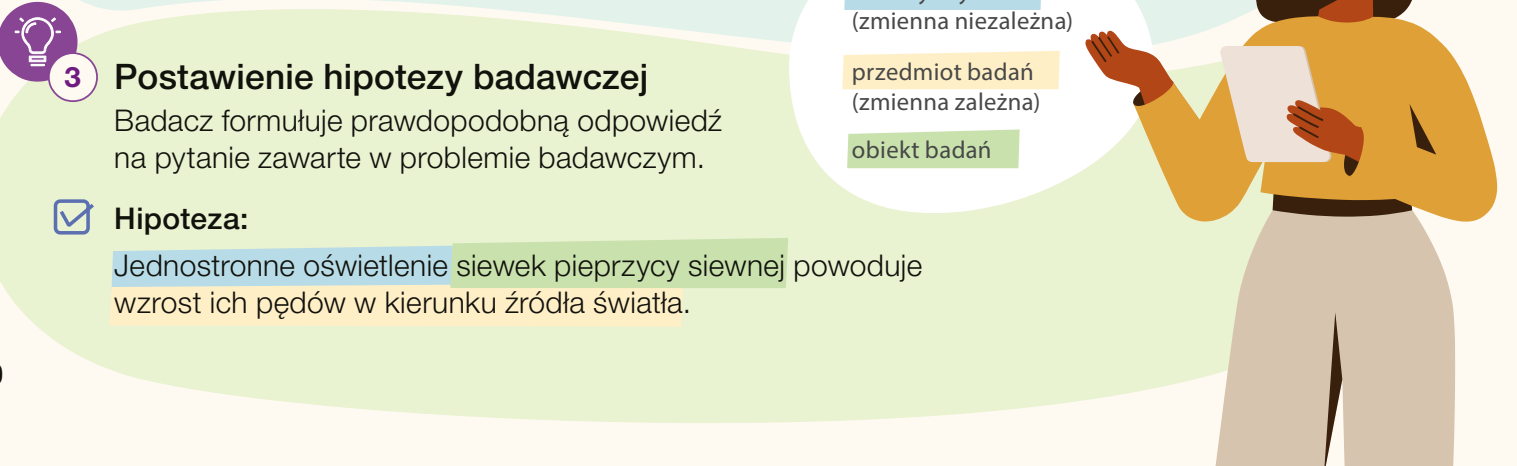


**3 Postawienie hipotezy badawczej**

Badacz formułuje prawdopodobną odpowiedź na pytanie zawarte w problemie badawczym.

Hipoteza:

Jednostronne oświetlenie siewek pieprzycy siewnej powoduje wzrost ich pędów w kierunku źródła światła.



**4 Zweryfikowanie hipotezy**

Główny etap doświadczenia przeprowadzanego przez badacza. Składa się z trzech kroków.

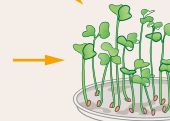
1. Planowanie badań (określenie prób badawczych i prób kontrolnych)

Próba badawcza: 3 szalki zawierające po 20 wykiełkowanych nasion pieprzycy siewnej, które umieszczono na wilgotnej bibule w temperaturze ok. 20°C i oświetlano **jednostronnym światłem** przez 2 dni.

Próba kontrolna: 3 szalki zawierające po 20 wykiełkowanych nasion pieprzycy siewnej, które umieszczono na wilgotnej bibule w temperaturze ok. 20°C i oświetlano **równomiernym światłem** przez 2 dni.

Jeśli czynnikiem, który chcę zbadać, jest jednostronne oświetlenie, to w próbie kontrolnej muszę oświetlić siewki równomiernym światłem.

2. Przeprowadzenie badań

STAŁE WARUNKI DLA WSZYSTKICH PRÓB	CZYNNIK ODRÓŻNIAJĄCY PRÓBĘ KONTROLNĄ OD PRÓBY BADAWCZEJ	
 2 dni	próba badawcza	próba kontrolna
 20°C	 światło kierunkowe	 równomierne oświetlenie
 ok. 80%	 x 3	 x 3

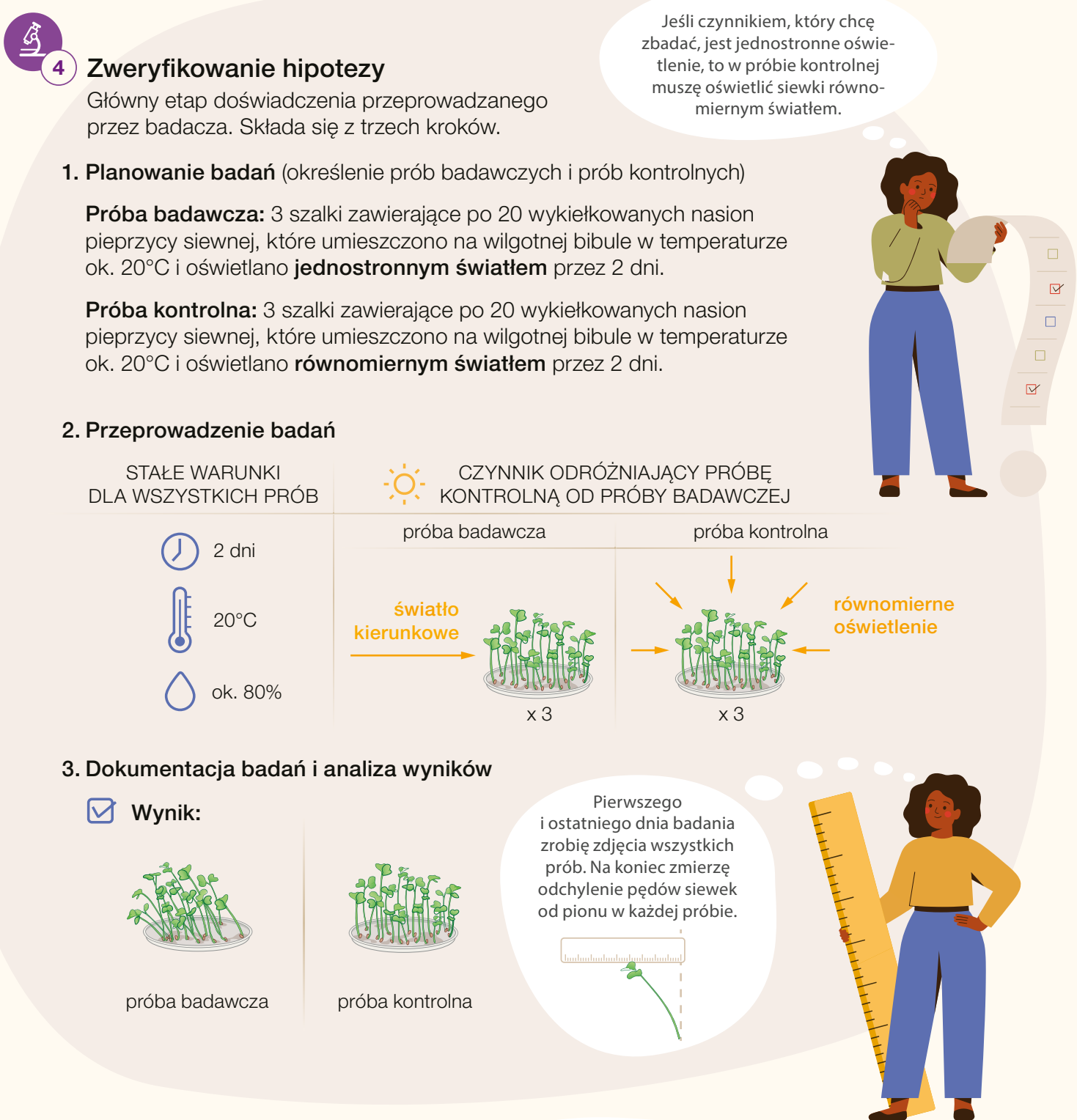
3. Dokumentacja badań i analiza wyników

Wynik:

 próba badawcza

 próba kontrolna

Pierwszego i ostatniego dnia badania zrobię zdjęcia wszystkich prób. Na koniec zmierzę odchylenie pędów siewek od pionu w każdej próbie.



**5 Sformułowanie wniosku**

Badacz potwierdza lub odrzuca hipotezę sformułowaną na początku doświadczenia. W przypadku odrzucenia postawionej hipotezy badający stawia nową hipotezę i kontynuuje badania.

We wniosku użyję czasu teraźniejszego. Wniosek powinien odnosić się zarówno do postawionej hipotezy badawczej, jak i do uzyskanych wyników badań.

We wniosku muszę podać sposób, w jaki badany czynnik wpływa na przedmiot badań.

Wniosek:

Kierunkowe oświetlenie siewek pieprzycy siewnej powoduje wzrost pędów w kierunku światła.



10

11

Przykładowa obserwacja

Uczniowie pewnej szkoły postanowili sprawdzić, czy liczba gatunków ptaków odwiedzających karmnik zależy od miejsca ustawienia karmnika.

- 1 **Problem badawczy:** Czy liczba gatunków ptaków przylatujących do karmnika różni się w zależności od miejsca ustawienia karmnika?
- 2 **Hipoteza badawcza:** Liczba gatunków ptaków przylatujących do karmnika zależy od miejsca ustawienia karmnika.
- 3 **Weryfikacja hipotezy:** Uczniowie prowadzili obserwacje zgodnie z poniższym planem i zapisywali otrzymane wyniki.

Plan przeprowadzenia obserwacji

Element obserwacji	Obserwacja
Obiekt badań	Przedstawiciele różnych gatunków ptaków odwiedzających karmnik.
Cel badań	Określenie liczby gatunków ptaków odwiedzających szkolny karmnik oraz karmnik ustawiony w lesie.
Miejsce	Miejsce w pobliżu szkolnego karmnika oraz karmnika ustawionego w lesie (obserwacje należy prowadzić w takiej odległości od karmnika, by nie niepokoić ptaków).
Czas	Termin prowadzenia obserwacji: ostatni tydzień stycznia. Obserwacje należy prowadzić codziennie w godz. 7.00–8.00.
Sposób wykonania obserwacji	Uczniowie dzielą się na dwie grupy: pierwsza grupa obserwuje karmnik szkolny, a druga – karmnik ustawiony w lesie. Obie grupy notują wszystkie gatunki ptaków, które przylatują do karmników. Aby zidentyfikować poszczególne gatunki, wykonują zdjęcia i porównują je ze zdjęciami znalezionymi w internecie.
Dokumentacja i analiza wyników	Zapisywanie danych w tabeli. Po zakończeniu obserwacji opracowanie wyników (przygotowanie tabeli zbiorczej i wykresu).

- 4 **Wyniki:** Szkolny karmnik odwiedzili przedstawiciele 4 gatunków ptaków, a karmnik ustawiony w lesie – przedstawiciele 12 gatunków ptaków.
- 5 **Wniosek:** Liczba gatunków ptaków przylatujących do karmnika różni się w zależności od miejsca ustawienia karmnika. Szkolny karmnik odwiedza mniej gatunków ptaków niż karmnik ustawiony w lesie.

Polecenia kontrolne

- 1. Zaplanuj doświadczenie, które pozwoli określić wpływ wyciągu z czosnku na kiełkowanie nasion fasoli. W tym celu:
 - a. sformułuj problem badawczy i hipotezę badawczą,
 - b. zaplanuj próbę badawczą i próbę kontrolną,
 - c. zaproponuj sposób dokumentowania wyników i ich analizy.
- 2. Opisz próbę badawczą i próbę kontrolną w doświadczeniu, którego problem badawczy brzmi: wpływ dostępu do światła na tempo wzrostu rozłożka czerniejącego (pospolitego gatunku grzyba, który powoduje pleśnienie produktów spożywczych).

1.2. Obserwacje mikroskopowe

Ważne w tym temacie!

- rodzaje mikroskopów
- przygotowywanie świeżego preparatu mikroskopowego
- przeprowadzanie obserwacji mikroskopowych

Obserwacje biologiczne dzieli się na:

- ▶ **obserwacje makroskopowe** – dotyczą obiektów o wielkości powyżej 0,01 mm, które można zobaczyć gołym okiem lub za pomocą lupy (np. obserwacja mrówek) bądź lornetki (np. obserwacja ptaków w lesie),
- ▶ **obserwacje mikroskopowe** – dotyczą obiektów o wielkości poniżej 0,01 mm, których nie można zobaczyć gołym okiem, przez co konieczne jest użycie mikroskopu (np. obserwacja komórek lub organelli komórkowych).

Techniki mikroskopowe

W badaniach biologicznych korzysta się m.in. z mikroskopów optycznych (światlnych) i mikroskopów elektronowych. Oba rodzaje mikroskopów różnią się np. powiększeniem obrazu.

Mikroskopy optyczne

W mikroskopach optycznych do uzyskania obrazu wykorzystuje się światło. Najlepsze mikroskopy optyczne pozwalają na mniej więcej **1000-krotne** powiększenie obrazu. Dzięki temu możliwe jest przyjrzenie się bardzo małym obiektom, takim jak pojedyncze komórki lub niektóre organelle.



Mikroskop fluorescencyjny jest odmianą mikroskopu optycznego. Umożliwia obserwację struktur komórkowych, które wybarwia się substancjami fluorescencyjnymi (emitującymi światło pod wpływem wzbudzenia).

Mikroskopy optyczne umożliwiają obserwowanie komórek – zarówno **żywych, jak i martwych**. Żywe komórki oglądane przez mikroskop zachowują naturalne kolory, jednak szczegóły ich budowy nie są dobrze widoczne. Z tego względu do obserwacji poszczególnych struktur komórkowych wykorzystuje się martwe komórki, które są specjalnie barwione i utrwalone chemicznie.

Samouczek

Obliczanie powiększenia obrazu widzianego przez mikroskop optyczny

Aby określić, ile razy został powiększony obraz widziany pod mikroskopem optycznym, należy pomnożyć powiększenie okularu przez powiększenie obiektywu.

Przykład:

Powiększenie okularu: 10 ×
Powiększenie obiektywu: 40 ×
Powiększenie obrazu: 10 × 40 = 400 ×

powiększenie obrazu obserwowanego obiektu = powiększenie okularu × powiększenie obiektywu

Budowa i zasada działania mikroskopu optycznego

Mikroskopy optyczne (światłne) są wykorzystywane do obserwowania m.in. budowy tkanek i komórek.

Budowa mikroskopu optycznego

Mikroskop optyczny jest wyposażony w elementy układu optycznego i układu mechanicznego. Układ optyczny służy do oświetlenia preparatu i wytworzenia jego obrazu. Z kolei układ mechaniczny umożliwia m.in. przesuwanie preparatu.

Elementy układu mechanicznego

Tubus – utrzymuje soczewki mikroskopu we właściwym położeniu.

Rewolwer – umożliwia zmianę obiektywu, a tym samym zmianę wielkości powiększenia obrazu preparatu.

Stolik – miejsce, na którym umieszcza się preparat.

Śruba makrometryczna i śruba mikrometryczna – służą do ustawiania ostrości obrazu.



Elementy układu optycznego

Okular – umożliwia obserwację preparatu; zawiera soczewki, które powiększają obraz wytworzony przez obiektyw.

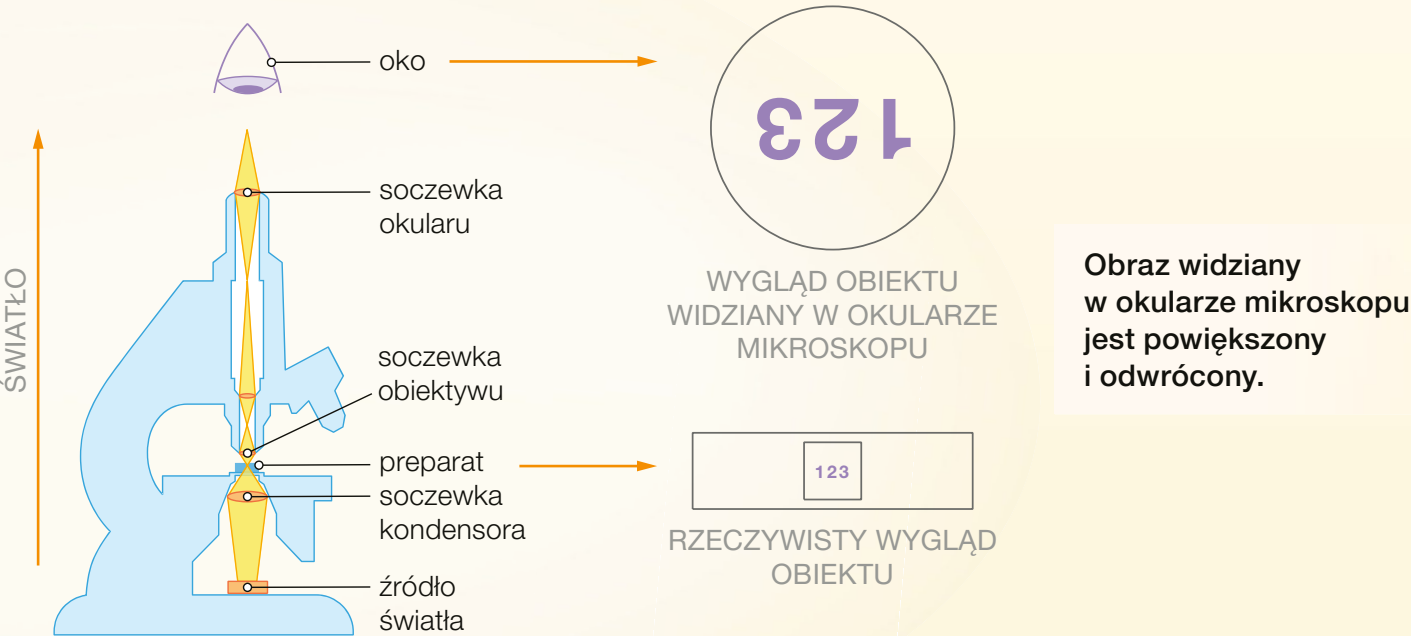
Obiektyw – zawiera soczewki, które powiększają obraz preparatu.

Kondensor – skupia wiązkę światła.

Źródło światła – oświetla preparat.

Zasada działania mikroskopu optycznego

Obraz w mikroskopie optycznym powstaje dzięki skierowaniu – za pomocą soczewek kondensora – wiązki światła na preparat. Gdy światło przejdzie przez preparat, obraz zostanie najpierw powiększony przez soczewki obiektywu i okularu, a następnie zogniskowany w oku obserwatora.



Mikroskopy elektronowe

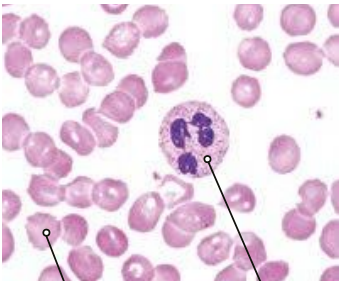
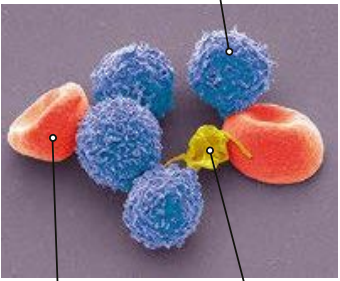
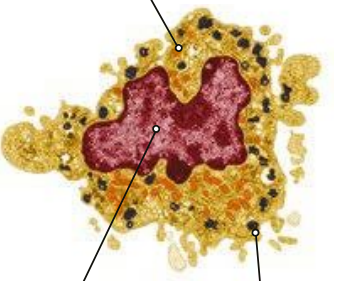
W mikroskopach elektronowych obraz uzyskuje się przez nakierowanie wiązki elektronów na preparat.

Mikroskopia elektronowa umożliwia oglądanie bardzo małych obiektów, np. wirusów, nici DNA, rybosomów czy wnętrza organelli komórkowych. Jednak sposób przygotowywania preparatów sprawia, że oglądane obiekty są **zawsze martwe**.

Mikroskopy elektronowe dzieli się na mikroskopy transmisyjne i mikroskopy skaningowe.

► **Transmisyjny mikroskop elektronowy** (ang. *Transmission Electron Microscope*, TEM) umożliwia powiększenie obrazu do **1 000 000 razy**. W tym mikroskopie elektrony przenikają przez bardzo cienki preparat, a uzyskany obraz jest dwuwymiarowy.

► **Skaningowy mikroskop elektronowy** (ang. *Scanning Electron Microscope*, SEM) umożliwia powiększenie obrazu do mniej więcej **100 000 razy**. W tym mikroskopie elektrony bombardują powierzchnię preparatu, a uzyskany obraz jest trójwymiarowy.

Cecha	Mikroskop optyczny	Skaningowy mikroskop elektronowy (SEM)	Transmisyjny mikroskop elektronowy (TEM)
Maksymalne powiększenie obrazu	ok. 1000 razy	ok. 100 000 razy	ok. 1 000 000 razy
Uzyskiwanie obrazu	światło widzialne	wiązka elektronów	wiązka elektronów
Obraz	dwuwymiarowy	trójwymiarowy	dwuwymiarowy
Możliwość obserwacji żywych komórek	tak	nie	nie
Przykład zastosowania	obserwacje kształtów komórek i ich organelli  erytrocyt leukocyt Obraz krwinek spod mikroskopu optycznego (preparat barwiony).	uzyskanie trójwymiarowego obrazu powierzchni komórek i struktur  leukocyt erytrocyt płytka krwi Pokolorowany komputerowo obraz krwinek spod SEM.	szczegółowe obserwacje wnętrza komórki  mitochondrium jądro komórkowe lizosom Pokolorowany komputerowo obraz leukocyta spod TEM.

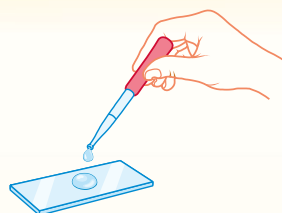
Wykonanie świeżego preparatu mikroskopowego z bulwy ziemniaka i obserwacja ziaren skrobi

Przed wykonaniem obserwacji mikroskopowej konieczne jest przygotowanie preparatu mikroskopowego.

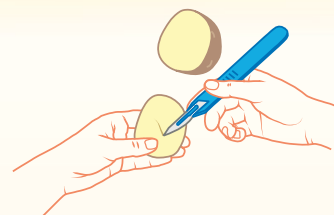
■ Sposób przygotowania preparatu mikroskopowego



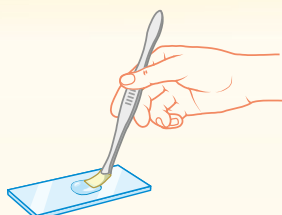
- 1 Nasącz bibułę roztworem alkoholu etylowego i wyczyść nią szkiełko podstawowe. W ten sposób usuniesz tłuszcz z powierzchni szkiełka.



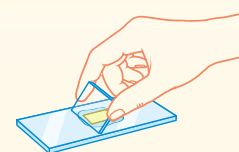
- 2 Na czyste i suche szkiełko podstawowe nanieś zakraplaczem kroplę wody.



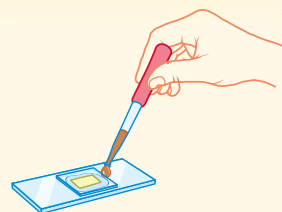
- 3 Za pomocą skalpela wytnij niewielki, bardzo cienki skrawek wnętrza bulwy ziemniaka.



- 4 Za pomocą pęsety umieść skrawek w kropli wody.



- 5 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.



- 6 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 przeciwnego brzegu szkiełka nakrywkowego w taki sposób, żeby kropla jodyny została wessana pod szkiełko nakrywkowe.

■ Zasady przeprowadzania obserwacji mikroskopowych

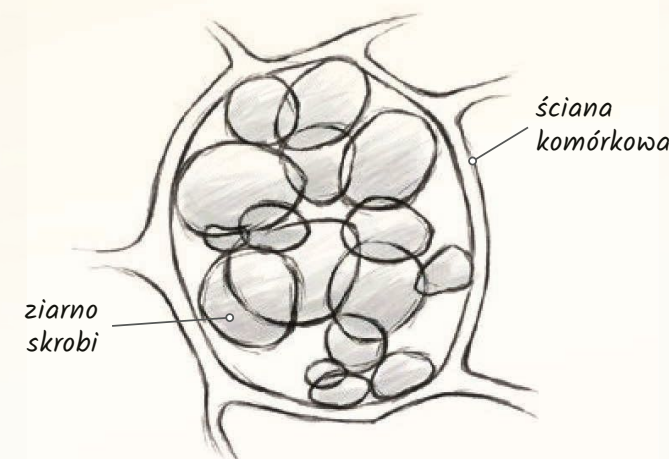
- 1 Wyczyść części optyczne mikroskopu (→ s. 14) za pomocą czystej szmatki, np. flanelowej.
- 2 Ustaw obiektyw o najmniejszym powiększeniu.
- 3 Włącz źródło światła lub – jeśli mikroskop jest wyposażony w lusterko – ustaw lusterko w taki sposób, aby otwór w stoliku był dobrze oświetlony.
- 4 Umieść preparat na stoliku.
- 5 Za pomocą śruby makrometrycznej zbliż obiektyw do preparatu. Ważne, żeby obiektyw nie dotykał preparatu.
- 6 Patrz przez okular. Za pomocą śruby makrometrycznej oddal obiektyw od preparatu – aż do uzyskania zarysów obiektów. Następnie śrubą mikrometryczną ustaw ostrość obrazu.
- 7 Aby obejrzeć preparat pod większym powiększeniem, zmień obiektyw, a następnie ustaw ostrość obrazu. Wykorzystaj do tego śrubę mikrometryczną.
- 8 Udokumentuj obserwację – wykonaj rysunek lub zrób zdjęcie.
- 9 Po zakończeniu obserwacji podnieś obiektyw za pomocą śruby makrometrycznej, po czym ustaw ponownie obiektyw o najmniejszym powiększeniu. Wyłącz źródło światła i usuń preparat ze stolika.



■ Dokumentacja obserwacji mikroskopowej

Jak wykonać rysunek obrazu spod mikroskopu?

Rysunek wykonaj ołówkiem. Nie musisz rysować wszystkiego, co widzisz – wybierz jedną lub kilka struktur. Opatrz rysunek tytułem informującym o tym, co stanowiło obiekt Twojej obserwacji. Podaj też zastosowane powiększenie.



komórka ziemniaka – powiększenie 400 x

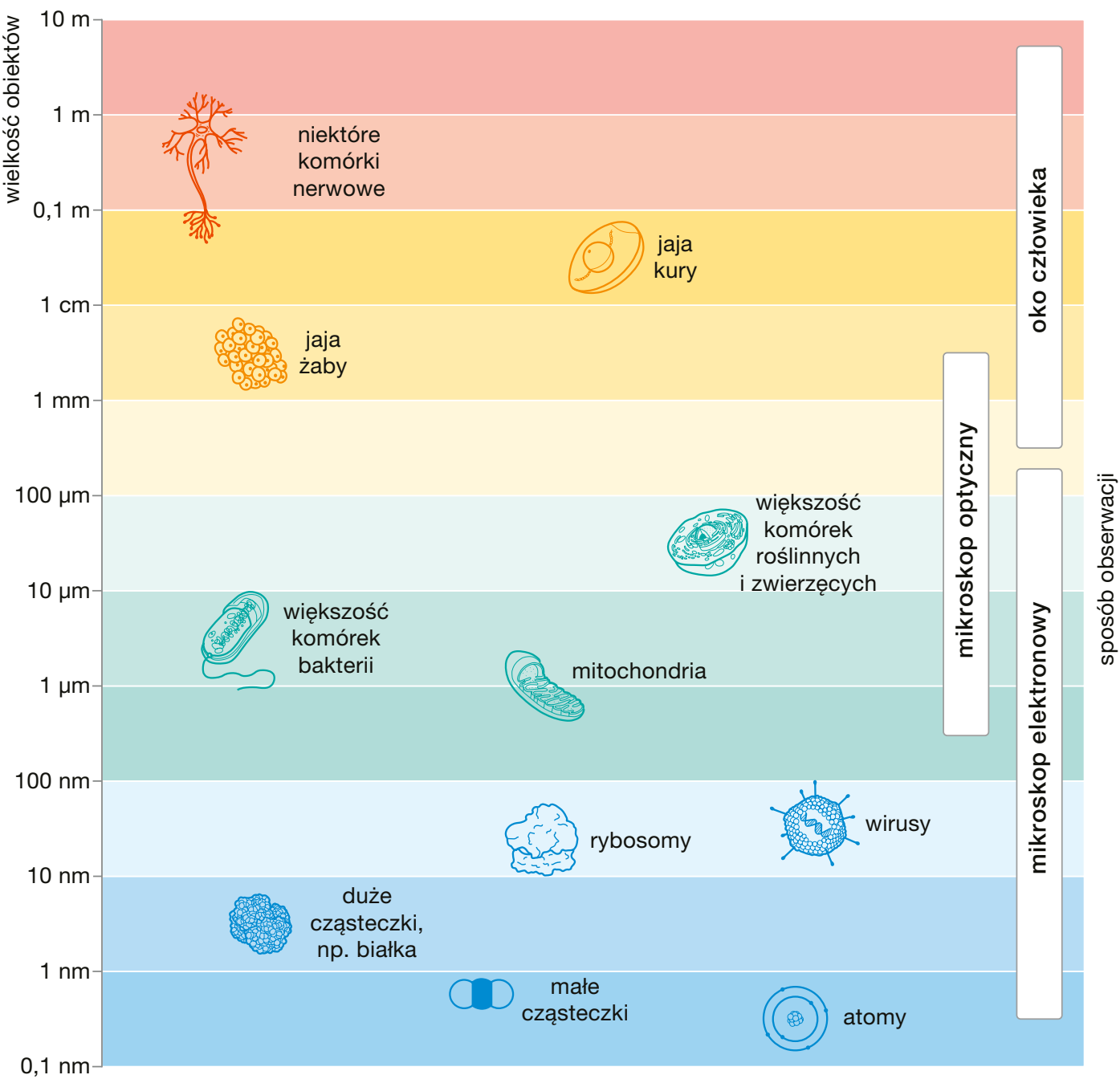
Jak zrobić zdjęcie obrazu spod mikroskopu?

Niektóre mikroskopy są wyposażone w specjalny aparat fotograficzny. Pamiętaj jednak, że możesz wykorzystać dowolny aparat, np. w smartfonie. Przybliż obiektyw aparatu do okularu, a następnie zrób zdjęcie.



Obserwacje obiektów badawczych o różnych rozmiarach

Obserwacje biologiczne można przeprowadzać za pomocą różnych przyrządów optycznych – w zależności od rozmiarów analizowanego obiektu badawczego.



Polecenia kontrolne

- 1. Wymień dwie cechy obrazu powstającego w mikroskopie optycznym.
- 2. Określ, którego narzędzia do obserwacji użyjesz – lupy, lornetki czy mikroskopu optycznego – aby:
 - a. policzyć mszyce na liściach pokrzywy,
 - b. określić liczbę krwinek czerwonych w próbce krwi,
 - c. zaobserwować sposób żerowania dzięcioła dużego.
- 3. Oblicz, ile razy zostanie powiększony obiekt obserwowany przez mikroskop, jeśli powiększenie okularu wynosi 10, a powiększenie obiektywu – 15.

1.3. Proste analizy statystyczne w biologii

Ważne w tym temacie!

- tworzenie tabel i konstruowanie wykresów
- zastosowanie prostych analiz statystycznych (minimum, maksimum, zakres zmienności, średnia arytmetyczna, średnia ważona, mediana, dominanta) do opisu i interpretacji wyników badań

Analiza statystyczna to zbieranie, przetwarzanie i prezentowanie danych, np. wyników badań biologicznych. Tym samym analiza umożliwia interpretację otrzymanych wyników i wyciąganie

wniosków, które pozwalają na potwierdzenie lub odrzucenie postawionej hipotezy badawczej. Wyniki badań są zwykle prezentowane w formie **tabeli** lub **wykresu** (diagramu).

Konstruowanie tabeli

Tabela pozwala na zestawienie, uporządkowanie i porównanie dużej liczby danych, zarówno jakościowych, jak i ilościowych.

Tabelę poprzedza **tytuł** określający jej zawartość.

Dane liczbowe powinny być opatrzone **symbolem jednostki**, który zwykle podaje się w nagłówku, w nawiasie kwadratowym.

Liczba osobników, średni czas pobytu oraz preferowany pokarm różnych gatunków ptaków odwiedzających karmnik

Lp.	Gatunek	Liczba osobników danego gatunku	Średni czas pobytu w karmniku [s]	Preferowany pokarm
1.	Bogatka (<i>Parus major</i>)	15	3,1	nasiona słonecznika
2.	Modraszka (<i>Cyanistes caeruleus</i>)	8	2,8	nasiona słonecznika
3.	Wróbel (<i>Passer domesticus</i>)	1	60,0	nasiona prosa

Nagłówek to pierwszy wiersz tabeli. Komórki nagłówka zawierają informacje o tym, jakie dane znajdują się w poszczególnych kolumnach.

Jeśli nagłówkiem jest pierwszy wiersz tabeli, to w pierwszej kolumnie wpisuje się zwykle **liczbę porządkową wierszy** (tak jak w podanym przykładzie) lub **numer próby**.

Dane jakościowe powinny być zapisane słownie.

Dane liczbowe tego samego typu należy podawać z taką samą dokładnością (np. do jednego miejsca po przecinku).

Konstruowanie wykresów

Wykres, zwany także diagramem, to graficzne przedstawienie danych. Znacznie łatwiej zauważyć na nim – w porównaniu z tabelą – zachodzące zmiany, tendencje, zależności lub przebieg zjawisk. W badaniach biologicznych wykorzystuje się najczęściej wykresy: punktowy, liniowy, kolumnowy, kołowy i jednospłukowy.

Wykres punktowy, wykres liniowy i wykres kolumnowy (słupkowy)

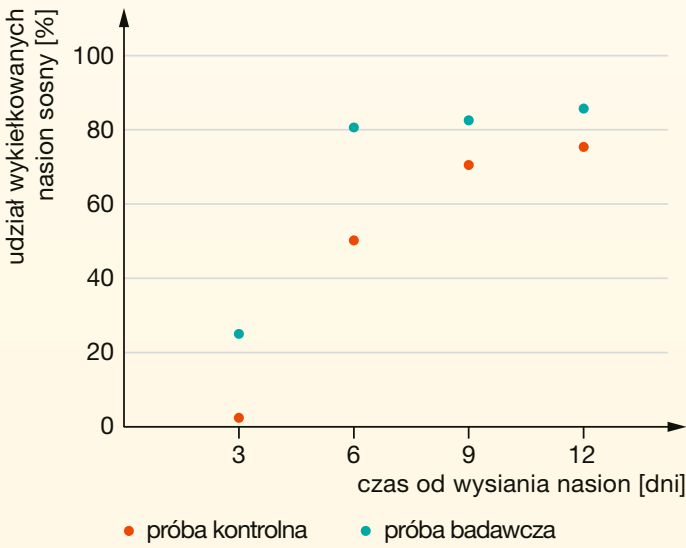
Przeprowadzono doświadczenie, w którym badano wpływ namaczania nasion sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*) na tempo ich kiełkowania. Przygotowano dwie próby: kontrolną, w której wysiano suche nasiona, oraz badawczą, w której nasiona namoczono przed wysiewem. Doświadczenie trwało 12 dni. Co 3 dni sprawdzano, jaki odsetek nasion wykiełkował. Wyniki doświadczenia przedstawiono w tabeli.

Wpływ namaczania nasion sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*) na tempo ich kiełkowania

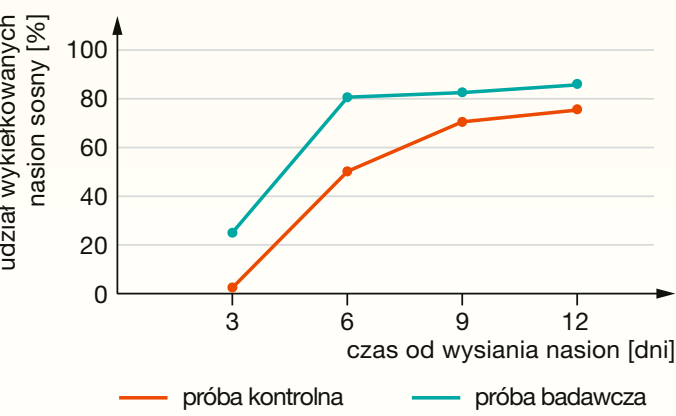
Liczba dni od wysiania nasion	Udział nasion sosny zwyczajnej (<i>Pinus sylvestris</i>), które wykiełkowały [%]	
	próba kontrolna	próba badawcza
3	2	25
6	50	80
9	70	82
12	75	85

- Podczas konstruowania wykresu punktowego, wykresu liniowego i wykresu kolumnowego (słupkowego) należy pamiętać o:
- podpisaniu osi wykresu; podane jednostki powinny być umieszczone w nawiasie kwadratowym,
 - nadaniu wykresowi tytułu,
 - dodaniu do wykresu legendy.

Wpływ namaczania nasion sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*) na tempo ich kiełkowania



Wpływ namaczania nasion sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*) na tempo ich kiełkowania



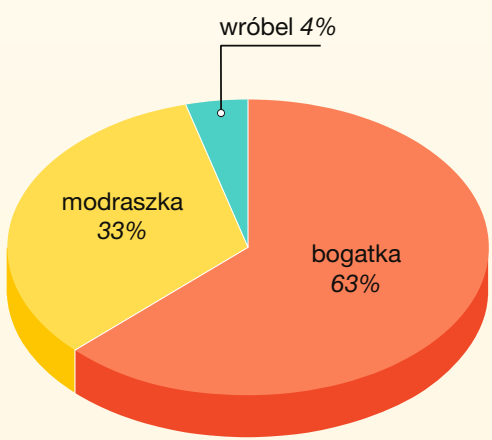
Wykres liniowy przedstawia tendencję, z jaką wartość zmiennej zależnej zmienia się pod wpływem zmiennej niezależnej. Za jego pomocą można oszacować wartości występujące między kolejnymi pomiarami.

Wykres kołowy i wykres jednospłukowy

Przeprowadzono obserwację ptaków przylatujących do karmnika od początku listopada do końca lutego. W badaniu notowano liczbę osobników poszczególnych gatunków, które odwiedziły karmnik, a następnie obliczono udział procentowy konkretnych gatunków ptaków. Wyniki doświadczenia przedstawiono w tabeli.

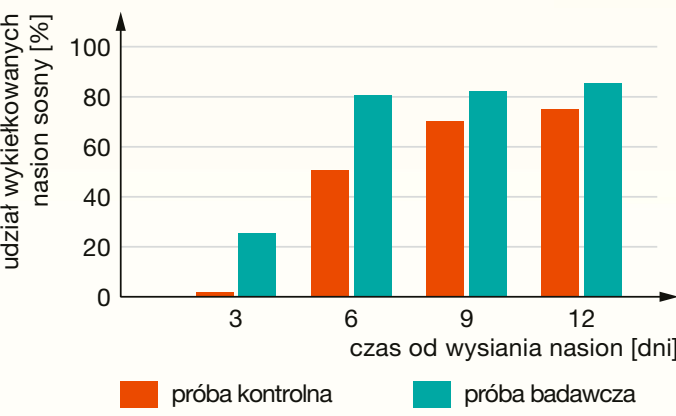
- Podczas konstruowania wykresu kołowego i wykresu jednospłukowego należy pamiętać, że:
- na **wykresie kołowym** wszystkie części (wartość procentowa i nazwy zmiennych) powinny być podpisane lub opatrzone odpowiednią legendą;
 - na **wykresie jednospłukowym** oś Y powinna być podpisana i kończyć się na wartości 100%. Na słupku warto zapisać poszczególne wartości procentowe, a do wykresu należy dodać legendę.

Udział procentowy gatunków ptaków, które odwiedziły karmnik od 1 XI do 28 II



Wykres kołowy i wykres jednospłukowy służą do przedstawienia udziału poszczególnych elementów w zbiorze.

Wpływ namaczania nasion sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*) na tempo ich kiełkowania

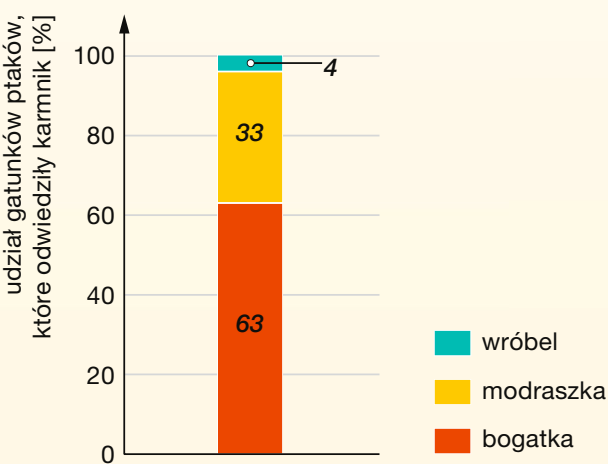


Wykres kolumnowy przedstawia w formie graficznej wartości uzyskane w poszczególnych próbach, co ułatwia ich porównanie.

Udział gatunków ptaków, które odwiedziły karmnik (od 1 XI do 28 II)

Gatunki ptaków odwiedzających karmnik	Liczba osobników	Udział [%]
Bogatka	189	63
Modraszka	99	33
Wróbel	12	4

Udział procentowy gatunków ptaków, które odwiedziły karmnik od 1 XI do 28 II



Proste analizy statystyczne w badaniach biologicznych

Aby wyniki badań biologicznych były jak najbardziej wiarygodne, należy wykonać serię powtórzeń dla każdej próby. Im więcej powtórzeń, tym wiarygodniejszy wynik badań. Wartości uzyskane w kolejnych powtórzeniach nie zawsze są identyczne, dlatego trzeba je odpowiednio przeanalizować – dopiero na tej podstawie można wyciągnąć poprawne wnioski.

W tym celu badacze wprowadzają otrzymane wyniki do specjalnych programów statystycznych, a następnie analizują pozyskane dane. Dopiero tak przeprowadzona analiza pozwala na potwierdzenie lub odrzucenie hipotezy badawczej. Do podstawowych parametrów statystycznych wykorzystywanych w badaniach biologicznych należą: minimum, maksimum, zakres zmienności, dominanta, średnia arytmetyczna, średnia ważona oraz mediana.

Podstawowe parametry statystyczne wykorzystywane w badaniach biologicznych

DEFINICJA

Minimum to najniższa wartość w próbie.

Maksimum to najwyższa wartość w próbie.

Zakres zmienności obejmuje wartości między minimum a maksimum.

PRZYKŁAD

zakres zmienności (zakres wartości od minimum do maksimum) = od 4 do 10

minimum = 4
najniższa wartość w próbie

maksimum = 10
najwyższa wartość w próbie

4, 5, 6, 6, 8, 8, 8, 10

DEFINICJA

Dominanta to wartość, która występuje w próbie najczęściej (jeśli dwie wartości występują równie często, to obie są dominantami).

Dominantę stosuje się podczas analizy zarówno danych ilościowych (liczb), jak i danych jakościowych (np. koloru oczu, kształtu nasion).

4, 5, 6, 6, 8, 8, 8, 10

dominanta = 8
wartość 8 występuje w próbie najczęściej – aż 3 razy

DEFINICJA

Średnia arytmetyczna to suma wartości podzielona przez ich liczbę.

suma wartości wszystkich pomiarów

wartości pomiarów

liczba pomiarów

średnia arytmetyczna = $\frac{4 + 5 + 6 + 6 + 8 + 8 + 8 + 10}{8} = \frac{55}{8} = 6,875$

DEFINICJA

Średnia ważona to średnia, która uwzględnia różną wagę (ważność) poszczególnych wyników.

PRZYKŁAD

Średnią ważoną najłatwiej zrozumieć na przykładzie obliczania oceny końcowej z różnych przedmiotów, np. z biologii.

	Aktywność na lekcji	Odpowiedź ustna	Kartkówka	Praca klasowa
OCENY	4, 5	3	3	4
WAGI OCEN	1	2	2	3

Ustala się je indywidualnie w każdej szkole.

Każdą ocenę mnożymy przez jej wagę, a otrzymane wyniki sumujemy.

średnia ważona = $\frac{(4 \cdot 1) + (5 \cdot 1) + (3 \cdot 2) + (3 \cdot 2) + (4 \cdot 3)}{1 + 1 + 2 + 2 + 3} = \frac{33}{9} = 3,67$

Dodajemy wagi poszczególnych ocen.

DEFINICJA

Mediana to środkowa wartość w uporządkowanym szeregu danych.

Obliczanie mediany jest szczególnie przydatne w tych próbach, w których występują wartości skrajnie niskie i skrajnie wysokie. Jest tak, ponieważ wartości te – w odróżnieniu od średniej arytmetycznej – nie wpływają na medianę.

Nieparzysta liczba pomiarów

Jeśli liczba pomiarów jest nieparzysta, to medianą jest liczba środkowa.

wartość środkowa

4, 5, 6, 6, 8, 8, 10

nieparzysta liczba pomiarów

mediana = 6

Parzysta liczba pomiarów

Jeśli liczba pomiarów jest parzysta, to medianą jest średnia arytmetyczna dwóch środkowych pomiarów.

wartości środkowe

4, 5, 6, 6, 8, 8, 10

parzysta liczba pomiarów

mediana = $\frac{6 + 8}{2} = 7$

Polecenia kontrolne

- Skonstruuj wykres kolumnowy (słupkowy), za pomocą którego przedstawiś dane dotyczące liczby osobników różnych gatunków ptaków odwiedzających karmnik. Odpowiednie dane znajdziesz w tabeli na s. 19.
- Podaj różnicę między średnią arytmetyczną a medianą.

1.4. Analiza materiałów źródłowych w badaniach biologicznych

Ważne w tym temacie!

- odróżnianie faktów od opinii
- krytyczne podejście do informacji pozyskanych z różnych źródeł, w tym ze źródeł internetowych
- odróżnianie wiedzy potocznej od wiedzy zdobytej za pomocą metod naukowych

Rozwój mediów i internetu sprawił, że każdego dnia ludzie mają dostęp do ogromnej liczby informacji. Niektóre informacje są prawdziwe, inne zaś mogą być fałszywe, np. wskutek niewiedzy osoby, która je przedstawia, lub chęci przekonania do określonych poglądów czy idei.

Ponadto media często stosują różne techniki manipulacji, których celem jest wpłynięcie na odbiorcę i wprowadzenie go w błąd. Jak więc odróżnić wiarygodne informacje od nieprawdy?

Fakty a opinie

Do oceny wiarygodności informacji niezbędna jest umiejętność odróżniania faktów od opinii.

Fakt to coś, co zaszło lub zachodzi w rzeczywistości. Fakty zawsze są prawdziwe, dlatego można je sprawdzić i potwierdzić. Z kolei **opinia** to ocena obiektu, zjawiska lub sytuacji.

Opinie są zawsze subiektywne i stanowią wyraz poglądów mówiącego. Oznacza to, że mogą różnić się w zależności od tego, jakie przekonania ma osoba, które je wygłasza.

Fakt czy opinia?

Fakty i opinie różnią się czterema głównymi cechami.

Fakt

- coś, co wydarzyło się w rzeczywistości
- jest obiektywny i uniwersalny
- można go udowodnić
- nie zawiera oceny i słownictwa wartościującego (np. najlepszy, najgorszy)

Pędy skrzypu polnego zawierają krzemionkę, a krzem jest jednym z pierwiastków obecnych we włosach.



Opinia

- pogląd lub przekonanie na dany temat
- jest subiektywna
- trudno ją udowodnić
- zawiera ocenę i słownictwo wartościujące (np. najlepszy, najgorszy)

Stosowanie preparatów na bazie skrzypu polnego to najlepszy sposób na piękne włosy.



Techniki manipulacji informacjami

Aby ustrzec się przed fałszywymi informacjami, należy zwracać uwagę na to, w jaki sposób są one przedstawiane. Niektórzy ludzie

stosują techniki, których celem jest wywołanie u odbiorcy określonych uczuć. Do technik manipulacji informacjami należą m.in. fake newsy, bańki informacyjne oraz clickbaity.

Techniki manipulacji informacjami oraz sposoby ochrony przed nimi

CO MOŻE WPROWADZAĆ NAS W BŁĄD?



Fake news
[wym. fejk nius]

Fałszywa informacja rozpowszechniana dla żartu lub w celu wywołania określonej reakcji. Sprawia wrażenie prawdziwej informacji, dlatego trudno ją od niej odróżnić.



Chityna zawarta w jadalnych owadach to trucizna!

Przykładem fake newsa jest informacja o toksyczności jadalnych owadów z powodu zawartej w nich chityny. Tymczasem chityna występuje również we wszystkich jadalnych grzybach.



Jak się bronić?

- Sprawdzaj autorów artykułów oraz dane, na które się powołują.
- Weryfikuj źródło, w którym pojawia się dana informacja.



Bańka informacyjna

Zjawisko związane z działaniem internetowych algorytmów. Polega na dopasowywaniu treści do konkretnej osoby na podstawie wcześniejszej aktywności w sieci. W efekcie do użytkownika docierają tylko takie informacje, które są zgodne z jego poglądami.



To cudowny lek na wszystkie choroby!

Przykładem zamknięcia w bańce informacyjnej może być podejście do homeopatii. Niektórzy ludzie są przekonani, że istnieją liczne dowody na jej działanie, ponieważ tylko takie artykuły podsuwają im internetowe algorytmy.



Jak się bronić?

- Szukaj informacji w wielu różnych źródłach.



Clickbait
[wym. klikbajt]

Kontrowersyjny lub sensacyjny tytuł, który zachęca do kliknięcia. Po przejściu do artykułu często okazuje się, że doniesienie zawarte w nagłówku jest nieprawdziwe lub artykuł jest sponsorowany.



Leczenie raka nigdy nie było tak proste! Wystarczy zastosować te trzy domowe sposoby.

Przykładowy artykuł typu **clickbait** zawiera sensacyjny tytuł, obietnicę szybkiego rozwiązania problemu oraz grafikę w krzykliwej kolorystyce. Clickbaitami często są reklamy.



Jak się bronić?

- Unikaj czytania artykułów o sensacyjnych tytułach.
- Weryfikuj informacje pozyskane z niepewnych źródeł – w tym celu sięgaj po publikacje naukowe.

Błędy poznawcze, czyli jak umysł wprowadza nas w błąd

Każdego dnia ludzie nieświadomie popełniają błędy poznawcze. Są to uproszczenia i uogólnienia, których dokonuje umysł, aby zrozumieć i uporządkować otaczającą rzeczywistość. Błędy poznawcze mogą prowadzić do wyciągania fałszywych wniosków i dokonywania na tej podstawie niewłaściwych wyborów.

■ Wykazywanie błędnych związków przyczynowo-skutkowych

Wiele zjawisk występuje w podobnym czasie lub w zbliżonych warunkach – z tego powodu łączy się je w związki przyczynowo-skutkowe, które często nie są prawdziwe.

Bocian biały przylatuje do Polski pod koniec marca, kiedy zaczyna się wiosna. Jednak stwierdzenie, że bociany sprowadzają do Polski wiosnę, jest przykładem błędu poznawczego.



■ Straszne nie znaczy prawdopodobne

Zdarzenia, które budzą silne emocje, wydają się bardziej prawdopodobne, niż są w rzeczywistości.

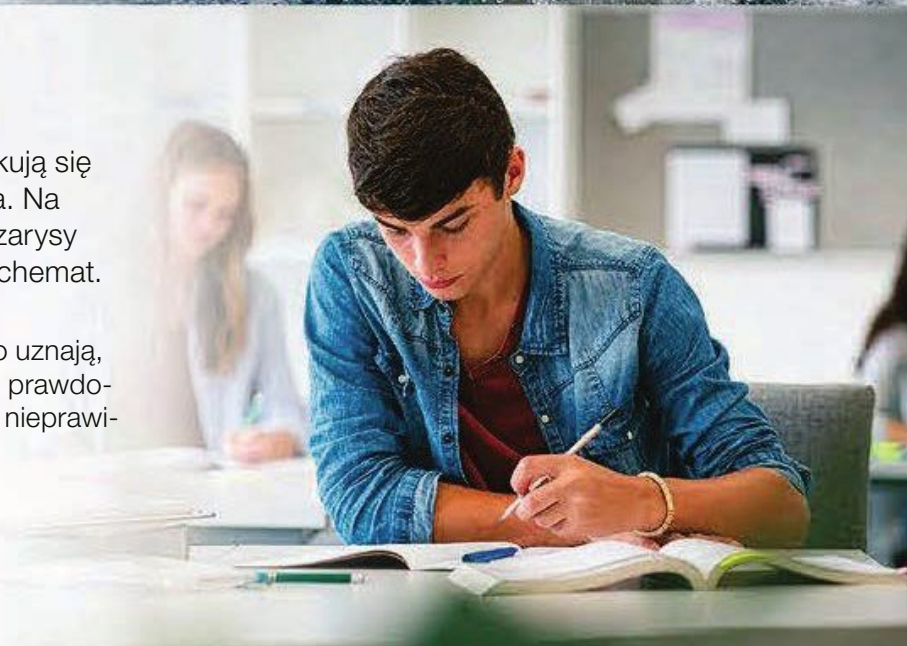
Wiele osób boi się śmierci w wyniku ataku rekina, mimo że zwierzęta te są przyczyną ok. 10 zgonów rocznie. Z kolei niewiele osób obawia się ukłucia komara, chociaż w wielu rejonach świata owady te przenoszą śmiertelne choroby, m.in. malarię. Wskutek chorób przenoszonych przez komary umiera ok. miliona osób rocznie.



■ Fałszywe schematy

W losowych zbiorach danych ludzie często doszukują się wzorców lub zależności, nawet jeśli ich tam nie ma. Na przykład w przypadkowych plamach dostrzegają zarysy twarzy, a w ciągach liczb – jakiś porządkujący je schemat.

Podczas rozwiązywania testu uczniowie często uznają, że trzy takie same odpowiedzi z rzędu są mało prawdopodobne. Niektórzy z nich wybierają wówczas nieprawidłową odpowiedź tylko po to, by to zmienić.



■ Szukanie potwierdzenia

To jeden z powszechnych błędów poznawczych. Polega na wybieraniu spośród różnych informacji tylko tych, które są zgodne z naszymi oczekiwaniami lub poglądami, i pomijaniu pozostałych.

Wiele osób uważa, że regularne picie kawy wpływa na niski poziom magnezu w organizmie. Jednak liczne badania naukowe wskazują, że to nieprawda. Co więcej – kawa może stanowić dla człowieka jedno z najważniejszych źródeł tego pierwiastka.



■ Efekt obserwatora

Polega na zauważaniu wyłącznie tego, co chce się zobaczyć. Błąd ten często popełniają naukowcy, którzy w trakcie prowadzonych badań skupiają się – zwykle nieświadomie – jedynie na tych wynikach, które potwierdzają ich oczekiwania. Takie podejście może prowadzić do wyciągania błędnych wniosków.

Aby uniknąć efektu obserwatora, podczas badań nad skutecznością leków stosuje się tzw. podwójnie ślepą próbę. Polega ona na tym, że ani badacze, ani pacjenci nie wiedzą, czy badana osoba przyjmuje placebo (substancję o działaniu obojętnym) czy testowany lek.



■ Efekt skupienia

Ten błąd poznawczy prowadzi do wyolbrzymiania znaczenia jednego aspektu danej sprawy i bagatelizowania pozostałych informacji.

Osoby działające na rzecz ochrony owadów zapylających często skupiają się wyłącznie na ochronie pszczoły miodnej, m.in. budują w miastach specjalne ule. Choć ochrona pszczół jest słusznym działaniem, to jednocześnie pomija się inne gatunki zapylaczy, np. trzmiele i murarki.



pszczoła miodna



murarka



Jak ocenić, czy materiał źródłowy jest wiarygodny?

Aby uchronić się przed manipulacją lub popełnieniem błędu poznawczego, warto sięgać po wiarygodne źródła wiedzy. W dotarciu do nich mogą pomóc poniższe wskazówki.

Uwaga: Nie musisz analizować całego tekstu – wystarczy, że zwrócisz uwagę na wskazane elementy.

- 1 Szukaj publikacji w czasopismach naukowych**

Najrzetelniejsze artykuły są publikowane w czasopismach naukowych. Można je znaleźć za pomocą wyszukiwarek internetowych (np. Google Scholar, Pubmed) czy portalu ResearchGate. Należy zachować ostrożność w stosunku do informacji publikowanych w mediach społecznościowych lub na niesprawdzonych stronach. W ten sposób unika się nie tylko czerpania informacji z artykułów wykorzystujących clickbaity, lecz także zamknięcia w bańce informacyjnej.
- 2 Sprawdź datę publikacji**

W wielu dziedzinach, zwłaszcza takich, które prężnie się rozwijają, informacje opublikowane kilkadziesiąt czy nawet kilka lat wcześniej mogą być nieaktualne, dlatego lepiej korzystać z możliwie najnowszych źródeł.
- 3 Sprawdź, czy źródło zawiera bibliografię**

Rzetelne źródła zawierają listę publikacji (bibliografię), na podstawie której opracowano dany temat. W ten sposób można odnaleźć cytowane artykuły i zweryfikować poprawność przywołanych danych. Należy zachować ostrożność w stosunku do artykułów, które powołują się na bliżej nieokreślonych badaczy (np. „amerykańskich naukowców”). Podane w nich informacje mogą być nieprawdziwe.
- 4 Sprawdź autora tekstu**

Wiarygodny tekst powinien być podpisany imieniem i nazwiskiem autora lub autorów. W tekstach naukowych podaje się także jednostkę naukową, w której zrealizowano badania. Dzięki temu można sprawdzić, czy autor jest specjalistą z danej dziedziny oraz czy w ogóle istnieje. Niepodpisane teksty mogą być fake newsami.

Przegląd Przyrodniczy XXXII,
3 (2021)

Robert W. Mysłajek, Sabina Nowak

RYŚ EURAZJATYCKI LYNX LYNX W PUSZCZY ROMINCKIEJ
Eurasian lynx Lynx lynx in Romincka Forest

Pomimo, że ryś eurazjatycki *Lynx lynx* objęty jest w Polsce ścisłą ochroną gatunkową oraz należy do gatunków będących przedmiotem zainteresowania Wspólnoty Europejskiej, to po zakończeniu koordynowanego przez Instytut Biologii Ssaków PAN oraz Stowarzyszenie dla Natury „Wilk” projektu „Inwentaryzacja wilka i rysia w nadleśnictwach i parkach narodowych” (Jędrzejewski et al. 2002) nie był prowadzony monitoring populacji tego drapieżnika w całym zasięgu jego występowania. Zgodnie z polskim prawem (art. 2. § 1, p. 2, ustawy z dnia 20 lipca 1991 r. o Inspekcji Ochrony Środowiska, oraz art. 112 ustawy z dnia 16 kwietnia 2004 r. o ochronie przyrody) monitoring ten powinien być prowadzony przez Główny Inspektorat Ochrony Środowiska (GIOS), jednak do 2016 r. był on realizowany w zaledwie kilku obszarach Natura 2000. Natomiast w latach 2016-2020 został przeprowadzony na zlecenie GIOS „Pilotażowy monitoring wilka i rysia w Polsce realizowany w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska” w dziesięciu obszarach referencyjnych (GIOS 2021). Na podstawie danych z tych obszarów oraz ankiet dotyczących aktualnego zasięgu rysia estymowano liczebność jego populacji na poziomie krajowym (Species Report 2019). Informacje na temat rozmieszczenia i liczebności dużych ssaków drapieżnych w większości kompleksów leśnych pochodzą więc najczęściej z lokalnych prac badawczych, podczas gdy dane z inwentaryzacji wielkoobszarowych i ogólnopolskich są rzadkie (Jędrzejewski et al. 2002). Opracowania ogólnopolskie dotyczące rozmieszczenia ssaków dostarczają jedynie ogólnej wiedzy o zasięgu występowania gatunków (Species Report 2019; Okarma i Schmidt 2021). Planowanie zadań ochronnych dla obszarów Natura 2000 poprzedzać więc trzeba intensywnymi pracami terenowymi, mającymi na celu dostarczenie aktualnych danych na temat stanu populacji poszczególnych gatunków będących przedmiotami ochrony (Jędrzejewski et al. 2010). Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie współczesnej wiedzy na temat stanu populacji rysia w specjalnym obszarze ochrony siedlisk Natura 2000 Puszcza Romincka PLH280005 o powierzchni 147,5 km² (rjcz. 1). Obszar ten położony jest wzdłuż granicy państwowej z Federacją Rosyjską, a także na styku z Litwą, co rodzi konieczność transgranicznego rozpatrywania statusu lokalnych populacji drapieżników. Badania terenowe prowadzono od kwietnia 2020 r. do połowy lutego 2021 r., obejmując wszystkie сезоны wegetacyjne. Tropienia i poszukiwanie śladów aktywności rysia prowadzono na piaszczystych i błotnistych drogach leśnych, a zimą na pokrywie śnieżnej. Transekty pokryły całą powierzchnię obszaru Natura 2000. Dla każdego odnalezionego śladu ustalono współrzędne geograficzne przy pomocy odbiornika GPS. W trakcie badań wykorzystywano także fotopułapki ustawione na opcie rejestrowania sekwencji wideo. W badaniach zastosowano fotopułapki firmy Browning, które zainstalowano w 28 lokalizacjach, a rejestrację wideo prowadzono łącznie przez 112 kamero-dni. Dodatkowe informacje nt. obserwacji rysia w Puszczy Rominckiej w latach 2019-2021 zebrano od pracowników Nadleśnictwa Gołdap oraz placówki Straży Granicznej w Dubienkach. Dokumentacja fotograficzna obserwowanych przez pracowników Straży Granicznej rysia potwierdziła, że są oni w stanie prawidłowo identyfikować gatunek. (...)

Literatura

VON ARX M. 2020. Lynx lynx (amended version of 2018 assessment). The IUCN Red List of threatened species 2020: e.T12519A177350310. Dostęp 05.08.2021. [https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-3.RLTS.T12519A177350310.en].

BALČIAUSKAS L., BALČIAUSKIENĖ L., LITVAITIS J.A., TIJUŠAS E. 2020. Citizen scientists showed a four-fold increase of lynx numbers in Lithuania. Sustainability 12.

BIENIEK M., WOLSAN M., OKARMA H. 1998. Historical biogeography of the lynx in Poland. Acta zool. cracov. 41, 1: 143-167. (...)

Adres autorów:

Robert W. Mysłajek, Sabina Nowak
Zakład Ekologii, Instytut Biologii Funkcjonalnej i Ekologii
Wydział Biologii, Uniwersytet Warszawski
Centrum Nauk Biologiczno-Chemicznych
ul. Żwirki i Wigury 101, 02-089 Warszawa
e-mail: r.myslajek@uw.edu.pl

5 Zweryfikuj przedstawiane dowody

Wiarygodne źródło informacji opiera przedstawiane wiadomości na dowodach naukowych, które zostały potwierdzone w wyniku rzetelnie przeprowadzonych badań. Warto unikać źródeł informacji, które bazują na dowodach anegdotycznych, czyli takich, które wynikają wyłącznie z jednostkowych (własnych lub cudzych) doświadczeń. Informacje wykorzystujące dowody anegdotyczne często są obarczone błędami poznawczymi.

Dowód naukowy

Przeprowadzone badanie naukowe wskazuje, że palenie papierosów zwiększa ryzyko zachorowania na raka płuc.

Dowód anegdotyczny

Papierosy nie są szkodliwe, ponieważ dziadek koleżanki palił je przez 40 lat i jest zdrowy.

6 Określ, czy badanie zostało przeprowadzone poprawnie

Wiarygodny tekst naukowy opiera się na badaniach, które zostały przeprowadzone we właściwy sposób (→ s. 6–12). Warto zwrócić szczególną uwagę na próby badawcze i kontrolne, które powinny być odpowiednio liczne i właściwie dobrane. Poprawnie przeprowadzone badania uniemożliwiają wystąpienie efektu obserwatora. Ważne jest także poprawne zaprezentowanie danych. Na przykład oba poniższe wykresy przedstawiają te same dane, jednak na wykresie A skala osi y nie zaczyna się od 0, dlatego różnice między próbami wydają się większe, niż są w rzeczywistości.

A.

próba	liczba osobników
próba 1	560
próba 2	430
próba 3	490

B.

próba	liczba osobników
próba 1	560
próba 2	430
próba 3	490

Polecenia kontrolne

- Wymień trzy cechy wiarygodnego źródła wiedzy.
- Określ, czy poniższe stwierdzenie jest faktem czy opinią.
Związki chemiczne zawarte w smogu powodują choroby układu oddechowego.
- Podaj przykład dowodu naukowego i przykład dowodu anegdotycznego, które dotyczą wpływu picia alkoholu na zdrowie.

Podsumowanie



1 Metody prowadzenia badań naukowych w biologii

Metody badawcze w biologii	
obserwacja	doświadczenie
w jej przebiegu badacz nie wpływa na obserwowane organizm, proces czy zjawisko, lecz przeprowadza bezpośrednią analizę za pomocą zmysłów oraz dokonuje pomiarów	w jej przebiegu badacz celowo i w kontrolowanych warunkach zmienia jeden lub kilka czynników wpływających na przedmiot doświadczenia

2 Rodzaje zmiennych

Podział zmiennych		
zmienna niezależna	zmienna zależna	zmienna kontrolowana
Jej wartość jest zmieniana przez badacza, np. temperatura.	Jej wartość zmienia się pod wpływem zmiennej niezależnej, np. intensywność transpiracji.	Jej wartość jest kontrolowana przez badacza, tak aby nie wpływała na wynik badań, np. częstość podlewania.

3 Elementy badań naukowych

Badany czynnik – czynnik, którego wpływ na przedmiot badań chce się poznać, np. kierunek padania promieni świetlnych. Stanowi zmienną niezależną w badaniu.

Przedmiot badań – zjawisko (lub proces), który chce się poznać i na który ma wpływ badany czynnik, np. kierunek wzrostu pędu. Stanowi zmienną zależną w badaniu.

Obiekt badań – materiał biologiczny lub organizm, na którym przeprowadza się badanie, np. siewki owsa.

4 Etapy badań biologicznych

Etap badania	Wykonywane czynności
Zaobserwowanie zjawiska lub procesu	Zaobserwowanie przez badacza nieznanego organizmu, niewytłumaczonego procesu lub niezrozumiałego zjawiska.
Sformułowanie problemu badawczego	Określenie celu badania – problem badawczy powinien zawierać informacje na temat przedmiotu badań, obiektu badań i badanego czynnika. Przyjmuje on postać zdania pytającego lub równoważnika zdania.
Postawienie hipotezy badawczej	Udzielenie przewidywanej (niekoniecznie właściwej) odpowiedzi na pytanie sformułowane w problemie badawczym. Hipoteza badawcza ma formę zdania oznajmującego (twierdzącego lub przeczącego).
Zweryfikowanie hipotezy	Sprawdzenie prawdziwości hipotezy badawczej za pomocą obserwacji lub doświadczenia. Etap ten obejmuje: - zaplanowanie badań, w tym określenie prób badawczych i prób kontrolnych, - przeprowadzenie i dokumentację badań, a także analizę ich wyników.
Sformułowanie wniosku	Określenie, czy hipoteza badawcza została potwierdzona czy odrzucona.

5 Podział prób w doświadczeniu biologicznym

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. Wyróżnia się: - próbę kontrolną pozytywną (próbę, w której – na podstawie dotychczasowej wiedzy – spodziewamy się zaobserwować badane zjawisko lub badany proces), - próbę kontrolną negatywną (próbę, w której nie spodziewamy się zaobserwować badanego zjawiska lub procesu).

6 Powiększenie mikroskopu – stosunek rozmiaru obrazu obiektu do jego rzeczywistej wielkości.

powiększenie obrazu obserwowanego obiektu = powiększenie okularu × powiększenie obiektywu

7 Porównanie rodzajów mikroskopów

Cecha	Mikroskop optyczny	Skaningowy mikroskop elektronowy (SEM)	Transmisyjny mikroskop elektronowy (TEM)
Maksymalne powiększenie obrazu	ok. 1000 razy	ok. 100 000 razy	ok. 1 000 000 razy
Uzyskiwanie obrazu	światło widzialne	wiązka elektronów	wiązka elektronów
Możliwość obserwacji żywych obiektów	tak	nie	nie
Obraz	dwuwymiarowy	trójwymiarowy	dwuwymiarowy
Przykład zastosowania	obserwacje kształtów komórek i niektórych ich organelli	uzyskanie trójwymiarowego obrazu powierzchni komórek	szczegółowe obserwacje wnętrza komórki

8 Etapy przygotowywania świeżego preparatu mikroskopowego

1. Nanieś kroplę wody na wyczyszczone szkiełko podstawowe.
2. Umieść w kropli wody odpowiednio przygotowany obiekt badawczy.
3. Przykryj czystym szkiełkiem nakrywkowym kroplę wody wraz z obiektem badawczym.

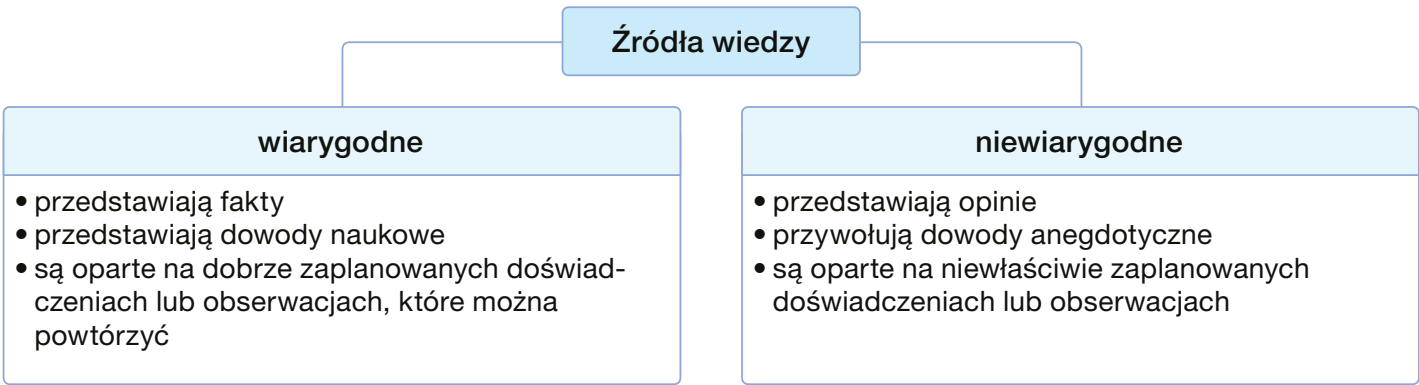
9 Etapy przeprowadzania obserwacji mikroskopowej

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

10 Podstawowe parametry statystyczne wykorzystywane w badaniach biologicznych

Parametr statystyczny	Opis
Minimum	• Najniższa wartość w próbie.
Maksimum	• Najwyższa wartość w próbie.
Zakres zmienności	• Przedział wartości znajdujący się między minimum a maksimum.
Dominanta	• Wartość, która jest najczęstsza w badanej próbie i występuje więcej niż raz.
Mediana	• Wartość środkowa w uporządkowanym szeregu danych. – Jeśli liczba pomiarów jest nieparzysta, to medianę stanowi wartość środkowa. – Jeśli liczba pomiarów jest parzysta, to medianę wyznacza się przez obliczenie średniej arytmetycznej z dwóch środkowych pomiarów.
Średnia arytmetyczna	• Suma wartości wszystkich pomiarów podzielona przez liczbę pomiarów.
Średnia ważona	• Średnia wyników, która uwzględnia różną wagę (ważność) poszczególnych wyników. • Wyniki pomiarów o większej wadze mają większy wpływ na wartość średniej.

11 Porównanie źródeł wiedzy



Sposób na zadania

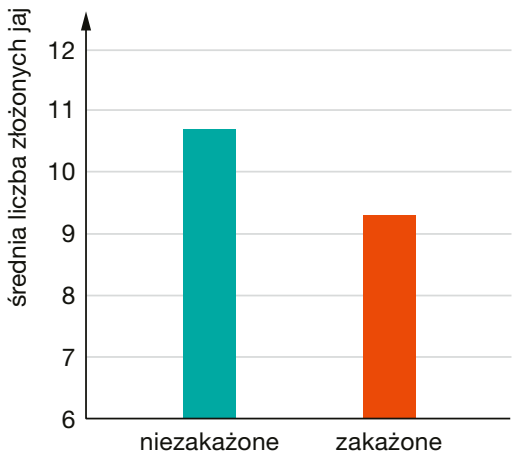
WYKONAJ W ZESZYCIE 

1 W Kalifornii w Stanach Zjednoczonych 1/4 populacji jaszczurki *Sceloporus occidentalis* jest zakażona pasożytem wywołującym jaszczurczą malarię. W latach 1978–1982 zbadano liczbę jaj składanych przez samice jaszczurek zakażonych malarią oraz liczbę jaj składanych przez samice niezakażone tą chorobą. Wyniki badań przedstawiono na poniższym wykresie.

Określ badany czynnik (X).

Odszukaj obiekt badań (Z).

Odszukaj przedmiot badań (Y).



Na podstawie: Ch.J. Krebs, *Ekologia*, Warszawa 2011, s. 244–245.

a) Sformułuj problem badawczy do przedstawionych badań.

Problem badawczy możesz opisać na dwa sposoby:
Czy X wpływa na Y u Z? lub Wpływ X na Y u Z.

Rozwiązanie:

Wpływ zakażenia malarią jaszczurczą na liczbę jaj składanych przez jaszczurki *Sceloporus occidentalis*. / Czy malaria jaszczurcza wpływa na liczbę jaj składanych przez jaszczurki *Sceloporus occidentalis*?

b) Podaj, które samice – zakażone malarią czy niezakażone malarią – stanowiły próbę kontrolną w opisanych badaniach.

Zastanów się, jaka jest różnica między próbą badawczą a próbą kontrolną. Sprawdź, w której próbie nie ma X.

Rozwiązanie:

Próba kontrolna: samice niezakażone malarią.

c) Sformułuj wniosek na podstawie wyników przedstawionych badań.

Wniosek powinien odnosić się zarówno do problemu badawczego, jak i do uzyskanych wyników badań. Pamiętaj, żeby zawrzeć w nim X, Y i Z.

Rozwiązanie:

Jaszczurki *Sceloporus occidentalis* zakażone pasożytem wywołującym jaszczurczą malarię składają mniej jaj niż jaszczurki niezakażone. / Zakażenie pasożytem wywołującym jaszczurczą malarią powoduje zmniejszenie liczby jaj składanych przez jaszczurki *Sceloporus occidentalis*.

Zadanie analogiczne

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Poniższe rysunki przedstawiają wyniki doświadczenia, podczas którego sprawdzano, czy brak dostępu do światła wpływa na rozwój młodych roślin z bulw ziemniaka (*Solanum tuberosum*). Roślina przedstawiona po lewej stronie wyrosła w ciemności, a roślina po prawej stronie – w świetle.



Na podstawie: S. Lewak, J. Kopcewicz, K. Jaworski, *Fizjologia roślin. Wprowadzenie*, Warszawa 2019, s. 126.

- a) Sformułuj problem badawczy do przedstawionych badań.
- b) Podaj, które rośliny – rosące w ciemności czy rosące w świetle – stanowiły próbę kontrolną w opisanych badaniach.
- c) Sformułuj wniosek na podstawie wyników przedstawionych badań.

Zadania powtórzeniowe

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 W latach 1990–2020 badano liczbę par lęgowych dwóch gatunków ptaków żyjących w parku – mazurka (*Passer montanus*) i zięby (*Fringilla coelebs*). Wyniki badań przedstawiono w tabeli.

Gatunek	Liczba par lęgowych w danym roku						
	1990 r.	1995 r.	2000 r.	2005 r.	2010 r.	2015 r.	2020 r.
Mazurek	18	20	15	9	10	7	3
Zięba	10	9	12	11	10	20	24

- a) Określ przedmiot oraz obiekt przedstawionych badań.

- b) Rozstrzygnij, dla którego gatunku ptaka – mazurka czy zięby – zakres zmienności liczby par lęgowych w latach 1990–2020 był większy. Odpowiedź uzasadnij.
- c) Korzystając z danych przedstawionych w tabeli, narysuj wykres słupkowy porównujący zmiany liczby par lęgowych mazurka i zięby w latach 1990–2020.

2 „W Polsce na naturalnych stanowiskach rodzaj *Iris* [kosaciec – przyp. red.] jest reprezentowany przez trzy gatunki. [...] *Iris pseudacorus* występuje pospolicie na terenie całego kraju [...] i nie podlega ochronie. *Iris sibirica* i *Iris aphylla* są o wiele radsze, w związku z czym zostały objęte całkowitą ochroną [...]. Ponadto należą do taksonów [grup systematycznych – przyp. red.] narażonych na wyginięcie [...]. [...] Kosańce są narażone nie tylko na presję roślinożerców, ale także mogą być porażone przez drobnoustroje. [...] Owoce kosańców atakuje [...] grzyb *Alternaria alternata*. [...] Zainfekowane owoce pokrywają się brązowymi plamami, a chore nasiona są mniejsze od zdrowych i zniekształcone. Badania nad wpływem grzyba na populację *Iris sibirica* prowadzono w Opatkowicach koło Krakowa. W obserwowanej populacji zaatakowanych zostało około 90% torebek, a procent uszkodzonych nasion w torebce wahał się od 6–43 [...]”.

W poniższej tabeli przedstawiono liczbę i procent (odsetek) nasion kosańca syberyjskiego *Iris sibirica*, które zostały zaatakowane przez grzyba *Alternaria alternata* na stanowisku w Opatkowicach w 2000 r. Uszkodzenia zbadano w 15 owocach (torebkach) kosańca.

Stanowisko	Numer torebki	Liczba uszkodzonych nasion	Procent uszkodzonych nasion
Opatkowice	1	9	6
	2	11	27
	3	14	15
	4	17	15
	5	20	14
	6	21	22
	7	21	23
	8	21	33
	9	27	33
	10	27	30
	11	28	38
	12	31	28
	13	32	30
	14	33	36
	15	43	42

Źródło: K. Kostrakiewicz, *Wpływ zwierząt i drobnoustrojów na populację kosańców*, „Chrońmy Przyrodę Ojczystą” 2004, nr 2 (60), s. 34–35, 38–39.

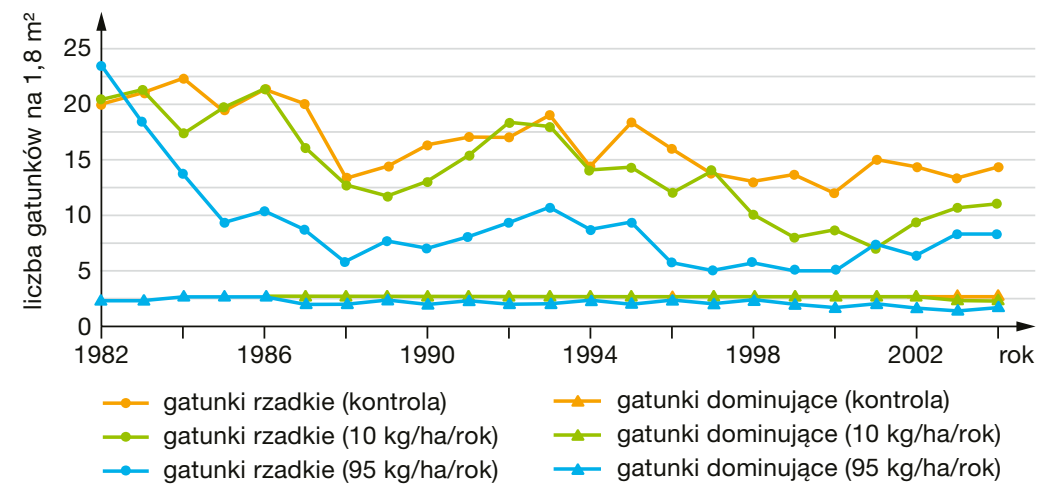
- a) Wykaż, że przedstawione badania zostały przeprowadzone metodą obserwacji.
- b) Oblicz średnią arytmetyczną procenta uszkodzonych nasion kosańca syberyjskiego.

c) Oceń, czy poniższe interpretacje wyników badań są poprawne. Wybierz T (tak), jeśli interpretacja wyników jest poprawna, albo N (nie) – jeśli jest niepoprawna.

1.	Wartości dominanty oraz mediany liczby uszkodzonych nasion kosaćca syberyjskiego są identyczne i wynoszą 21.	T	N
2.	Najniższy procent uszkodzonych nasion w badanej populacji kosaćca syberyjskiego w Opatkowicach wynosi 6.	T	N
3.	Dane procentowe dotyczące uszkodzonych nasion kosaćca syberyjskiego można przedstawić za pomocą wykresu kołowego.	T	N

3 W ostatnich dziesięcioleciach zaobserwowano kilkukrotny wzrost osadzania się na ziemi azotu z atmosfery, a tym samym – wzrost ilości azotu dostępnego dla roślin. Przyczyniły się do tego spalanie paliw kopalnych oraz stosowanie w rolnictwie nawozów bogatych w azot. W latach 1982–2004 na preriowym obszarze Minnesoty przeprowadzono badania dotyczące wpływu ilości dostępnego dla roślin azotu na liczbę rzadkich gatunków roślin i dominujących gatunków roślin. W tym celu przygotowano polećka badawcze, które nawożono azotem, oraz polećka kontrolne, których nie nawożono tym pierwiastkiem.

Poniższy wykres przedstawia uśrednione wyniki badań dla poletek kontrolnych i dla poletek nawożonych azotem w stosunku 10 kg/ha/rok oraz 95 kg/ha/rok.



Na podstawie: Ch.M. Clark, D. Tilman, *Loss of plant species after chronic low-level nitrogen deposition to prairie grasslands*, „Nature” 2008, 2 (451), s. 714.

a) Wybierz punkt, w którym poprawnie wskazano zmienną zależną w opisanych badaniach.

- A. Liczba gatunków roślin rzadkich i dominujących.
- B. Ilość dostępnego dla roślin azotu.
- C. Czas trwania badań.
- D. Tempo osadzania się na ziemi azotu z atmosfery.

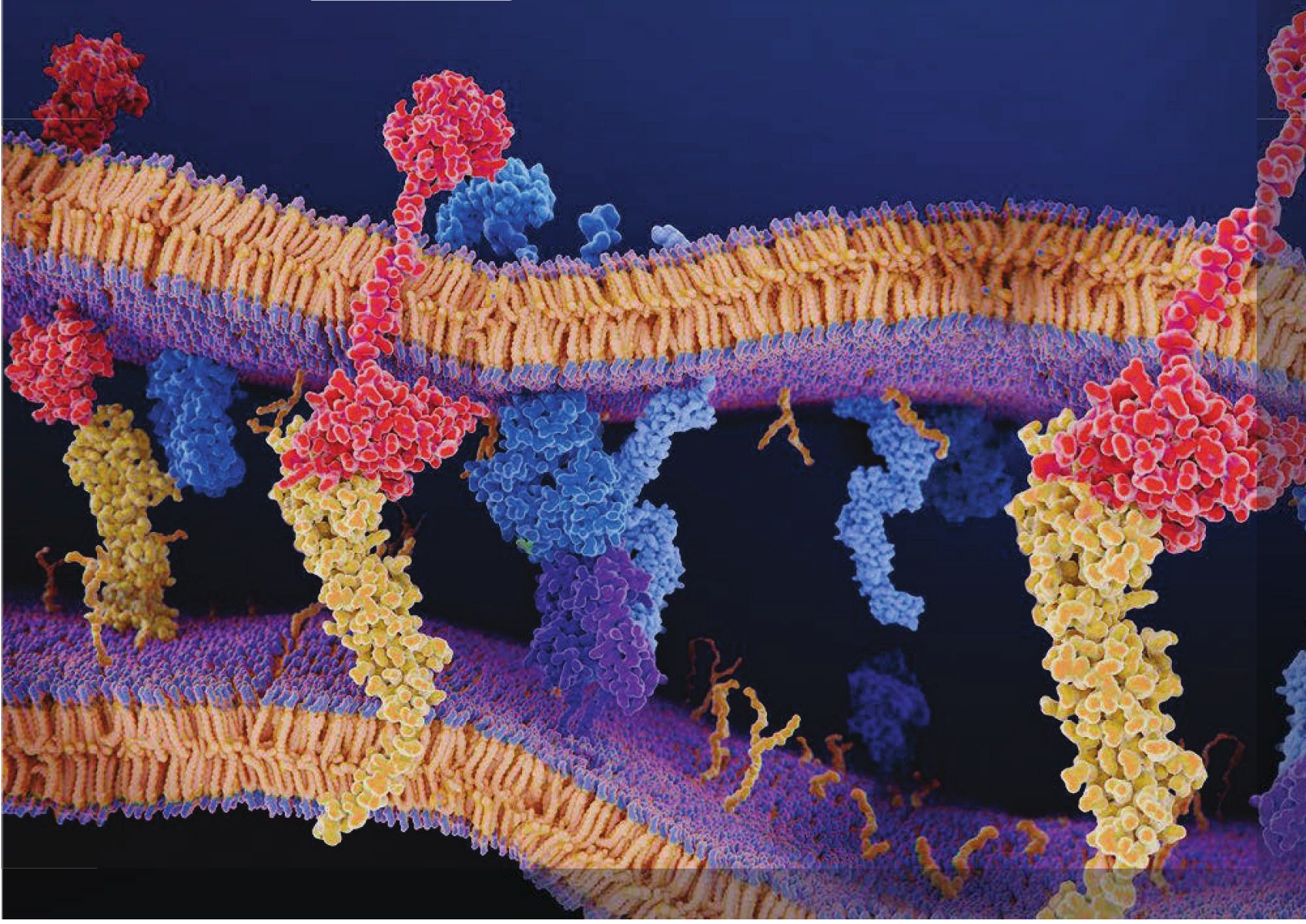
b) Sformułuj wniosek na podstawie wyników przedstawionych badań.

2. Chemiczne podstawy życia



Przypomnij sobie – to było w szkole podstawowej

- ▶ **Woda** – środowisko życia wielu gatunków organizmów oraz główny składnik organizmów. W organizmach pełni m.in. funkcję transportującą, stanowi środowisko reakcji chemicznych i pomaga regulować temperaturę ciała.
- ▶ **Sole mineralne** – pełnią funkcję budulcową, są źródłem pierwiastków, które regulują pracę organizmu.
- ▶ **Węglowodany** – są bezpośrednim źródłem energii, stanowią materiał zapasowy i budulcowy wielu organizmów.
- ▶ **Białka** – pełnią funkcje enzymatyczną, budulcową i zapasową (u roślin).
- ▶ **Tłuszcze** – są źródłem energii, stanowią materiał zapasowy, pełnią funkcję ochronną.
- ▶ **Kwasy nukleinowe** – DNA jest nośnikiem informacji genetycznej, RNA bierze udział w syntezie białek.





2.1. Skład chemiczny organizmów



Ważne w tym temacie!

- rola 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).

Pierwiastki chemiczne

W skład organizmów wchodzi ponad 20 pierwiastków chemicznych. Wyróżnia się wśród nich **mikroelementy** (<0,01% suchej masy¹ komórek) i **makroelementy** (≥0,01% suchej masy komórek). Sześć spośród makroelementów: węgiel (C), wodór (H), tlen (O), azot (N), siarkę (S) i fosfor (P) określa się mianem **pierwiastków biogennych**. Pierwiastki biogenne są podstawowymi składnikami związków organicznych.

Pierwiastkiem biogennym o kluczowym znaczeniu dla istnienia życia na Ziemi jest **węgiel**. Jego atomy tworzą między sobą stabilne wiązania, dzięki czemu powstają **szkielety węglowe**, czyli główne elementy strukturalne związków organicznych. Atomy węgla tworzą również stabilne wiązania z atomami pozostałych pierwiastków biogennych, przy czym:

- wodór i tlen** występują w większości związków organicznych,
- azot** jest składnikiem aminokwasów, białek, nukleotydów i kwasów nukleinowych,
- siarka** występuje w niektórych aminokwasach i wielu białkach,
- fosfor** wchodzi w skład nukleotydów i kwasów nukleinowych.

1 H 1																		He
Li	Be																	
11 Na 23	12 Mg 24																	
19 K 39	20 Ca 40	Sc	Ti	V	24 Cr 52	25 Mn 55	26 Fe 56	27 Co 59	Ni	29 Cu 64	30 Zn 65	Ga	Ge	As	34 Se 79	Br	Kr	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	42 Mo 96	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	49 Cd 112	In	50 Sn 119	Sb	Te	53 I 127	Xe	
Cs	Ba	La		Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac		Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og

pierwiastki biogenne

pozostałe makroelementy

mikroelementy

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 organizmie

Nazwa i symbol pierwiastka	Główna forma występowania pierwiastka w organizmie	Wybrane funkcje pierwiastka w organizmie
Makroelementy	wapń (Ca)	• Ca^{2+} • CaCO_3 • Jest niezbędny do funkcjonowania komórek nerwowych i komórek mięśniowych. • Bierze udział w procesie krzepnięcia krwi. • Jest składnikiem szkieletów i zębów 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 transportujących tlen (hemoglobina) lub magazynujących go (mioglobina). • Wchodzi w skład wielu enzymów, a także przenośników elektronów biorących udział w fotosyntezie i oddychaniu komórkowym.
	jod (I)	• związki organiczne • Stanowi składnik hormonów tarczycy.
	miedź (Cu)	• związki organiczne • Jest składnikiem wielu enzymów. • Stanowi składnik hemocyjaniny – białka transportującego tlen, które występuje u wielu bezkręgowców.
	kobalt (Co)	• związki organiczne • Jest składnikiem witaminy B_{12} , która uczestniczy m.in. w wytwarzaniu elementów morfotycznych krwi.
	fluor (F)	• sole nieorganiczne • Wchodzi w skład szkliwa zębów.

Związki chemiczne

Związki chemiczne zwyczajowo dzieli się na dwie grupy:

- związki nieorganiczne**, które najczęściej nie zawierają w swojej budowie węgla. Do wyjątków należą m.in. tlenek węgla (CO), dwutlenek węgla (CO_2), a także kwas węglowy (H_2CO_3) i jego sole. Najważniejszymi związkami nieorganicznymi występującymi w organizmach są woda (H_2O) i sole mineralne;
- związki organiczne**, których podstawowym składnikiem jest węgiel. Ich cząsteczki mają

na ogół duże rozmiary i złożoną budowę. Do najważniejszych związków organicznych występujących w organizmach należą sacharydy, lipidy, aminokwasy, białka, nukleotydy i kwasy nukleinowe.

Woda

Woda pokrywa ok. 70% powierzchni Ziemi, z czego 69% przypada na morza i oceany, a tylko 1% na zbiorniki śródlądowe.

Pod względem warunków życia środowisko wodne jest stabilniejsze niż środowisko lądowe.

Dotyczy to zwłaszcza wód morskich i oceanicznych, które – w odróżnieniu od wód śródlądowych – nie podlegają znaczącym wpływom ze strony lądu. Dzięki korzystnym warunkom życia zbiorniki wodne zamieszkuje wiele gatunków organizmów. Naukowcy szacują, że ich liczba może przekraczać milion.

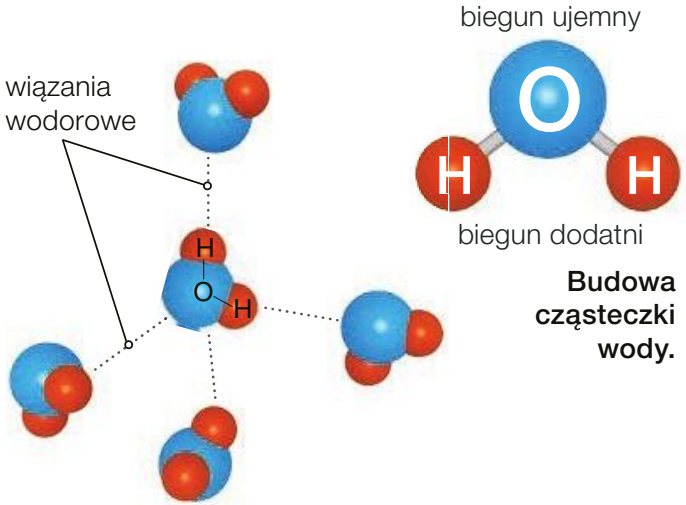
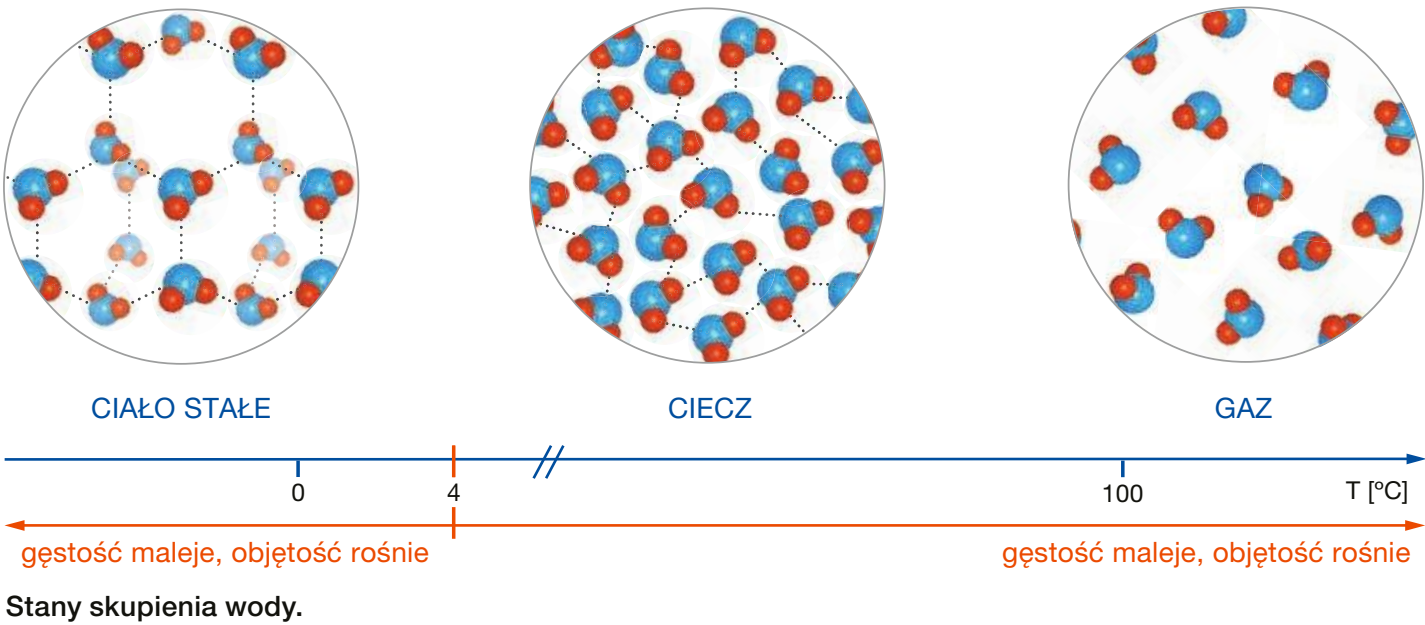
Woda jest również głównym związkem nieorganicznym wchodzącym w skład organizmów. Jej średnia zawartość w organizmach wynosi 60–70%.

Właściwości fizykochemiczne wody

Cząsteczki wody mogą się łączyć ze sobą za pomocą wiązań wodorowych. Wiązania te powstają między atomem wodoru jednej cząsteczki a wolną parą elektronową tlenu drugiej cząsteczki. Wiązania wodorowe mają bezpośredni wpływ na właściwości wody.

Właściwości wody:

► **W zakresie temperatury 0–100°C woda jest cieczą.** Wiązania wodorowe, które występują między jej cząsteczkami, są niestabilne – jedne się tworzą, podczas gdy inne ulegają rozerwaniu. Najkrótsze wiązania wodorowe występują w wodzie o temperaturze 4°C, dzięki czemu ma ona najmniejszą objętość i największą gęstość. Wraz ze spadkiem oraz ze wzrostem temperatury wiązania wodorowe wydłużają się – w ten sposób objętość ciekłej wody rośnie, a jej gęstość maleje.



Cząsteczka wody ma budowę polarną. Oznacza to, że przy atomie tlenu występuje cząstkowy ładunek ujemny (biegun ujemny), a przy atomach wodoru występują ładunki dodatnie (biegun dodatni). Polarna budowa cząsteczek wody umożliwia powstawanie między nimi wiązań wodorowych.

- **Poniżej 0°C woda jest ciałem stałym – lodem.** Wiązania wodorowe występujące w lodzie są stabilne, regularne oraz dłuższe niż w wodzie ciekłej. Z tego powodu lód ma większą objętość i mniejszą gęstość od wody ciekłej, utrzymuje się zatem na jej powierzchni.
- **Powyżej 100°C woda jest gazem – parą wodną.** Cząsteczki wody tworzące parę wodną nie są ze sobą połączone wiązaniami wodorowymi.
- **Woda ma większą gęstość niż powietrze.** Maksymalna gęstość wody wynosi 1 g/cm^3 , natomiast średnia gęstość powietrza wynosi ok. $0,0012 \text{ g/cm}^3$.

- **Woda ma wysokie ciepło właściwe.** Podniesienie temperatury wody wymaga dostarczenia znacznej ilości ciepła, a obniżenie temperatury – odebrania znacznej ilości ciepła.
- **Woda ma wysokie ciepło parowania.** Zmiana stanu skupienia wody z ciekłego na gazowy wymaga dostarczenia dużej ilości energii.
- **Woda jest spójna i przylega do powierzchni naładowanych elektrycznie** – dzięki temu w elementach przewodzących drewna przemieszcza się ciągłym strumieniem. Wiązania wodorowe powodują dużą spójność (kohezję) wody, czyli odporność słupa wody na rozerwanie pod wpływem sił rozciągających. Wpływają również na jej dobre przyleganie (adhezję) do powierzchni naładowanych elektrycznie.

- **Woda ma duże napięcie powierzchniowe.** Przyciąganie się cząsteczek wody na granicy z powietrzem jest znacznie silniejsze niż w głębi cieczy. Dzięki temu na powierzchni wody powstaje sprężysta, napięta błonka, którą stosunkowo trudno rozerwać.
- **Woda jest mało ściśliwa.** Oznacza to, że pod wpływem ciśnienia zmienia swoją objętość w niewielkim stopniu.
- **Woda jest dobrym rozpuszczalnikiem substancji hydrofilowych.** Zalicza się do nich substancje o budowie polarnej lub jonowej, które tworzą z cząsteczkami wody różnego typu oddziaływania międzycząsteczkowe. Z kolei substancje hydrofobowe mają niepolarną budowę i rozpuszczają się w wodzie bardzo słabo albo nie rozpuszczają się wcale.

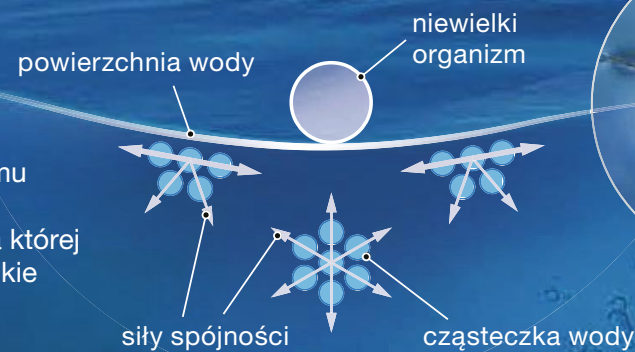
Biologiczne znaczenie wody

Właściwość wody	Znaczenie biologiczne
W zakresie temperatury 0–100°C jest cieczą.	• Zapewnia ciekłe środowisko wewnątrz komórek. • Jest głównym składnikiem płynów ustrojowych. • Stanowi środowisko życia organizmów wodnych.
Ma największą gęstość w temperaturze 4°C.	• Umożliwia organizmom wodnym przetrwanie zimy w toni pokrytych lodem zbiorników wodnych.
Ma mniejszą gęstość w stanie stałym niż w stanie ciekłym.	
Ma większą gęstość niż gęstość powietrza.	• Mogą się w niej utrzymywać nawet bardzo duże organizmy, w tym pozbawione szkieletu czy tkanki wzmacniającej.
Ma wysokie ciepło właściwe.	• Umożliwia regulację temperatury ciała przez magazynowanie ciepła lub oddawanie go do otoczenia. • Zapewnia stabilne warunki termiczne organizmom wodnym.
Ma wysokie ciepło parowania.	• Umożliwia pozbywanie się nadmiaru ciepła z organizmu m.in. podczas pocenia się (np. człowiek), ziania (np. pies), transpiracji (rośliny).
Jest spójna i przylega do powierzchni naładowanych elektrycznie.	• Przepływa w kapilarach (czyli cienkich rurkach, np. w elementach przewodzących drewna) wbrew sile grawitacji.
Ma duże napięcie powierzchniowe.	• Umożliwia drobnym organizmom (np. owadom, pajęczakom) utrzymywanie się na powierzchni zbiorników wodnych.
Jest mało ściśliwa.	• Utrzymuje stan jędrności komórek roślinnych. • Uczestniczy w utrzymywaniu kształtu komórek zwierzęcych.
Jest dobrym rozpuszczalnikiem substancji hydrofilowych.	• Stanowi środowisko reakcji chemicznych zachodzących w komórkach. • Jest główną substancją transportującą organizmów.
Jest bezbarwna i przezroczysta.	• Przenika przez nią światło niezbędne do przeprowadzania fotosyntezy.

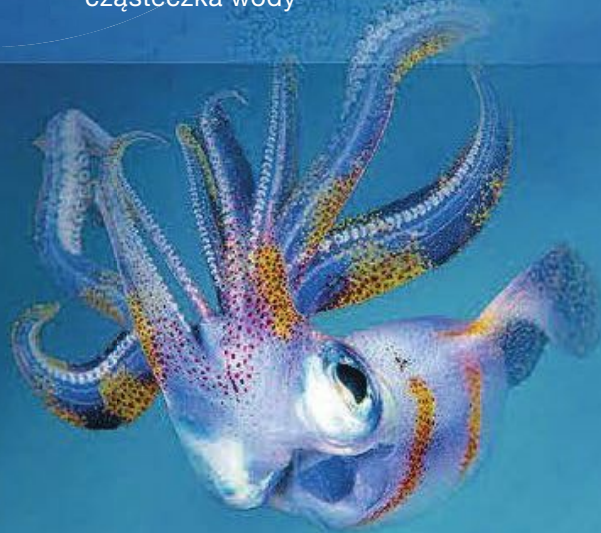
Woda – środowisko życia organizmów

Woda ze względu na swoje właściwości jest znacznie stabilniejszym środowiskiem życia niż ląd. Dotyczy to zwłaszcza wód oceanicznych, a w mniejszym stopniu – wód śródlądowych.

► **Woda ma duże napięcie powierzchniowe** – dzięki temu na jej powierzchni powstaje sprężysta, napięta błonka, na której mogą się utrzymywać niewielkie organizmy (np. nartniki).



► **Woda ma wysokie ciepło właściwe**, dlatego zbiorniki wodne wolno się nagrzewają i równie wolno się ochładzają. Zapewnia to stabilne warunki termiczne organizmom wodnym, w tym zmiennocieplnym (np. kałamarnicom).



► **Woda ma dużą gęstość**, dzięki czemu mogą utrzymywać się w niej:

- bardzo duże zwierzęta, w tym pozbawione szkieletu (np. ogromne meduzy),
- duże organizmy fotosyntetyzujące, które nie mają tkanki wzmacniającej (np. wielkomorszcz).



► **Woda jest substancją bezbarwną i przezroczystą**, dlatego światło słoneczne może przenikać przez nią na znaczne głębokości. Umożliwia to funkcjonowanie organizmów fotosyntetyzujących (np. protistów roślinopodobnych), które produkują tlen i pokarm dla kolejnych poziomów troficznych zbiorników wodnych.

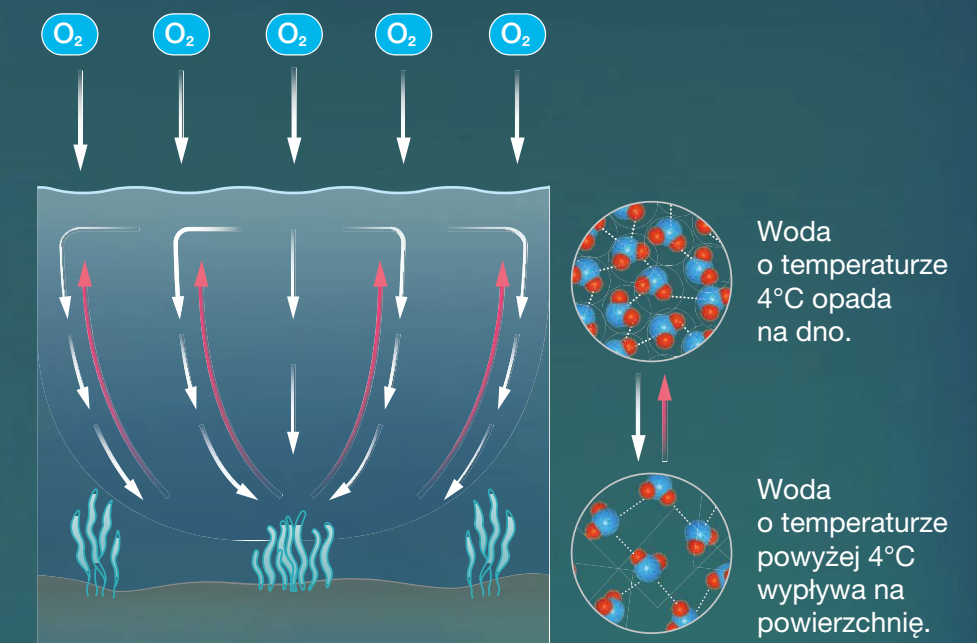
Wpływ zmian temperatury powietrza na życie w zbiornikach śródlądowych

Warunki termiczne panujące w zbiornikach śródlądowych (m.in. w jeziorach) są mniej stabilne od warunków panujących w morzach i oceanach – zbiorniki te podlegają bowiem silnym wpływom ze strony lądu.

Jesienne mieszanie się wód w jeziorach

Jesienią temperatura powietrza spada, a powierzchniowe warstwy wody ochładzają się do 4°C. Woda o takiej temperaturze ma największą gęstość, dlatego opada na dno zbiornika. Jednocześnie cieplejsze warstwy wody o mniejszej gęstości przemieszczają się ku powierzchni, gdzie również się ochładzają. W ten sposób woda zostaje wymieszana i temperatura w całym zbiorniku wynosi 4°C.

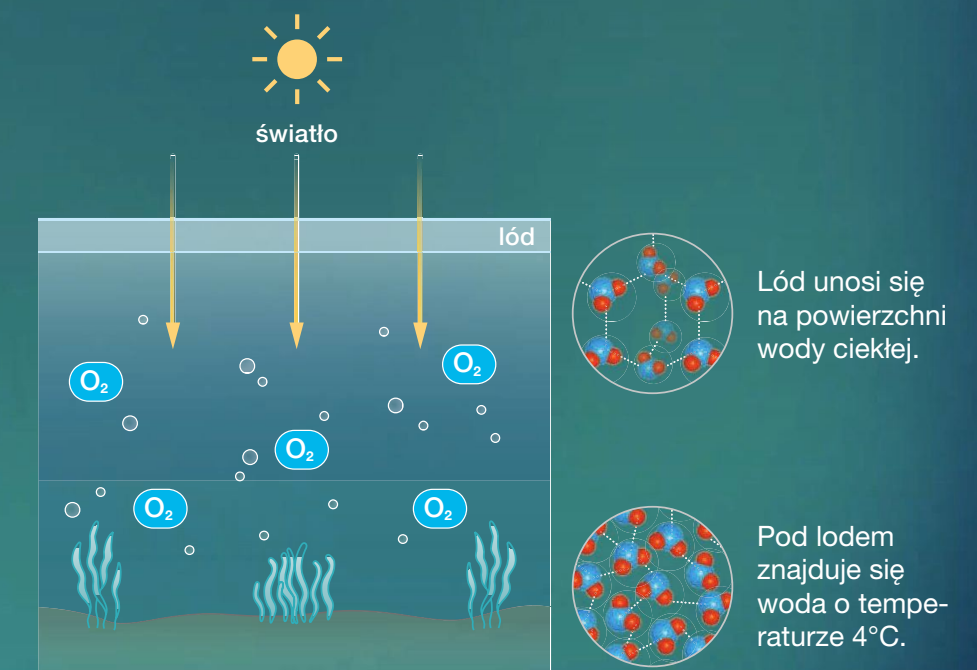
W okresie chłódów jeziora są dobrze natlenione, ponieważ rozpuszczalność tlenu w wodzie rośnie wraz ze spadkiem temperatury.



Jeziora zimą

Zimą temperatura powietrza spada poniżej 0°C, a na powierzchni zbiornika tworzy się warstwa lodu. Pod nią znajduje się dobrze natleniona woda o temperaturze 4°C, w której organizmy wodne mogą przetrwać chłód.

Gdy warstwa lodu jest stosunkowo cienka, może przenikać przez nią światło. Umożliwia to zachodzenie fotosyntezy, w wyniku której uwalnia się tlen.



Woda – środowisko wewnętrzne organizmów

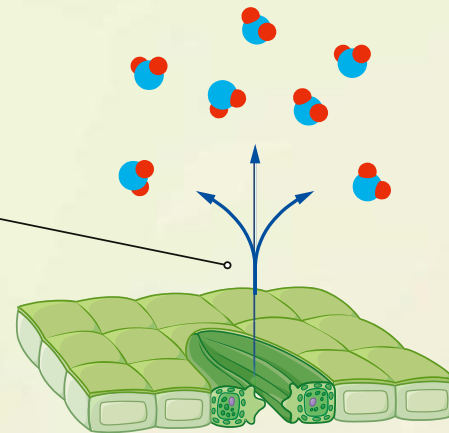
Woda jest głównym związkem nieorganicznym wchodzącym w skład organizmów. Występuje zarówno w komórkach (m.in. w cytozolu), jak i w płynach ustrojowych (np. we krwi).

Biologiczne znaczenie wody w organizmie roślinnym

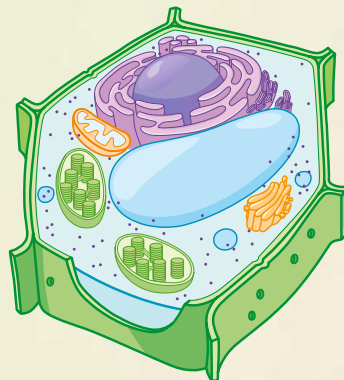
Woda

- **Ma wysokie ciepło parowania** – umożliwia pozbywanie się nadmiaru ciepła z organizmu podczas transpiracji.

Intensywna transpiracja zapobiega przegrzaniu liści w warunkach dobrego zaopatrzenia roślin w wodę.

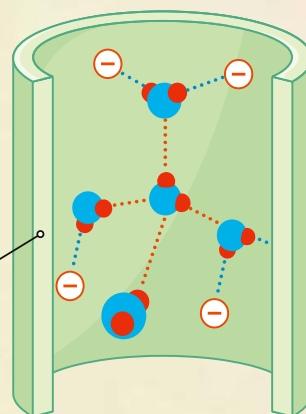


- **Jest bezbarwna i przezroczysta** – dzięki temu przenika przez nią światło niezbędne do przeprowadzania fotosyntezy.
- **Jest mało ściśliwa** – utrzymuje stan jędrności komórek roślinnych.
- **Jest dobrym rozpuszczalnikiem substancji hydrofilowych** – stanowi środowisko reakcji chemicznych zachodzących w komórkach oraz pełni funkcję transportującą.



- **Jest spójna i przylega do powierzchni naładowanych elektrycznie** – dzięki temu przemieszcza się w elementach przewodzących drewna ciągłym strumieniem (nawet wbrew sile grawitacji).

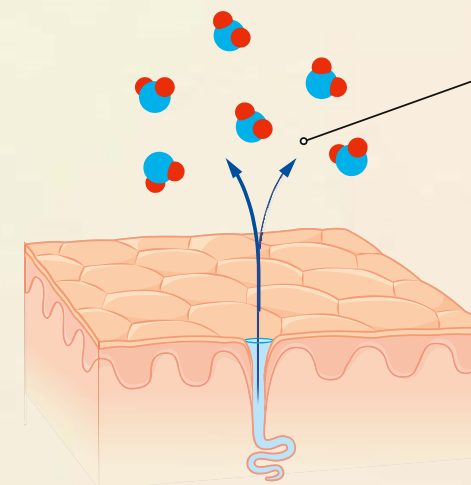
Zdrewniałe ściany naczyń i cewek mają ładunek ujemny, co umożliwia przyleganie wody do ich powierzchni.



Biologiczne znaczenie wody w organizmie zwierzęcym

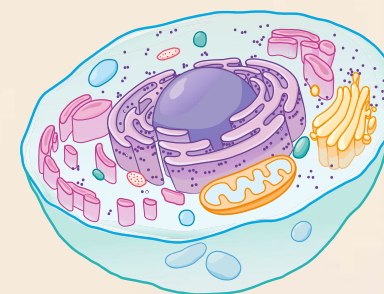
Woda

- **Ma wysokie ciepło właściwe** – umożliwia regulację temperatury ciała dzięki magazynowaniu ciepła lub oddawaniu go do otoczenia. U kręgowców głównym magazynem ciepła jest krew, która składa się przede wszystkim z wody.
- **Ma wysokie ciepło parowania** – pozwala na pozbywanie się nadmiaru ciepła z organizmu, np. podczas pocenia się.

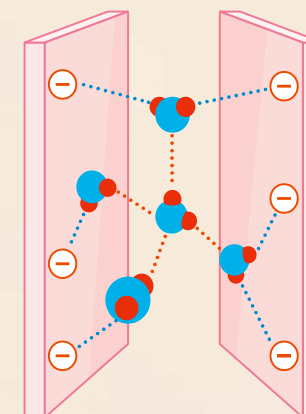


Woda stanowi główny składnik potu. Zmiana stanu skupienia wody z ciekłego na gazowy wymaga dostarczenia dużej ilości ciepła. Ciepło to jest pochłaniane przez cząsteczki wody z powierzchni ciała. W efekcie woda paruje, a temperatura ciała się obniża.

- **Jest dobrym rozpuszczalnikiem substancji hydrofilowych** – stanowi środowisko reakcji chemicznych zachodzących w komórkach oraz pełni funkcję transportującą.
- **Jest mało ściśliwa** – uczestniczy w utrzymywaniu kształtu komórek zwierzęcych.



- **Jest spójna i przylega do powierzchni naładowanych elektrycznie.** W ten sposób spaja ze sobą blaszki opłucnej – błony, która pokrywa zarówno płuca, jak i ścianę klatki piersiowej. Podczas wdechu klatka piersiowa zwiększa swoją objętość. Wówczas blaszki opłucnej spojone cząsteczkami wody rozciągają płuca, co skutkuje zasysaniem świeżego powietrza.



Blaszki opłucnej mają ładunek ujemny, co umożliwia przyleganie wody do ich powierzchni.

blaszka opłucnej

Sole mineralne

Sole mineralne występują w organizmach w postaci rozpuszczalnych w wodzie jonów lub nierozpuszczalnych w wodzie kryształów. Substancje te pełnią funkcje zarówno fizjologiczne, jak i budulcowe, m.in.:

- ▶ 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,
- ▶ nieorganiczny fosforan (HPO_4^{2-}) uczestniczy w procesach metabolicznych jako substrat do syntezy związków zwanych przenośnikami energii,
- ▶ 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,
- ▶ wchodzi w skład układów buforowych² (np. buforu węglanowego), które utrzymują pH płynów ustrojowych na względnie stałym poziomie.

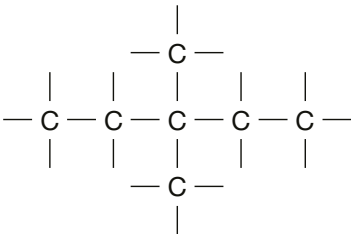
Płyny ustrojowe organizmów zawierają jednakową liczbę kationów i anionów. Szczególnie liczne są kationy: wapnia (Ca^{2+}), magnezu (Mg^{2+}), sodu (Na^+) i potasu (K^+). Wśród anionów istotne znaczenie mają jony: chlorkowe (Cl^-),

wodorowęglanowe (HCO_3^-) i diwodoroortofosforanowe(V) (H_2PO_4^-).

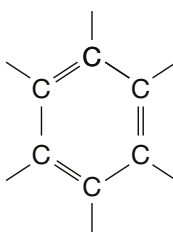
Niektóre sole mineralne, głównie węglan i fosforany(V) wapnia, występują w stanie stałym jako budulec szkieletów wewnętrznych oraz szkieletów zewnętrznych zwierząt.

Związki organiczne

Związki organiczne są związkami węgla. Atomy węgla występujące w tych związkach są zawsze czterowartościowe i mogą bezpośrednio się ze sobą łączyć. W ten sposób powstają szkielety węglowe, czyli proste lub rozgałęzione łańcuchy oraz pierścienie.

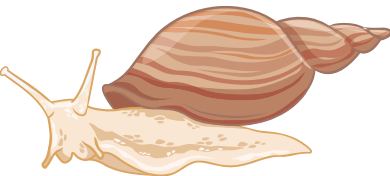
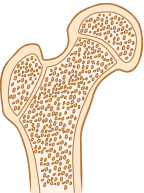


Szkielet węglowy w postaci rozgałęzionego łańcucha.



Szkielet węglowy w postaci pierścienia.

Oprócz atomów węgla w skład związków organicznych wchodzi atomy innych pierwiastków chemicznych, głównie pierwiastków biogennych. Za reaktywność określonego związku organicznego, czyli jego zdolność do udziału w reakcjach chemicznych, odpowiadają grupy funkcyjne³.

Główne nierozpuszczalne sole mineralne organizmów		
węglan wapnia	fosforany wapnia	
• Jest składnikiem szkieletów zewnętrznych niektórych zwierząt bezkręgowych, np. mięczaków. 	• Są składnikami zębów zwierząt kręgowych. 	• Są składnikami szkieletów wewnętrznych zwierząt kręgowych. 

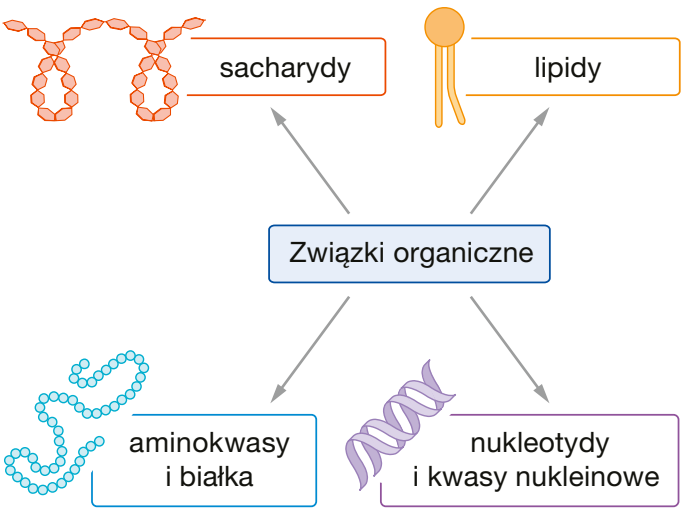
² Układy buforowe – mieszaniny substancji, które przyjmują lub oddają jony wodorowe, co przeciwdziała zmianom pH środowiska.

³ Grupa funkcyjna – część cząsteczki składająca się z atomu lub grupy atomów, wykazująca charakterystyczne właściwości chemiczne.

Wybrane grupy funkcyjne występujące w związkach organicznych

Grupa funkcyjna	Wzór chemiczny	Grupa związków organicznych
hydroksylowa	$-\text{OH}$	• alkohole, np. alkohol etylowy • sacharydy, np. glukoza
karbonylowa	aldehydowa $-\text{CHO}$	• aldehydy, np. aldehyd octowy • sacharydy – aldozy, np. glukoza
	ketonowa $>\text{C}=\text{O}$	• ketony, np. aceton • sacharydy – ketozy, np. fruktoza
karboksylowa	$-\text{COOH}$ (niezjonizowana) $-\text{COO}^-$ (zjonizowana)	• kwasy karboksylowe, np. kwas palmitynowy • aminokwasy, np. alanina
aminowa	$-\text{NH}_2$ (niezjonizowana) $-\text{NH}_3^+$ (zjonizowana)	• aminokwasy, np. alanina • zasady azotowe, np. guanina

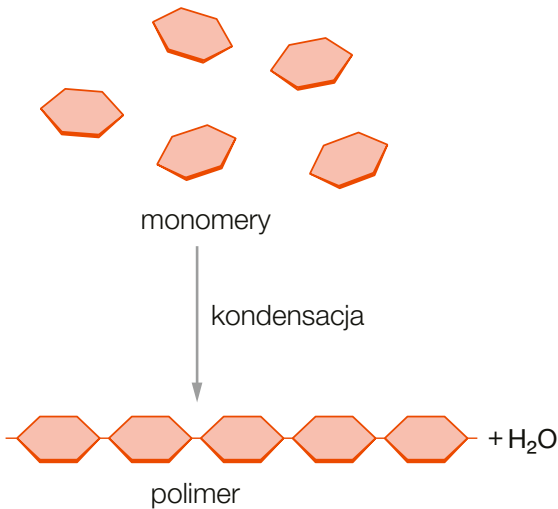
Wiele związków organicznych powstaje w wyniku polimeryzacji, która polega na łączeniu się związków prostszych (monomerów) w długie łańcuchy (polimery). Reakcje polimeryzacji zachodzące w organizmach należą do reakcji kondensacji – w ich rezultacie oprócz złożonego związku organicznego powstają również cząsteczki wody. W wyniku reakcji polimeryzacji tworzą się często związki o bardzo dużych cząsteczkach. Należą do nich polisacharydy, białka oraz kwasy nukleinowe (DNA i RNA). Te związki, które są zbudowane z ok. tysiąca atomów, określa się mianem związków wielocząsteczkowych lub makrocząsteczek (makromolekuł). Większość z nich charakteryzuje się skomplikowaną strukturą przestrzenną.



Główne grupy związków organicznych występujące w organizmach.

Rodzaje wzorów chemicznych związków organicznych

W chemii organicznej rzadko stosuje się wzory sumaryczne, ponieważ określają one jedynie rodzaj i liczbę atomów poszczególnych pierwiastków wchodzących w skład cząsteczek związków chemicznych. Z tego powodu jeden wzór sumaryczny może odpowiadać kilku różnym związkom organicznym, np. $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ to wzór m.in. glukozy, fruktozy i galaktozy. W celu jednoznacznego określenia budowy cząsteczek związków organicznych stosuje się wzory, które uwzględniają sposób połączenia ze sobą atomów. Do wzorów tych należą: wzór strukturalny, wzór półstrukturalny i wzór szkieletowy (kreskowy).



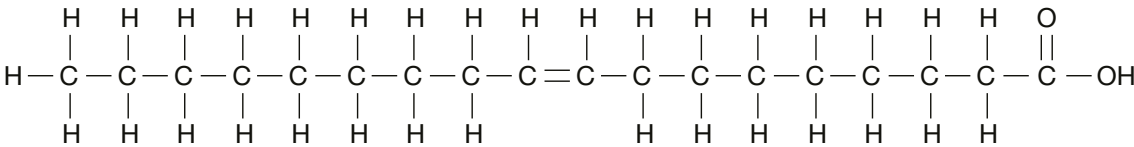
Przykładem polimeryzacji jest synteza wielocukrów (np. skrobi) z monocukrów (np. glukozy).

- **Wzór strukturalny.** Uwzględnia wszystkie atomy oraz wszystkie wiązania występujące w cząsteczce danego związku chemicznego. Jest najdokładniejszym wzorem chemicznym.
- **Wzór półstrukturalny.** W tym wzorze liczbę atomów wodoru przyłączonych do atomu węgla sumuje się i zapisuje w indeksie dolnym. Wzór półstrukturalny można także przedstawić przez zapisanie w nawiasie powtarzających się fragmentów cząsteczki. Jest to wówczas wzór półstrukturalny uproszczony.
- **Wzór szkieletowy (kreskowy).** W tym wzorze przedstawia się tylko szkielet cząsteczki. We wzorach szkieletowych:
 - nie zaznacza się atomów węgla ani połączonych z nimi atomów wodoru,
 - pojedyncza kreska oznacza wiązanie pojedyncze, podwójna – wiązanie podwójne, a potrójna – wiązanie potrójne,
 - atomy węgla znajdują się w punktach łączących odcinki linii łamanych oraz na końcach tych linii,
 - każdy atom węgla jest związany z taką liczbą atomów wodoru, aby została spełniona reguła czterowartościowości węgla,
 - zaznacza się atomy pierwiastków chemicznych innych niż węgiel oraz połączone z nimi atomy wodoru.

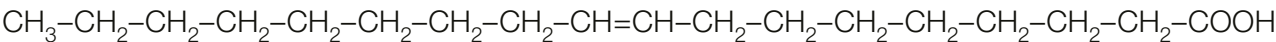
Przykłady wzorów chemicznych związku organicznego

Sposób tworzenia wzorów chemicznych można prześledzić na przykładzie kwasu oleinowego o wzorze sumarycznym $C_{18}H_{34}O_2$ lub $C_{17}H_{33}COOH$.

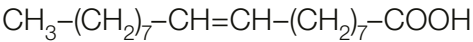
Wzór strukturalny:



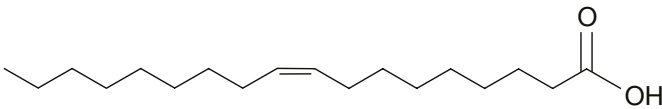
Wzór półstrukturalny:



Wzór półstrukturalny uproszczony:



Wzór szkieletowy:



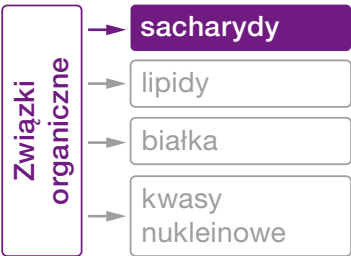
Polecenia kontrolne

1. Określ znaczenie pierwiastków biogennych dla funkcjonowania organizmów.
2. Podaj dwie właściwości wody, które pozwalają na przetrwanie organizmów wodnych w toni zbiorników wodnych zimą.
3. Określ, z jakiej właściwości wody korzysta maratończyk, gdy polewa ciało wodą podczas biegu. Odpowiedź uzasadnij.

2.2. Budowa i funkcje sacharydów

Ważne w tym temacie!

- poszczególne grupy sacharydów
- związek między właściwościami sacharydów a ich znaczeniem dla organizmu



Sacharydy (cukry, węglowodany) powstają przede wszystkim w procesie fotosyntezy, przeprowadzanym m.in. przez rośliny. Z tego powodu stanowią ok. 80% suchej masy roślin (zielnych) i jedynie ok. 1% suchej masy zwierząt. Większość sacharydów zawiera w swoim składzie wyłącznie węgiel (C), wodór (H) i tlen (O), przy czym stosunek ilościowy wodoru do tlenu wynosi zwykle 2:1. Niektóre sacharydy zawierają dodatkowo inne pierwiastki chemiczne, np. azot (N).

Ze względu na budowę cząsteczek sacharydy dzieli się na: monosacharydy, oligosacharydy i polisacharydy.

Monosacharydy

Monosacharydy (cukry proste, jednocukry) są związkami o słodkim smaku, dobrze rozpuszczalnymi w wodzie. Zazwyczaj zawierają w cząsteczkach od 3 do 10 atomów węgla, dlatego nazywa się je kolejno: triozami (C3), tetrazami (C4), pentozami (C5), heksozami (C6) itd. Każdy z cukrów prostych ma kilka grup hydroksylowych (–OH) i jedną grupę karbonylową: aldehydową (–CHO) lub ketonową (>C=O). Monosacharydy zawierające grupę aldehydową określa się mianem **aldoz**, a zawierające grupę ketonową – mianem **ketoz**.

Funkcje biologiczne wybranych monosacharydów

Przykłady monosacharydów	Znaczenie 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 syntezie białek oraz jest nośnikiem informacji genetycznej u wielu wirusów. • Jest składnikiem wolnych rybonukleotydów (np. ATP), które są przenośnikami energii 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 energetycznym. • Jest monomerem wielu oligosacharydów i polisacharydów.
Fruktoza	• Jest substratem energetycznym. • Wchodzi w skład wielu oligosacharydów i polisacharydów.
Galaktoza	• Wchodzi w skład laktozy, a także niektórych polisacharydów, glikolipidów i glikoprotein. • Jest substratem energetycznym.

Izomery monosacharydów

Izomery to związki chemiczne o takim samym składzie chemicznym (wzorce sumarycznym), ale odmiennej budowie cząsteczek (odmien-nych wzorach strukturalnych).

Izomerami są np. glukoza i fruktoza – oba o wzorze sumarycznym C₆H₁₂O₆. Cząsteczki tych cukrów różnią się układem atomów, a w rezultacie – rodzajem grupy funkcyjnej.

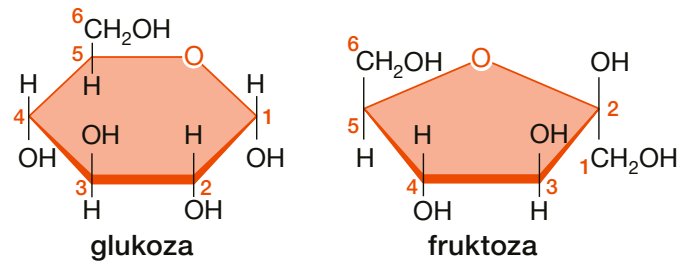
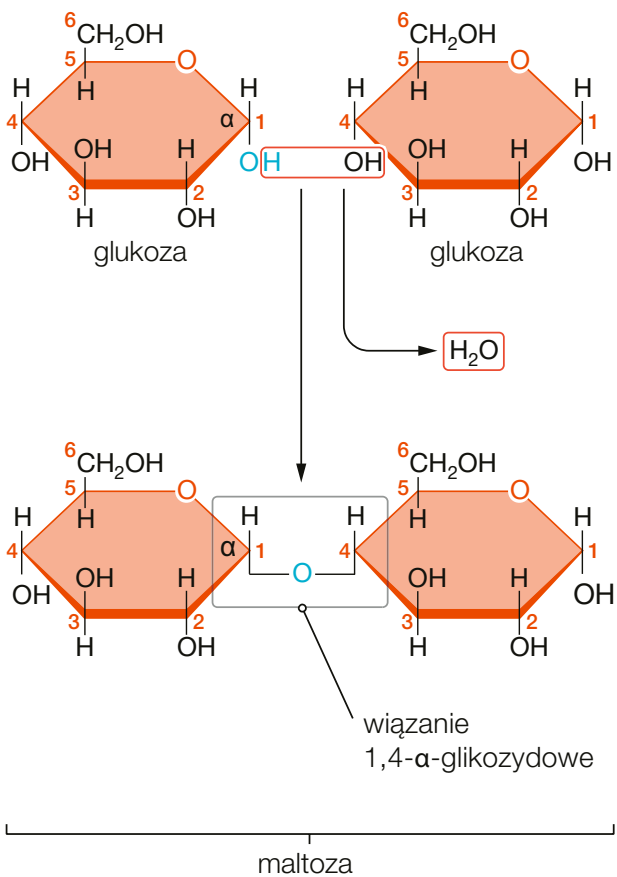
Oligosacharydy

Oligosacharydy to związki zbudowane z kilku (od 2 do 10) cząsteczek monosacharydów połączonych wiązaniem O-glikozydowym. Najczęściej powstaje ono między pierwszym atomem węgla (C1) jednej cząsteczki monosacharydu a czwartym atomem węgla (C4) następnej cząsteczki monosacharydu, dlatego nazywa się je wiązaniem 1,4-glikozydowym.

W zależności od formy monosacharydów tworzących wiązanie wyróżnia się:

- ▶ **wiązania α-glikozydowe** (alfa-glikozydowe),
- ▶ **wiązania β-glikozydowe** (beta-glikozydowe).

Powstawanie wiązania 1,4-α-glikozydowego



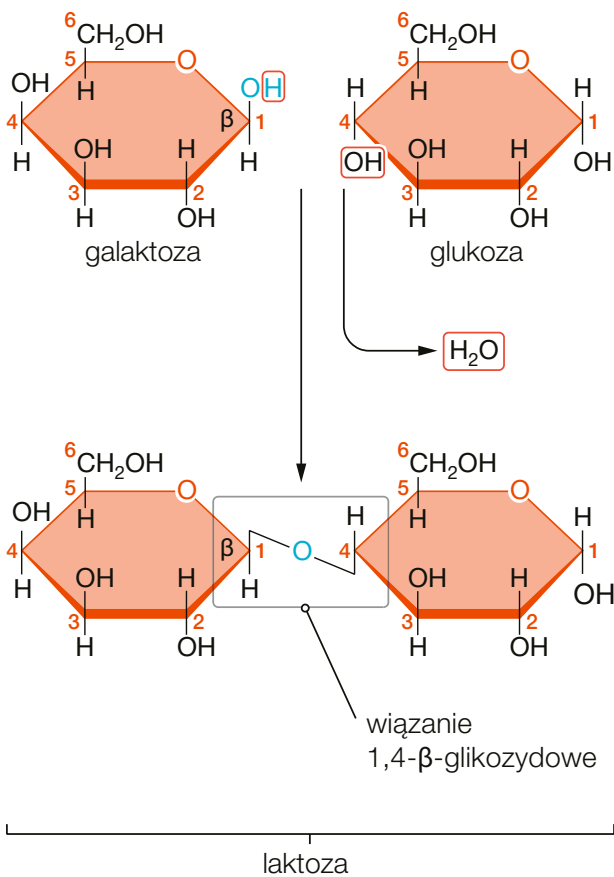
Ze względu na taki sam skład chemiczny glukoza łatwo przekształca się we fruktozę, a fruktoza – w glukozę.

Najprostszymi oligosacharydami są **disacharydy** (dwucukry). Związki te powstają w wyniku kondensacji dwóch cząsteczek monosacharydów i mają podobne do nich właściwości fizykochemiczne. Do disacharydów o największym znaczeniu biologicznym należą:

- ▶ **sacharoza** (cukier buraczany, cukier trzcinowy),
- ▶ **laktoza** (cukier mlekowy),
- ▶ **maltoza** (cukier słodowy).

Oligosacharydy o dłuższych łańcuchach węglowych często łączą się z białkami lub lipidami, w wyniku czego tworzą się związki wchodzące w skład błon komórkowych.

Powstawanie wiązania 1,4-β-glikozydowego



Budowa wybranych disacharydów i ich funkcje w organizmach

Przykłady disacharydów	Budowa	Znaczenie biologiczne
Sacharoza	Jest zbudowana z jednej cząsteczki glukozy i jednej cząsteczki fruktozy, które są połączone wiązaniem 1-α,2-β-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 galaktozy i jednej cząsteczki glukozy, które są połączone wiązaniem 1,4-β-glikozydowym.	• Wchodzi w skład mleka ssaków – jest źródłem substratów energetycznych (glukozy i galaktozy).
Maltoza	Jest zbudowana z dwóch cząsteczek glukozy, które są połączone wiązaniem 1,4-α-glikozydowym.	• Jest źródłem substratu energetycznego (glukozy). • Występuje w nektarze i pyłku niektórych roślin – wabi zwierzęta zapylające.

Polisacharydy

Polisacharydy (wielocukry) powstają w wyniku łączenia się wielu cząsteczek monosacharydów w jedną dużą cząsteczkę. Polisacharydy są słabo rozpuszczalne lub nierozpuszczalne w wodzie.

Polisacharydy o funkcji budulcowej

Polisacharydami o funkcji budulcowej są celuloza i chityna. Składają się one z reszt cukrów prostych połączonych wiązaniami **1,4-β-glikozydowymi** w długie nierozgałęzione łańcuchy. Poszczególne łańcuchy łączą się ze sobą wiązaniami wodorowymi w grubsze włókna (mikrofibryle).

- ▶ **Celuloza** jest głównym składnikiem ściany komórkowej komórek roślin i niektórych protistów. Pojedynczy łańcuch celulozy zawiera od kilku do kilkunastu tysięcy reszt glukozy.
- ▶ **Chityna** jest głównym składnikiem m.in. szkieletu zewnętrznego stawonogów oraz ściany komórkowej u grzybów. Pojedynczy łańcuch chityny zawiera kilka tysięcy reszt N-acetyloglukozaminy (pochodnej glukozy).

Polisacharydy o funkcji zapasowej

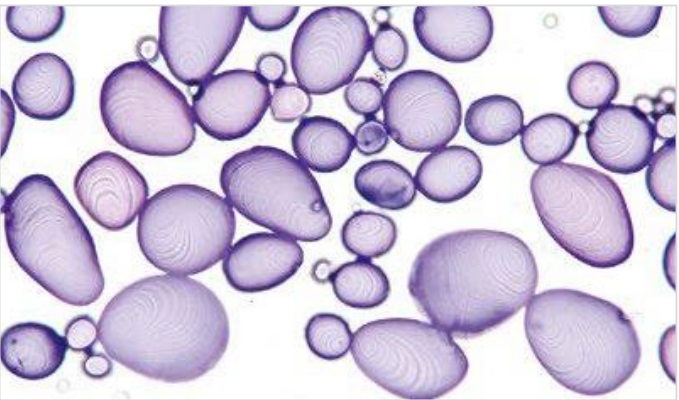
Polisacharydami o funkcji zapasowej są glikogen i skrobia. Poszczególne reszty glukozy są połączone wiązaniami **1,4-α-glikozydowymi** w łańcuchy, które mogą rozgałęziać się dzięki obecności wiązań **1,6-α-glikozydowych**.

▶ **Glikogen** jest materiałem zapasowym zwierząt i grzybów. Zawiera kilkadziesiąt tysięcy reszt glukozy połączonych w łańcuchy, które rozgałęziają się co mniej więcej 6–12 reszt glukozy.

▶ **Skrobia** jest materiałem zapasowym roślin i niektórych protistów. Tworzą ją dwie frakcje: nierozgałęziona i rozgałęziona.

– Nierozgałęziona frakcja skrobi stanowi ok. 20% masy tego wielocukru. Ma postać helikalnie (śrubowo) skręconego, nierozgałęzionego łańcucha, który zawiera od kilkuset do kilku tysięcy reszt glukozy.

– Rozgałęziona frakcja skrobi stanowi ok. 80% tego wielocukru. Zawiera kilka tysięcy reszt glukozy połączonych w łańcuch główny, który rozgałęzia się co mniej więcej 25 reszt glukozy.



Ziarna skrobi (obraz spod mikroskopu optycznego) wykrywa się za pomocą np. płynu Lugola (roztwór jodu w jodku potasu). Pod wpływem jodu skrobia barwi się na granatowo.

Polisacharydy

Polisacharydy pełnią w organizmach funkcję budulcową oraz funkcję zapasową.

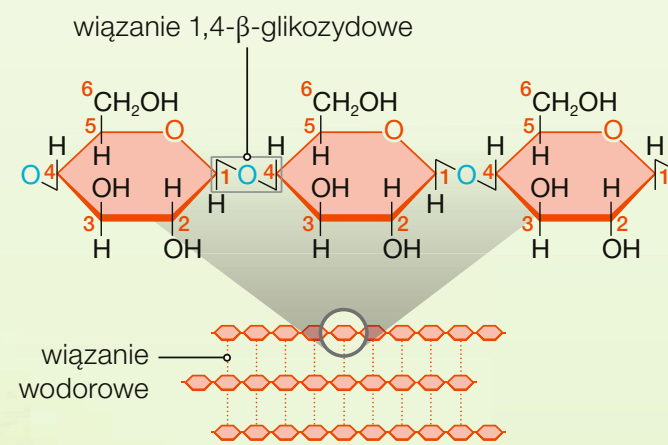
POLISACHARYDY O FUNKCJI BUDULCOWEJ

Do polisacharydów o funkcji budulcowej należą celuloza i chityna. Związki te są nierozpuszczalne w wodzie, wytrzymałe i sztywne, co zabezpiecza komórki oraz całe organizmy przed urazami mechanicznymi, a także przed pękaniem w roztworach hipotonicznych.

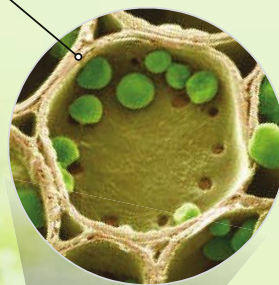
► Celuloza

Jest głównym składnikiem ściany komórkowej komórek roślin i niektórych protistów. Celuloza stanowi materiał budulcowy, ponieważ:

- większość organizmów (w tym organizmy, u których występuje) nie wytwarza enzymów zdolnych do jej rozkładu,
- między jej łańcuchami tworzą się liczne wiązania wodorowe – dzięki temu powstają grubsze włókna celulozowe, odporne np. na urazy mechaniczne.



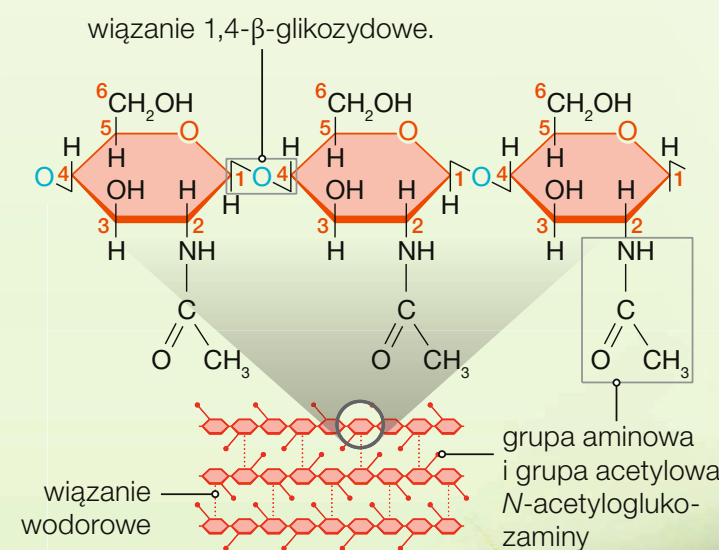
Celuloza buduje ściany komórkowe komórek roślinnych.



► Chityna

Jest głównym składnikiem ściany komórkowej komórek grzybów. Buduje także twarde części wielu zwierząt bezkręgowych, m.in. szkielety zewnętrzne stawonogów i dzioby ośmiornic. Chityna stanowi materiał budulcowy, ponieważ:

- większość organizmów (w tym organizmy, u których występuje) nie wytwarza enzymów zdolnych do jej rozkładu,
- między jej łańcuchami tworzą się liczne wiązania wodorowe – dzięki temu powstają grubsze włókna chitynowe, odporne np. na urazy mechaniczne.



Chityna buduje ściany komórkowe komórek grzybowych.



Chityna buduje szkielety zewnętrzne stawonogów, m.in. owadów.

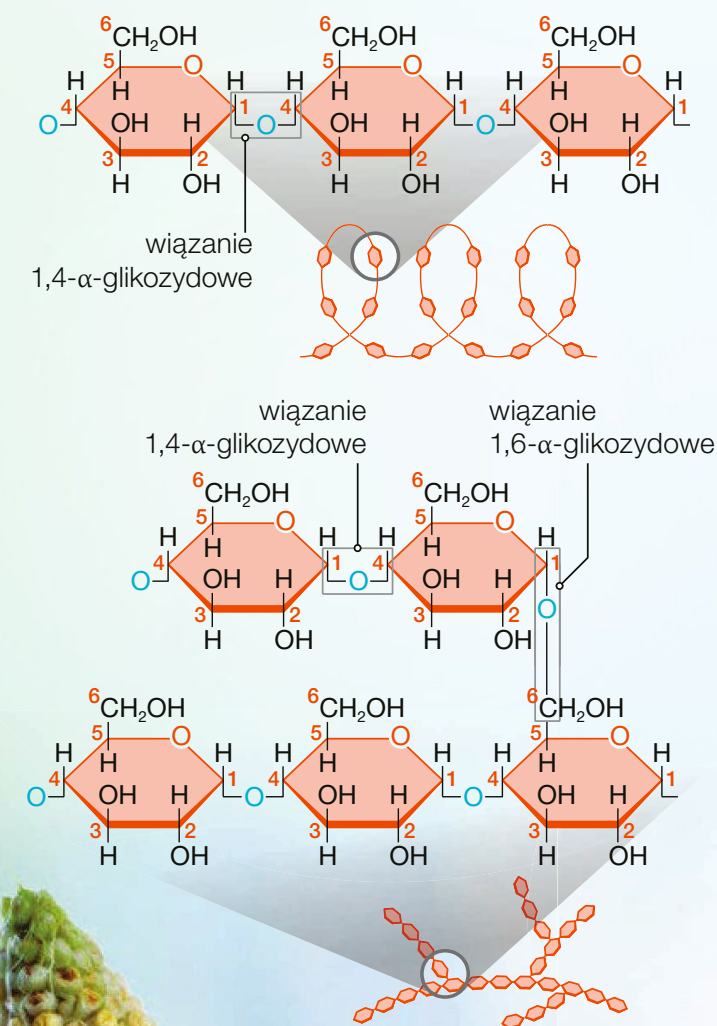
POLISACHARYDY O FUNKCJI ZAPASOWEJ

Do polisacharydów o funkcji zapasowej należą glikogen i skrobia. Oba cukry są enzymatycznie rozkładane do cząsteczek glukozy, które są z kolei wykorzystywane przez organizm jako źródło energii.

► Skrobia

Występuje głównie u roślin. Gromadzi się m.in. w nasionach oraz organach spichrzowych, np. w bulwach. Skrobia stanowi materiał zapasowy, ponieważ:

- jest rozkładana przez enzym amylazę wytwarzany m.in. w komórkach roślinnych,
- nierozgałęziona frakcja skrobi ma postać helisy, co ułatwia dostęp amylazy do wiązań α-glikozydowych,
- rozkład rozgałęzionej frakcji skrobi może zachodzić jednocześnie w wielu miejscach cząsteczki.



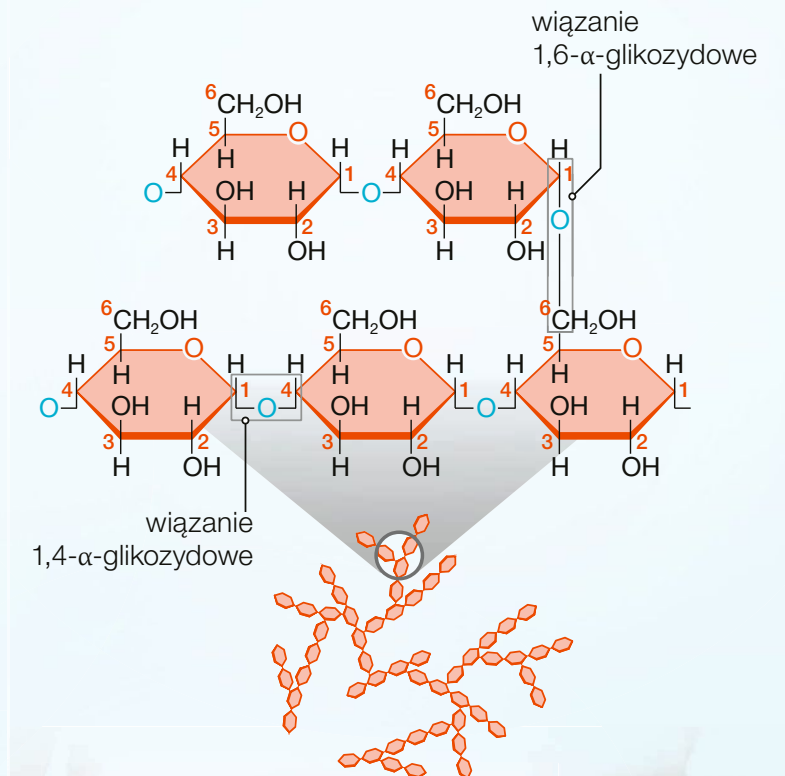
Skrobia występująca w ziarniakach kukurydzy stanowi magazyn energii dla zarodka i rozwijającej się siewki.



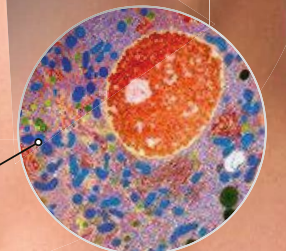
► Glikogen

Występuje u grzybów i zwierząt. W organizmie człowieka gromadzi się głównie w wątrobie oraz w mięśniach. Glikogen stanowi materiał zapasowy, ponieważ:

- jest rozkładany m.in. przez enzym fosforylazę glikogenową wytwarzany w komórkach zwierzęcych i grzybowych,
- jest silnie rozgałęziony, dzięki czemu jego rozkład może zachodzić jednocześnie w wielu miejscach cząsteczki.



Glikogen zawarty w wątrobie stanowi magazyn energii dla organizmu.





Wykrywanie cukrów redukujących w soku z winogron

- Problem badawczy:** Czy w soku z winogron znajdują się cukry redukujące?
- Hipoteza badawcza:** W soku z winogron znajdują się cukry redukujące.
- Przebieg obserwacji:** Przygotuj dwie próbówki – A i B. Do próbówki A wlej 2 cm³ soku z winogron, dodaj taką samą objętość odczynników Fehlinga (I i II), a następnie podgrzej próbówkę nad palnikiem. Do próbówki B wlej 2 cm³ 10-procentowego roztworu glukozy, dodaj taką samą objętość odczynników Fehlinga (I i II), po czym podgrzej próbówkę nad palnikiem.

Próba badawcza: Probówka A zawierająca sok z winogron i odczynniki Fehlinga (I i II), podgrzana nad palnikiem.

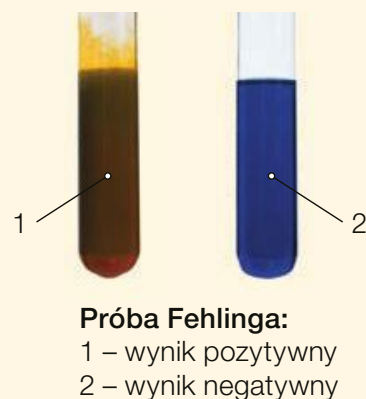


Próba kontrolna: Probówka B zawierająca roztwór glukozy i odczynniki Fehlinga (I i II), podgrzana nad palnikiem.



- Wynik obserwacji:** Zaobserwuj zmiany zabarwienia roztworów i wytrącenie się osadu.
- Wniosek:** Sformułuj wniosek.

Wyjaśnienie: W wyniku zmieszania odczynników Fehlinga I i II powstaje nietrwały wodorotlenek miedzi(II) – Cu(OH)₂ – o niebieskiej barwie, który pozwala wykryć obecność cukrów redukujących, czyli zawierających w cząsteczce wolną grupę aldehydową. Grupa aldehydowa redukuje Cu(OH)₂ do Cu₂O, który wytrąca się z roztworu w postaci ceglastoczerwonego osadu. Do cukrów redukujących zalicza się wszystkie monosacharydy, łącznie z fruktozą, która należy do ketoz (fuktoza ma bowiem zdolność łatwego przekształcania się w glukozę). Cukrami redukującymi są również maltoza i laktoza.



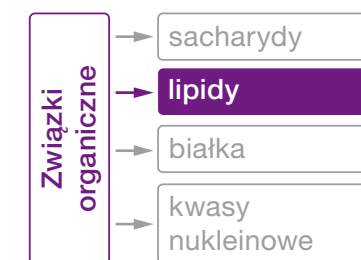
Polecenia kontrolne

- Określ, czy za pomocą próby Fehlinga można odróżnić roztwór glukozy od roztworu maltozy. Odpowiedź uzasadnij.
- Wyjaśnij, dlaczego skrobia i celuloza pełnią w organizmach odmienne funkcje. Odpowiedź uzasadnij, odnosząc się do budowy obu cukrów.
- Zaproponuj sposób, który umożliwi:
 - wykrycie skrobi w owocach banana,
 - wykrycie cukrów prostych w owocach banana.

2.3. Budowa i funkcje lipidów

Ważne w tym temacie!

- związek między budową a właściwościami lipidów
- funkcje lipidów w organizmach



Lipidy (tłuszczowce) składają się zwykle z węgla (C), wodoru (H) i tlenu (O). Niektóre z nich mogą zawierać również azot (N) oraz fosfor (P).

Ze względu na niepolarną budowę cząsteczek lipidy należą do związków **hydrofobowych**, czyli nierozpuszczalnych w wodzie. Rozpuszczają się natomiast w rozpuszczalnikach niepolarnych, np. benzynie. Gęstość lipidów jest mniejsza od gęstości wody, dlatego związki te tworzą na powierzchni wody oddzielną warstwę.

Podział lipidów ze względu na skład chemiczny i budowę cząsteczki

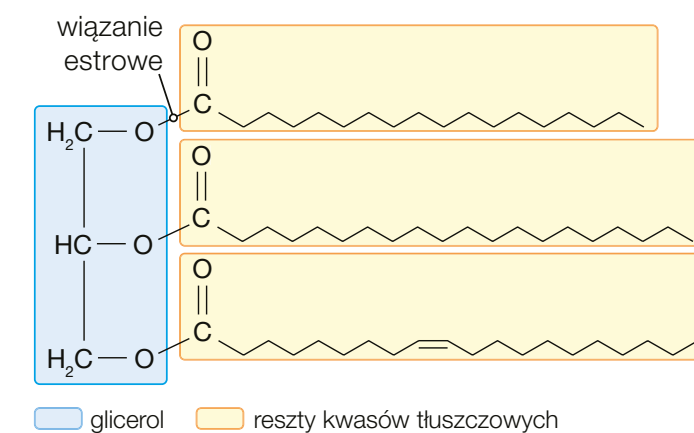
lipidy proste	lipidy złożone	lipidy izoprenowe
- tłuszcze właściwe - woski	- fosfolipidy - glikolipidy	- steroidy - karotenoidy

Lipidy proste

Lipidy proste są estrami alkoholi (mono- lub polihydroksylowych) oraz kwasów karboksylowych. W tłuszczach właściwych (triglicerydach) występuje alkohol trihydroksylowy – **glicerol** – który tworzy wiązania estrowe z trzema cząsteczkami **kwasów karboksylowych**.

Kwasy karboksylowe wchodzące w skład tłuszczów właściwych określa się mianem **kwasów tłuszczowych**. Zawierają one zwykle parzystą liczbę atomów węgla i są zbudowane z długich łańcuchów węglowodorowych oraz jednej grupy karboksylowej. Kwasy tłuszczowe mogą być **nasycone**, jeśli między atomami węgla występują wyłącznie wiązania pojedyncze, lub **nienasycone**, jeśli zawierają co najmniej jedno wiązanie podwójne. Proporcje kwasów tłuszczowych nasyconych i nienasyconych wpływają

na stan skupienia tłuszczów. W tłuszczach stałych przeważają nasycone kwasy tłuszczowe, a w tłuszczach ciekłych (olejach) – kwasy nienasycone. Zwierzęta wytwarzają zwykle tłuszcze stałe, a rośliny – tłuszcze ciekłe.



Budowa cząsteczki tłuszczu właściwego.

Funkcje tłuszczów właściwych

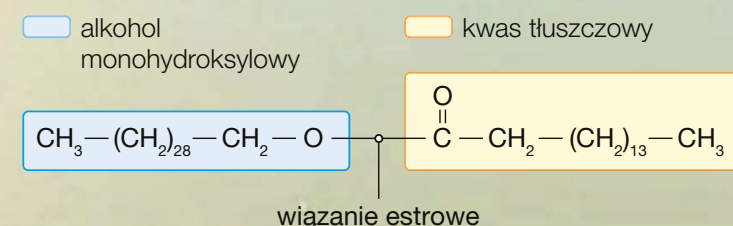
U zwierząt tłuszcze właściwe są magazynowane w tkance tłuszczowej. W organizmach kręgowców tkanka ta znajduje się głównie pod skórą oraz otacza niektóre narządy wewnętrzne. Do funkcji tłuszczów właściwych należą:

- funkcja zapasowa** – stanowią magazyn energii wykorzystywany podczas głodu lub wysiłku fizycznego,
- funkcja termoizolacyjna** – zabezpieczają organizm przed nadmierną utratą ciepła,
- funkcja termoregulacyjna** – umożliwiają efektywne wytwarzanie ciepła,
- funkcja ochronna** – chronią narządy wewnętrzne przed urazami mechanicznymi.

U roślin tłuszcze właściwe występują głównie w nasionach, gdzie są źródłem energii i związków budulcowych dla rozwijającego się zarodka, a następnie siewki.

Lipidy proste – woski

Woski są estrami długołańcuchowych alkoholi monohydroksylowych oraz kwasów tłuszczowych. Pełnią one w organizmach różne funkcje, głównie ochronne i budulcowe.



Budowa wosku pszczelego.

Woski pokrywają pióra ptaków, tworząc na ich powierzchni nieprzemakalną powłokę. Warstwa wosków jest szczególnie gruba u ptaków związanych ze środowiskiem wodnym. Ułatwia ona pływanie, zapobiega utracie ciepła, a także chroni pióra przed przemoczeniem, które utrudnia latanie.



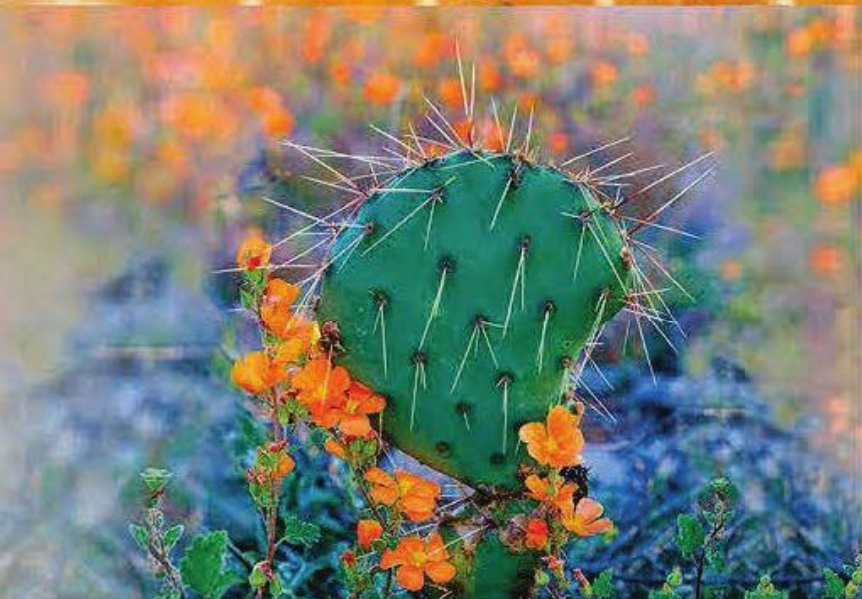
Woski pokrywają sierść ssaków, np. lanolina jest woskiem wełny owczej. Jej funkcją jest ochrona skóry owiec przed niekorzystnymi warunkami atmosferycznymi.



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

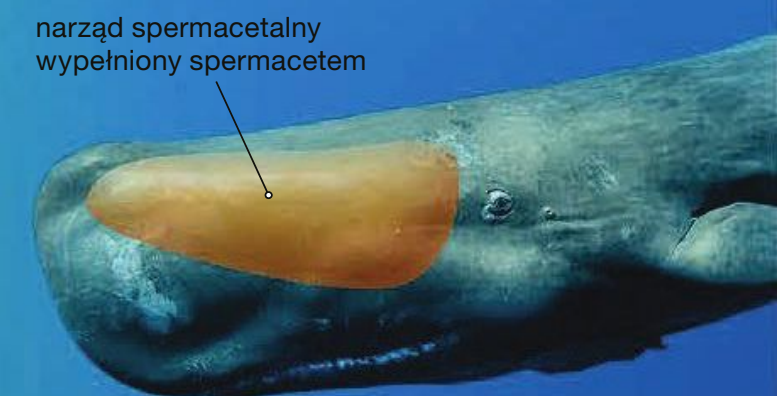


Woski wchodzi w skład kutykuli – warstwy lipidowej, która pokrywa nadziemne organy roślin, m.in. łodygi i liście. Kutykula zabezpiecza rośliny przed nadmiernym wyparowywaniem wody. U niektórych roślin (np. kaktusów) na powierzchni kutykuli występuje dodatkowa warstwa wosków, która odbija promienie słoneczne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



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 zanurzenie. Podczas wynurzenia zachodzi odwrotny proces – pod wpływem wyższej temperatury spermacet się topi, co zwiększa siłę wyporu i ułatwia wynurzenie się kaszalota.

narząd spermacetalny wypełniony spermacetem



Lipidy złożone

Do lipidów złożonych zalicza się fosfolipidy i glikolipidy.

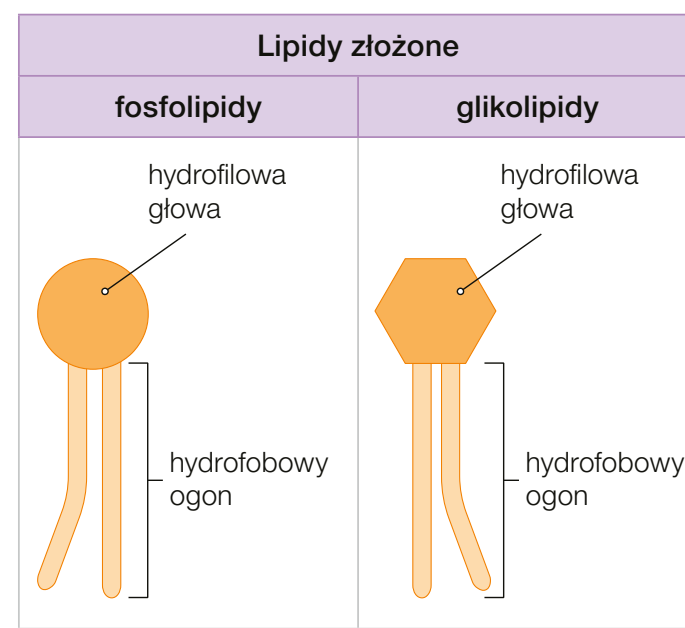
► **Fosfolipidy** składają się z alkoholu polihydroksylowego (glicerolu lub sfingozyny) połączonego z jedną lub dwiema resztami kwasów tłuszczowych, a także z resztą fosforanową(V). Do reszty fosforanowej(V) jest przyłączony niewielki polarny związek (np. etanolamina, cholina lub seryna).

► **Glikolipidy** składają się z alkoholu polihydroksylowego (glicerolu lub sfingozyny) połączonego z jedną lub dwiema resztami kwasów tłuszczowych oraz z cukrem (np. glukozą lub galaktozą).

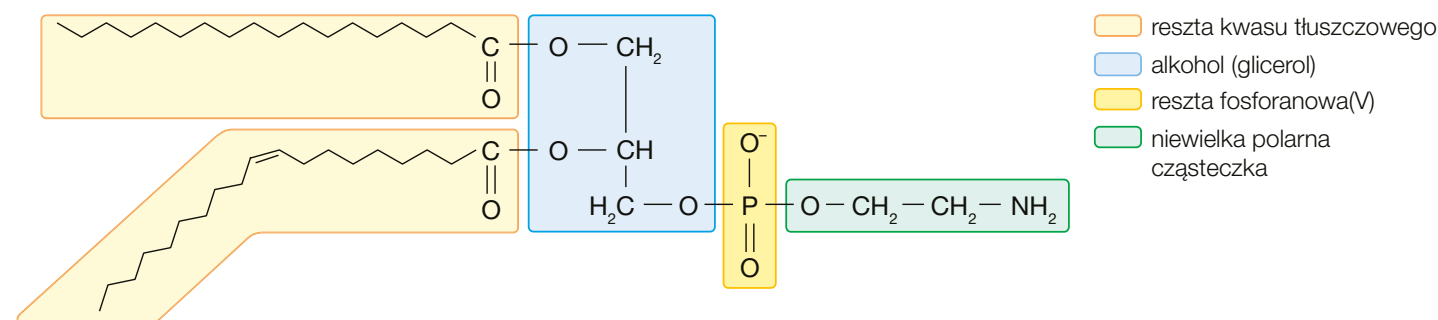
Lipidy złożone mają **właściwości amfipatyczne**. Oznacza to, że w pojedynczej cząsteczce można wyróżnić zarówno fragment o właściwościach hydrofobowych – tzw. **ogon** – jak i fragment o właściwościach hydrofilowych – tzw. **głowę**. Ogon lipidów złożonych jest zbudowany z niepolarnych węglowodorowych łańcuchów kwasów tłuszczowych (lub kwasu tłuszczowego

i sfingozyny). Z kolei głowę tworzy pozostały – polarny – fragment cząsteczki.

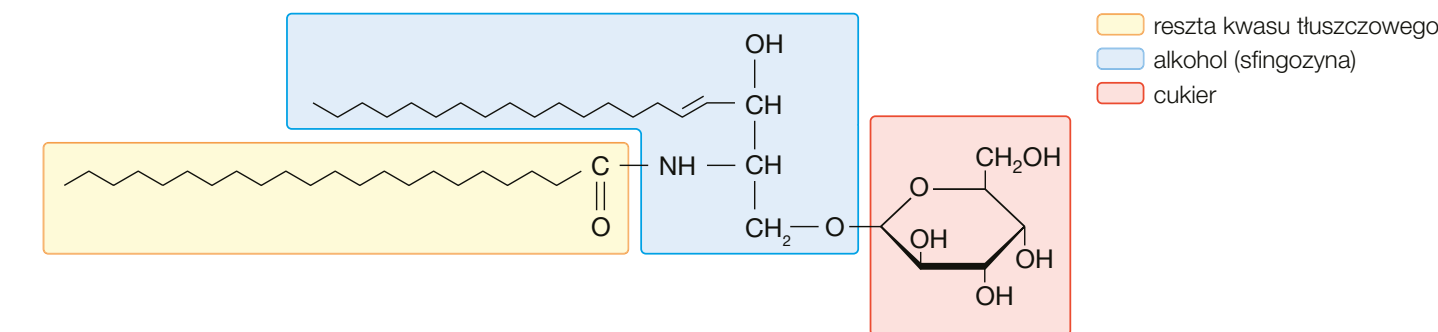
Ze względu na właściwości amfipatyczne lipidy złożone, które znajdują się w środowisku wodnym, zbliżają się do siebie hydrofobowymi ogonami i tworzą duże uporządkowane skupienia. Dzięki temu związki te stanowią podstawowy składnik błon biologicznych.



Budowa fosfolipidu zawierającego glicerol



Budowa glikolipidu zawierającego sfingozynę



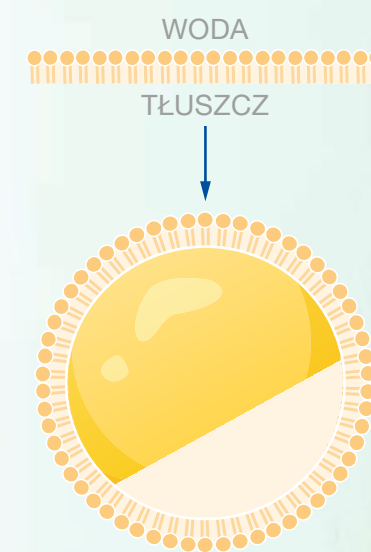
¹ **Sfingozyna** – alkohol dihydroksylowy zawierający w cząsteczce grupę aminową.

Warstwy fosfolipidowe

Amfipatyczny charakter fosfolipidów sprawia, że w roztworach wodnych spontanicznie tworzą one uporządkowane warstwy. Powstawanie tych warstw jest uwarunkowane m.in. **oddziaływaniami hydrofobowymi** między ogonami fosfolipidów a cząsteczkami wody, a także **wiązaniami wodorowymi** między głowami fosfolipidów a cząsteczkami wody.

Monowarstwa fosfolipidowa

Monowarstwa fosfolipidowa to błona zbudowana z jednej warstwy cząsteczek fosfolipidów. Okrywa ona m.in. krople tłuszczu zgromadzone w komórkach tkanki tłuszczowej.



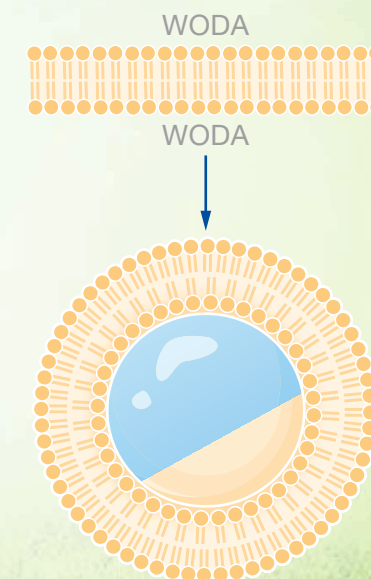
W monowarstwie fosfolipidowej hydrofilowe głowy zwracają się w stronę środowiska wodnego, a hydrofobowe ogony – w stronę tłuszczu.

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

tłuszcze właściwe

Dwuwarstwa fosfolipidowa

Dwuwarstwa fosfolipidowa to błona zbudowana z dwóch równoległych monowarstw fosfolipidowych. Okrywa ona m.in. komórki (błona komórkowa) oraz większość organelli (błony organelliowe).



W dwuwarstwie fosfolipidowej hydrofilowe głowy zwracają się w stronę środowiska wodnego, a hydrofobowe ogony układają się naprzeciw siebie.

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

dwuwarstwa fosfolipidowa

Lipidy izoprenowe

Lipidy izoprenowe to produkty kondensacji pięciowęglowego węglowodoru – izoprenu. Należą do tłuszczowców ze względu na hydrofobowość cząsteczek oraz dobrą rozpuszczalność w rozpuszczalnikach niepolarnych. Lipidy izoprenowe są bardzo zróżnicowane pod względem struktury oraz pełnionych funkcji biologicznych. Zalicza się do nich m.in. karotenoidy oraz steroidy.

Karotenoidy

Do karotenoidów należą czerwone i pomarańczowe karoteny oraz żółte ksantofile. Są one wytwarzane w komórkach organizmów fotosyntetyzujących, głównie w komórkach roślinnych. Szczególnie dużą zawartością karotenoidów cechują się liście.

Funkcje karotenoidów:

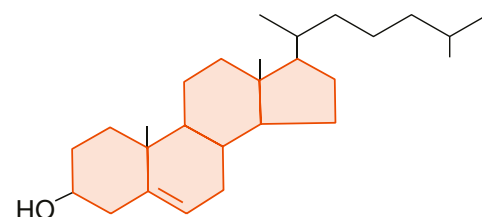
- biorą udział w fotosyntezie jako barwniki pomocnicze towarzyszące chlorofilom,
- są przeciwutleniaczami (antyoksydantami) – chronią związki chemiczne wchodzące w skład chloroplastów przed szkodliwym działaniem reaktywnych form tlenu², które powstają podczas fotosyntezy,
- odgrywają istotną rolę w interakcjach ekologicznych między roślinami a zwierzętami; znajdują się m.in. w płatkach kwiatów oraz mięsistych owocach, a ich funkcją jest przywabianie zwierząt, które przenoszą pyłek i rozsiewają nasiona.



Atrakcyjne barwy kwiatów przywabiają zwierzęta zapylające, m.in. motyle.

Steroidy

Steroidy są związkami o pierścieniowej budowie i niemal płaskich cząsteczkach. Głównym steroidem zwierzęcym jest **cholesterol**, który występuje m.in. w **błonach komórkowych** i w **żółci**. Cholesterol jest również substancją wyjściową do syntezy wielu ważnych związków, m.in. **solii żółciowych**, **hormonów steroidowych** oraz **witaminy D₃**.



Cholesterol wnika między fosfolipidy i glikolipidy błon biologicznych, ponieważ w jego skład wchodzi cztery hydrofobowe pierścienie oraz hydrofobowy łańcuch węglowodorowy.

Funkcje steroidów roślinnych:

- wchodzi w skład błon komórkowych komórek roślinnych,
 - chronią organy roślinne przed zgryzaniem – nadają im gorzki smak lub właściwości toksyczne.
- Niektóre rośliny zawierają w komórkach steroidy zwane **fitoekdyzonami**. Działają one podobnie do ekdyzonu – hormonu linienia wytwarzanego przez owady. Dzięki temu przyspieszają przeobrażenie liściożernych larw w postaci dorosłe, które odżywiają się nektarem kwiatów.

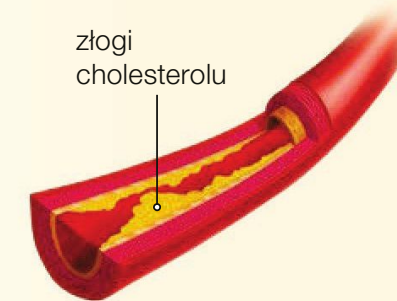


Larwy motyli, zwane również gąsienicami, wygryzają blaszki liściowe, co prowadzi do obumierania roślin.

Dwie twarze cholesterolu

Cholesterol jest związkiem niezbędnym do prawidłowego funkcjonowania organizmu człowieka, ponieważ m.in. stanowi substrat do syntezy hormonów steroidowych czy witaminy D₃. Jednocześnie 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 tętnic 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.

Biologia
w medycynie



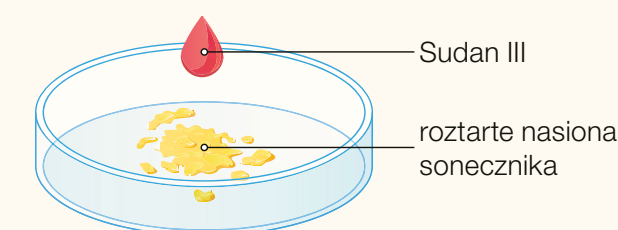
Zatkane tętnice wieńcowe blokują przepływ krwi do mięśnia sercowego, co powoduje jego niedotlenienie.



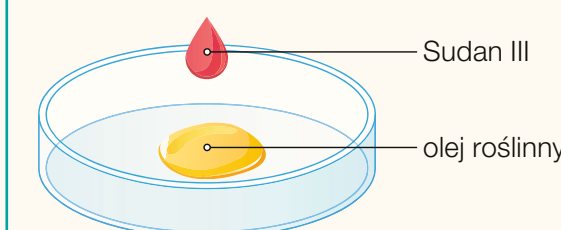
Wykrywanie tłuszczów w nasionach słonecznika

- 1 Problem badawczy:** Czy w nasionach słonecznika znajdują się tłuszcze?
- 2 Hipoteza badawcza:** W nasionach słonecznika znajdują się tłuszcze.
- 3 Przebieg obserwacji:** Przygotuj dwie szalki A i B. Na szalce A umieść próbkę roztartych w moździerzu nasion słonecznika i dodaj kroplę odczynnika Sudan III. Na szalce B umieść 1 cm³ oleju roślinnego i dodaj kroplę odczynnika Sudan III.

Próba badawcza: Szalka A zawierająca roztarte nasiona słonecznika i odczynnik Sudan III.



Próba kontrolna: Szalka B zawierająca olej roślinny i odczynnik Sudan III.



- 4 Wynik obserwacji:** Zaobserwuj zmiany zabarwienia materiału biologicznego w obu próbach. Obserwację próby badawczej przeprowadź za pomocą mikroskopu.
- 5 Wniosek:** Sformułuj wniosek.

Wyjaśnienie: Syntetyczny barwnik – Sudan III – barwi krople tłuszczu na czerwono.

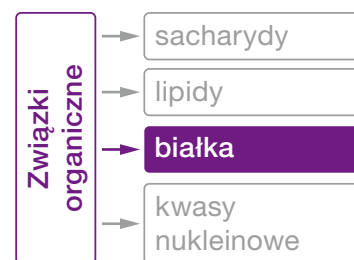
Polecenia kontrolne

1. Wymień trzy funkcje tłuszczów właściwych u zwierząt.
2. Porównaj budowę lipidów prostych z budową lipidów 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.

2.4. Aminokwasy. Budowa i funkcje białek

Ważne w tym temacie!

- budowa i poziomy struktury przestrzennej białek
- białka proste i białka złożone
- funkcje wybranych białek w organizmie



Aminokwasy to związki organiczne o niewielkich cząsteczkach. W komórkach mogą występować w stanie wolnym lub łączyć się ze sobą, tworząc związki o charakterze polimerów – peptydy i białka.

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 chemiczne. Cechą charakterystyczną aminokwasów jest obecność dwóch grup funkcyjnych – kwasowej **grupy karboksylowej** (–COOH) oraz zasadowej **grupy aminowej** (–NH₂). Dotychczas poznano ponad 300 różnych aminokwasów. Wśród nich wyróżnia się:

- ▶ **aminokwasy białkowe**, które w odpowiednich warunkach mogą się ze sobą łączyć, tworząc peptydy lub białka; do tej grupy należy 20 aminokwasów,
- ▶ **aminokwasy niebiałkowe**, które nie wchodzi w skład białek; do tej grupy należą pozostałe aminokwasy.

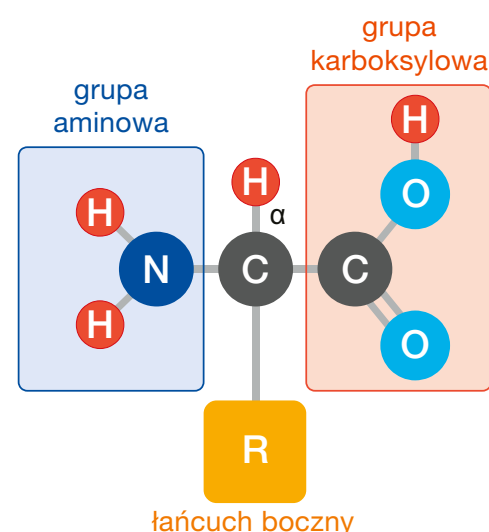
Aminokwasy niebiałkowe, mimo że nie wchodzi w skład białek, pełnią w organizmach ważne funkcje. Na przykład kwas γ-aminomasłowy (kwas gamma-aminomasłowy, w skrócie GABA) przekazuje informacje w układzie nerwowym.

Każdy aminokwas ma określoną nazwę chemiczną, a zwykle również – nazwę zwyczajową. Nazwa zwyczajowa aminokwasu pochodzi często od nazwy materiału biologicznego, 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, np. kod asparaginy to Asn (ang. *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 nazywa się **atomem węgla α** (alfa), a aminokwasy zbudowane w ten sposób – **α-aminokwasami**. Z atomem węgla α są również połączone **atom wodoru** oraz **łańcuch boczny**, określane symbolem R. Łańcuch boczny może być pojedynczym atomem wodoru, łańcuchem lub pierścieniem. W obrębie łańcucha bocznego mogą znajdować się dodatkowe grupy funkcyjne, m.in. grupa karboksylowa, aminowa, hydroksylowa (–OH) lub tiolowa (–SH).



W α-aminokwasie centralnie usytuowany atom węgla jest połączony kowalencyjnie z grupami aminową i karboksylową, a także z atomem wodoru i łańcuchem bocznym.

Właściwości aminokwasów białkowych

Właściwości aminokwasów białkowych wynikają z ich budowy chemicznej – z obecności dwóch grup funkcyjnych oraz łańcucha bocznego.

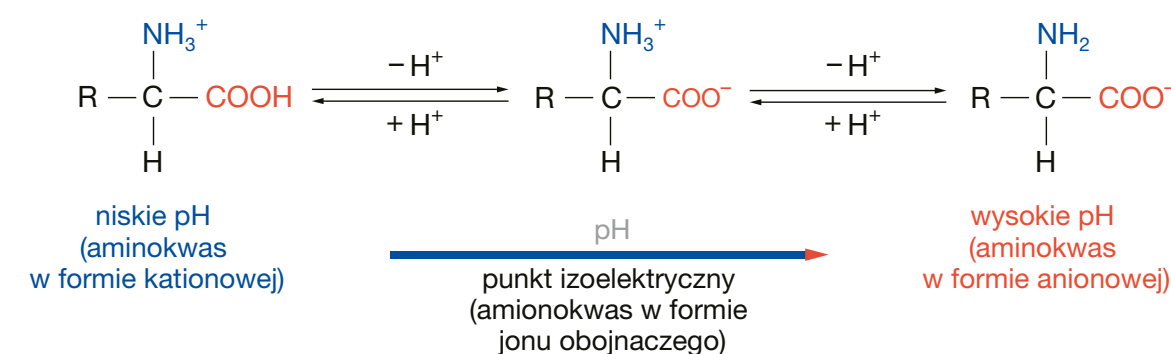
Grupy funkcyjne nadają aminokwasom charakter kwasowo-zasadowy

Aminokwasy są związkami kwasowo-zasadowymi, ponieważ mają kwasową grupę karboksylową, która może oddawać proton (H⁺), oraz zasadową grupę aminową, która może przyjmować proton. Dzięki temu w zależności od pH środowiska aminokwasy tworzą trzy rodzaje jonów:

- ▶ **jony obojętne**, 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.

Wartość pH środowiska, w której aminokwas występuje głównie w postaci jonu obojętnego, nosi nazwę **punktu izoelektrycznego (pI)**.

Cytosol komórki i płyny ustrojowe mają odczyn zbliżony do obojętnego, dlatego większość wolnych aminokwasów występuje w nich w formie jonów obojętnych. Jony te pełnią m.in. **funkcję buforującą** – utrzymują względnie stałe pH środowiska wewnętrznego. Gdy ulega ono zakwaszeniu, jony obojętne przechodzą w kationy, a gdy ulega alkalizacji – przechodzą w aniony.



Wpływ pH środowiska na postać jonową aminokwasów. W roztworze kwasowym (niskie pH) aminokwasy występują głównie w postaci kationów. W roztworze zasadowym (wysokie pH) aminokwasy występują głównie w postaci anionów. W roztworze zbliżonym do obojętnego (pośrednie pH) większość aminokwasów występuje głównie w postaci jonów obojętnych.

Łańcuchy boczne nadają aminokwasom charakterystyczne właściwości

Każdy z 20 rodzajów aminokwasów białkowych ma inne właściwości wynikające z odmiennej budowy chemicznej łańcuchów bocznych. W obrębie łańcuchów bocznych mogą znajdować się dodatkowe grupy funkcyjne, m.in. grupa karboksylowa lub grupa aminowa, która nadaje aminokwasom charakter odpowiednio kwasowy lub zasadowy.

- ▶ **Aminokwasy obojętne** mają jedną grupę karboksylową i jedną grupę aminową. Należy do nich większość aminokwasów białkowych.
- ▶ **Aminokwasy kwasowe** mają dodatkową grupę karboksylową, zlokalizowaną w obrębie łańcucha bocznego.
- ▶ **Aminokwasy zasadowe** mają dodatkową grupę aminową (lub kilka grup aminowych), zlokalizowaną w obrębie łańcucha bocznego. Struktura łańcucha bocznego ma również wpływ na rozpuszczalność danego aminokwasu w wodzie, dlatego związki te można podzielić na:
- ▶ **rozpuszczalne w wodzie** (aminokwasy hydrofilowe),
- ▶ **nierozpuszczalne w wodzie** (aminokwasy hydrofobowe).

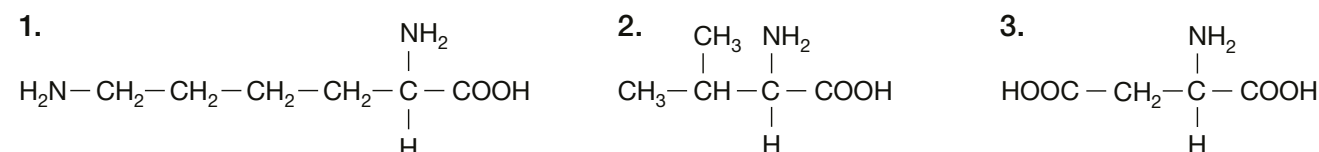
Aminokwasy hydrofobowe charakteryzują się zwykle węglowodorowymi łańcuchami bocznymi. nierozpuszczalne w wodzie są także tryptofan i metionina. Wszystkie pozostałe aminokwasy białkowe mają właściwości hydrofilowe.

Samouczek

Rozróżnianie aminokwasów obojętnych, kwasowych i zasadowych, a także aminokwasów hydrofilowych i hydrofobowych

Przykład

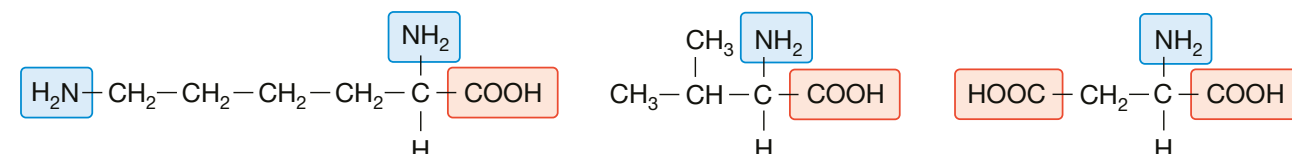
Poniżej przedstawiono wzory półstrukturalne trzech aminokwasów białkowych.



- Ustal, który z aminokwasów jest aminokwasem obojętnym, który – kwasowym, a który – zasadowym.
- Ustal, który z aminokwasów jest aminokwasem hydrofobowym.

Podpunkt a Krok 1

Zaznacz we wzorach wszystkie grupy karboksylowe i wszystkie grupy aminowe.



- Aminokwasy obojętne mają jedną grupę karboksylową i jedną grupę aminową.
- Aminokwasy kwasowe mają więcej niż jedną grupę karboksylową.
- Aminokwasy zasadowe mają więcej niż jedną grupę aminową.

Krok 2

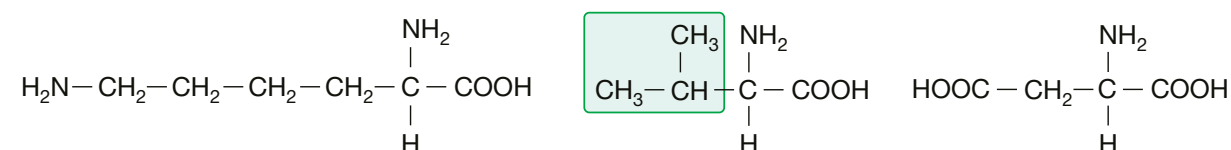
Korzystając ze wskazówki, ustal, który z aminokwasów jest aminokwasem obojętnym, który – kwasowym, a który – zasadowym.

Odpowiedź:

Aminokwas obojętny: 2, aminokwas kwasowy: 3, aminokwas zasadowy: 1.

Podpunkt b Krok 1

Zaznacz we wzorach wszystkie łańcuchy boczne zbudowane wyłącznie z węgla i wodoru.



- Aminokwasy hydrofobowe mają zwykle węglowodorowe łańcuchy boczne.

Krok 2

Korzystając ze wskazówki, ustal, który z aminokwasów jest aminokwasem hydrofobowym.

Odpowiedź:

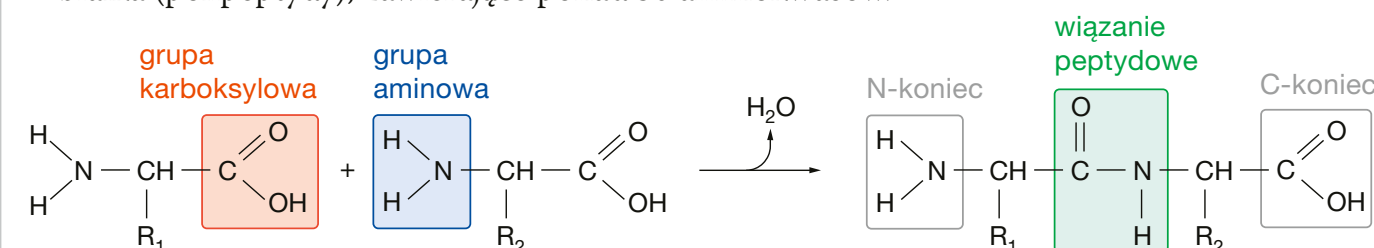
Aminokwas hydrofobowy: 2.

Wiązania peptydowe

Aminokwasy białkowe mogą łączyć się ze sobą wiązaniami peptydowymi. Wiązania te tworzą się między grupą karboksylową połączoną z atomem węgla α jednego aminokwasu a grupą aminową połączoną z atomem węgla α drugiego aminokwasu. W efekcie powstaje polarny łańcuch peptydowy: na jednym jego końcu (N) znajduje się wolna grupa aminowa, a na drugim końcu (C) – wolna grupa karboksylowa. Sekwencję aminokwasową łańcucha peptydowego zapisuje się od N-końca do C-końca.

W zależności od liczby aminokwasów wchodzących w skład łańcucha wyróżnia się:

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



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

Poziomy struktury przestrzennej białek

Większość białek to związki o dużych cząsteczkach i skomplikowanej strukturze przestrzennej. Wyróżnia się cztery poziomy tej struktury, przy czym najwyższym poziomem może być struktura trzeciorzędowa (np. mioglobina) lub struktura czwartorzędowa (np. hemoglobina).

Struktura pierwszorzędowa (I-rzędowa)
to liczba, rodzaj i kolejność aminokwasów w łańcuchu polipeptydowym.

Struktura drugorzędowa (II-rzędowa)
to przestrzenne pofałdowanie odcinków łańcucha polipeptydowego w α -helisę lub β -harmonijkę.

Struktura trzeciorzędowa (III-rzędowa)
to przestrzenne pofałdowanie całego łańcucha polipeptydowego o strukturze drugorzędowej.

Struktura czwartorzędowa (IV-rzędowa)
to wzajemne ułożenie osobnych łańcuchów polipeptydowych (podjednostek) o strukturze trzeciorzędowej.

Rodzaje białek

Ze względu na kształt cząsteczki białka dzieli się na fibrylarne oraz globularne.

▶ **Białka fibrylarne**, np. kolagen, składają się zwykle z kilku łańcuchów polipeptydowych połączonych w długie włókna. Nie rozpuszczają się one w wodzie, cechują się także znaczną wytrzymałością mechaniczną. Z tego powodu pełnią najczęściej funkcję budulcową lub ochronną.

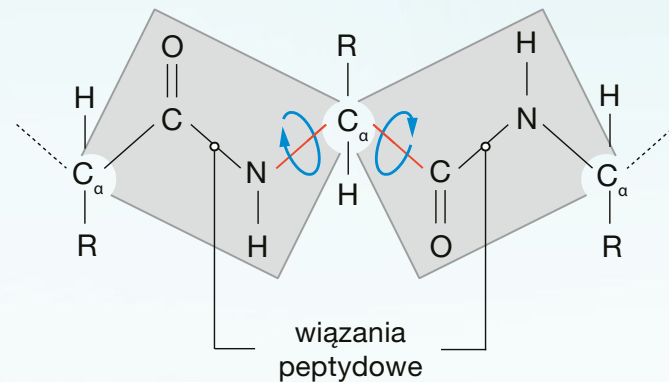
▶ **Białka globularne**, np. histony, mają kształt zbliżony do kulistego. Większość z nich dobrze rozpuszcza się w wodzie i swobodnie przemieszcza się w obrębie komórek oraz płynów ustrojowych. Białka globularne pełnią najczęściej funkcje metaboliczne lub fizjologiczne. Ze względu na skład chemiczny białka dzieli się na proste oraz złożone.

▶ **Białka proste**, np. albumina osocza krwi, są zbudowane wyłącznie z aminokwasów.

▶ **Białka złożone** są zbudowane z aminokwasów i grup zawierających m.in. jony metali (np. żelazo w ferrytynie), małe cząsteczki związków nieorganicznych (np. hem w hemoglobinie) lub cząsteczki związków organicznych (np. cukier w fibrynogenie).

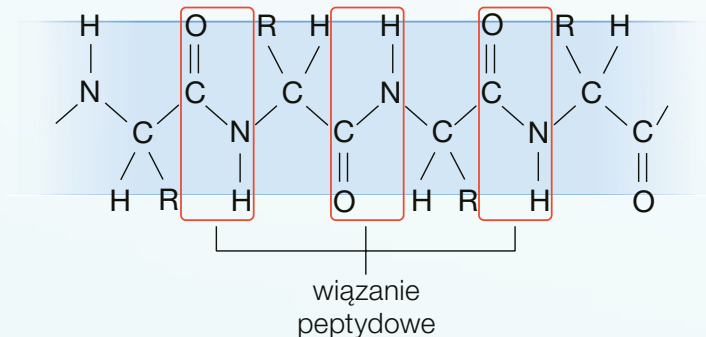
Struktura przestrzenna białek

Wiązania peptydowe łączące kolejne aminokwasy w łańcuchu polipeptydowym są sztywne i płaskie. Jednak wiązania tworzone przez atomy węgla α umożliwiają obroty łańcucha i jego swobodne układanie się w przestrzeni. Dzięki temu cząsteczki białek mogą przyjmować różne formy przestrzenne.



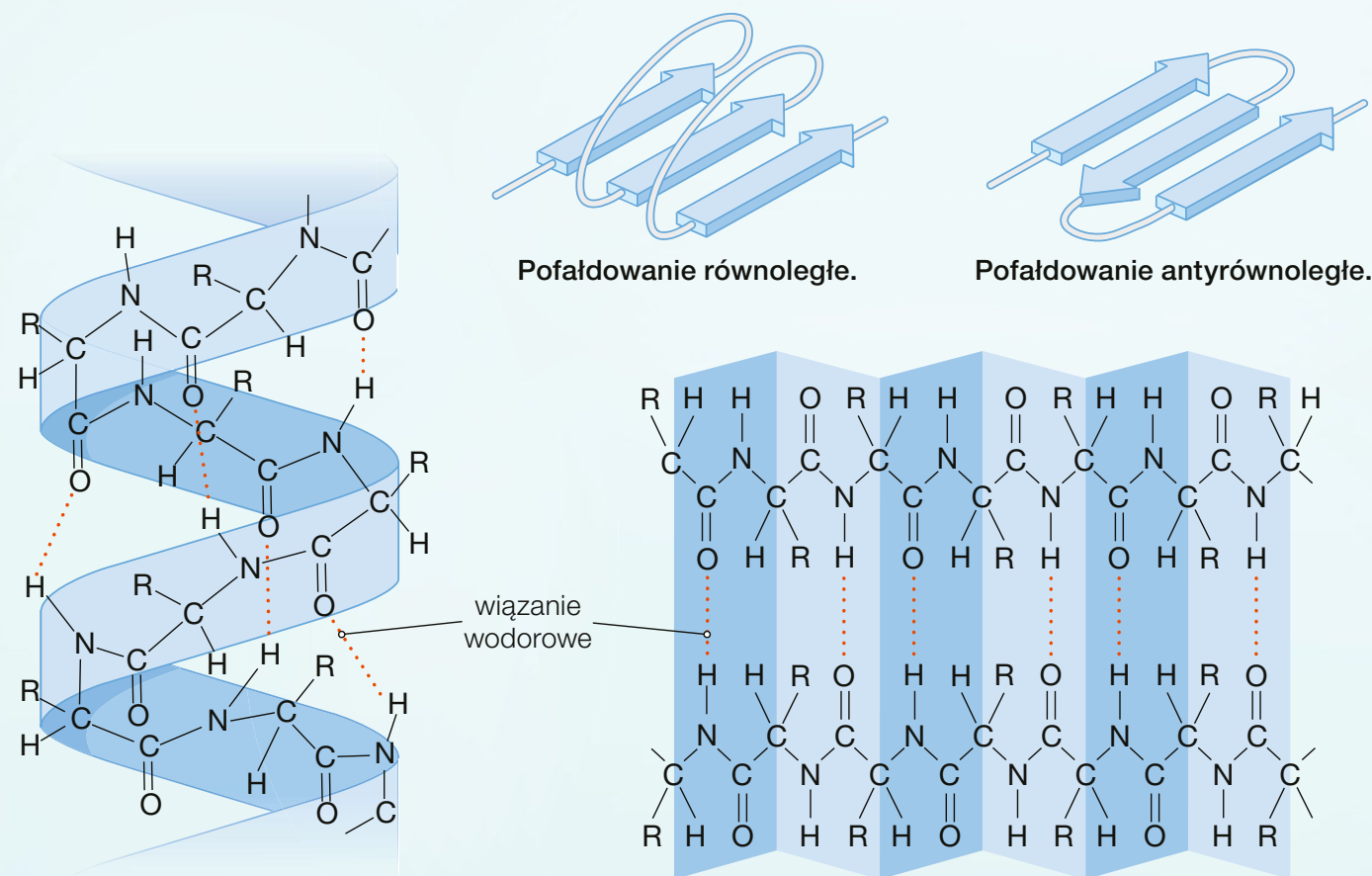
Struktura pierwszorzędowa

Struktura pierwszorzędowa to liczba, rodzaj i kolejność aminokwasów w łańcuchu polipeptydowym. Strukturę tę utrzymują **wiązania peptydowe** między sąsiadującymi aminokwasami.



Struktura drugorzędowa

W strukturze drugorzędowej odcinki łańcucha polipeptydowego są sfaldowane przestrzennie w α -helisę lub β -harmonijkę. Strukturę tę utrzymują **wiązania wodorowe**, które tworzą się między grupami $>N-H$ a grupami $>C=O$ wchodzącymi w skład wiązań peptydowych.

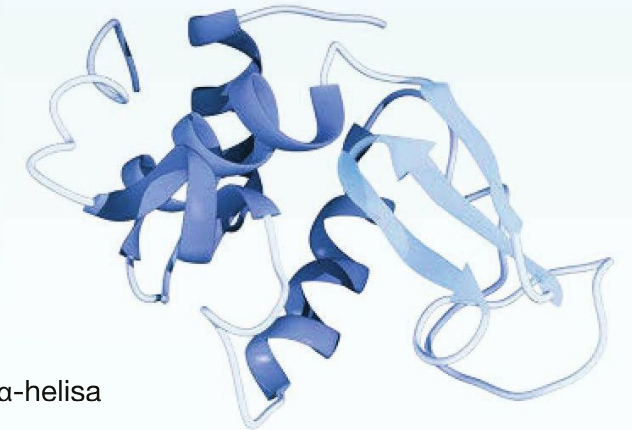


Struktura α -helisy powstaje wskutek prawoskrętnego zwinięcia łańcucha polipeptydowego wokół osi.

Struktura β -harmonijki powstaje wskutek równoległego lub antyrównoległego pofałdowania łańcucha polipeptydowego.

Struktura trzeciorzędowa

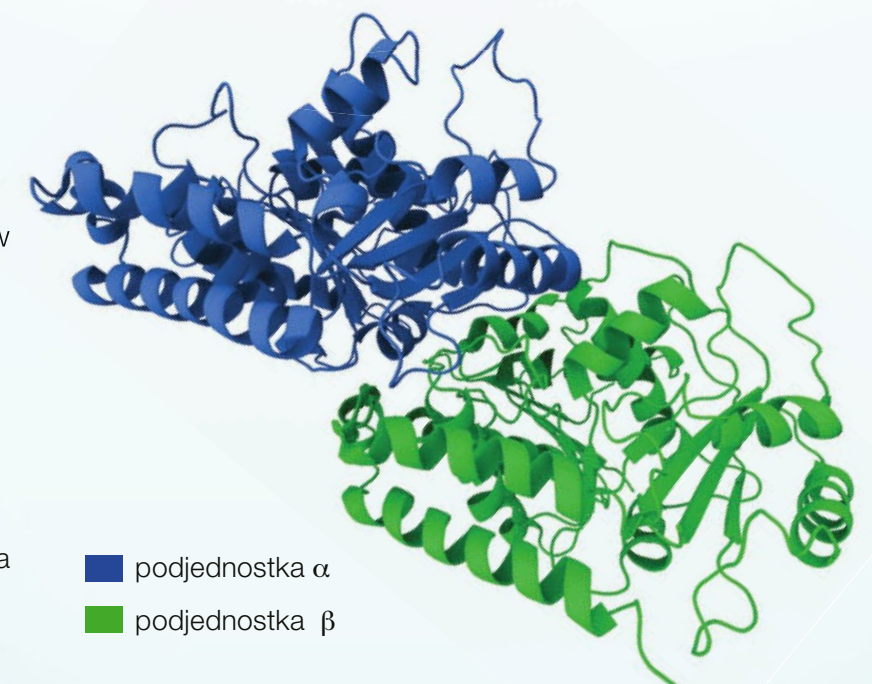
Struktura trzeciorzędowa tworzy się w wyniku pofałdowania całego łańcucha polipeptydowego o strukturze drugorzędowej. Utrzymują ją głównie **oddziaływania między łańcuchami bocznymi aminokwasów**. Każde białko charakteryzuje się właściwą sobie strukturą trzeciorzędową, która określa jego kształt i odpowiada za aktywność metaboliczną.



Struktura trzeciorzędowa (model wstęgowy) jest najwyższym poziomem struktury przestrzennej lizozymu – białka uczestniczącego w procesach odpornościowych.

Struktura czwarterzędowa

Struktura czwarterzędowa występuje w białkach zbudowanych z dwóch lub większej liczby podjednostek, czyli łańcuchów polipeptydowych o strukturze trzeciorzędowej. Utrzymują ją głównie **oddziaływania między łańcuchami bocznymi aminokwasów** należących do oddzielnych łańcuchów polipeptydowych.

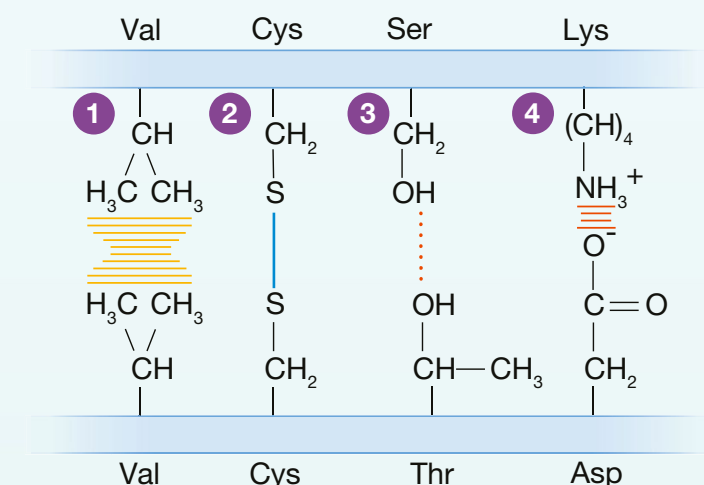


Strukturą czwarterzędową (model wstęgowy) cechuje się białko tubulina, które buduje mikrotubule – włókna cytoszkieletu. Cząsteczka tubuliny jest dimerem – składa się z dwóch podjednostek.

Rodzaje oddziaływań utrzymujących trzecio- i czwarterzędową strukturę białka

Trzecio- i czwarterzędową strukturę białka stabilizują: oddziaływania hydrofobowe, wiązania disiarczkowe, wiązania jonowe oraz wiązania wodorowe.

- 1 Oddziaływania hydrofobowe** powstają między łańcuchami bocznymi aminokwasów hydrofobowych. Łańcuchy te unikają kontaktu ze środowiskiem wodnym, dlatego spontanicznie zbliżają się do siebie i układają wewnątrz cząsteczki białka.
- 2 Wiązania disiarczkowe** powstają między grupami $-SH$ cząsteczek cysteiny. Atomy wodoru tych grup mogą się odłączać, a między atomami siarki tworzy się wiązanie kowalencyjne.
- 3 Wiązania wodorowe** powstają między atomem wodoru jednego aminokwasu polarnego a atomem tlenu lub azotu innego aminokwasu polarnego.
- 4 Wiązania jonowe** powstają między grupą aminową aminokwasów zasadowych a grupą karboksylową aminokwasów kwasowych.

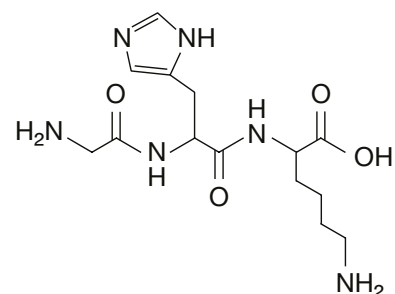


Samouczek

Identyfikacja aminokwasów wchodzących w skład łańcucha peptydowego

Przykład

Poniżej przedstawiono wzór szkieletowy (kreskowy) pewnego peptydu.



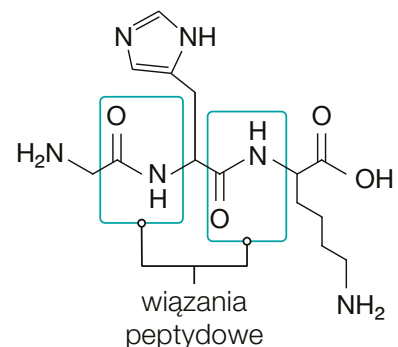
Zapisz sekwencję aminokwasową tego peptydu od N-końca do C-końca, posługując się trzyliterowymi kodami aminokwasów.

We wzorach szkieletowych:

- nie zaznacza się atomów węgla ani połączonych z nimi atomów wodoru,
- pojedyncza kreska oznacza wiązanie pojedyncze, podwójna – wiązanie podwójne, a potrójna – wiązanie potrójne,
- atomy węgla znajdują się w punktach łączących odcinki linii łamanych oraz na końcach tych linii,
- każdy atom węgla jest związany z odpowiednią liczbą atomów wodoru, tak aby została spełniona reguła czterowartościowości węgla,
- zaznacza się atomy pierwiastków chemicznych innych niż węgiel oraz połączone z nimi atomy wodoru.

Krok 1

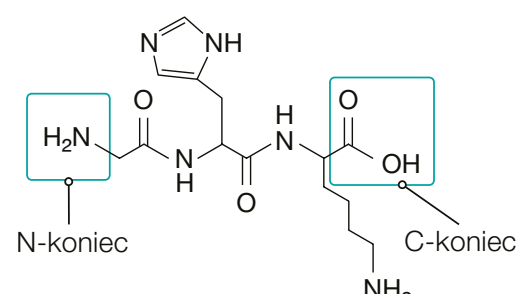
Zaznacz we wzorze wszystkie wiązania peptydowe. Następnie ustal, z ilu aminokwasów składa się peptyd.



Jeśli w peptydzie występują dwa wiązania peptydowe, to składa się on z trzech aminokwasów.

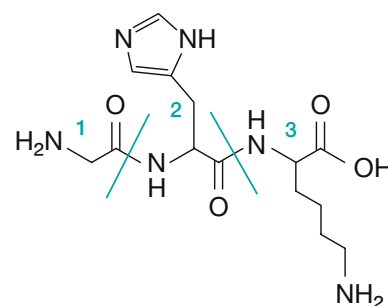
Krok 2

Ustal, który z aminokwasów jest aminokwasem N-końcowym, a który – C-końcowym.

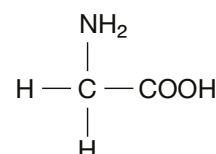


Krok 3

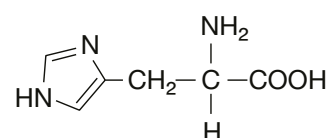
Ustal, z których aminokwasów składa się peptyd. W tym celu skorzystaj z tablicy aminokwasów białkowych znajdującej się na s. 255–258.



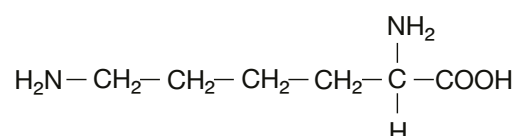
- Aminokwas 1 – glicyna (Gly)



- Aminokwas 2 – histydyna (His)



- Aminokwas 3 – lizyna (Lys)



Odpowiedź:

Sekwencja aminokwasowa peptydu:
Gly–His–Lys.

Biologiczne znaczenie wybranych białek

Albuminy występują m.in. w osoczu krwi. Odpowiadają za regulację objętości poszczególnych płynów ustrojowych. Ich funkcją jest także transport wielu substancji nieorganicznych (np. Ca^{2+} , Mg^{2+}) i organicznych (np. kwasów tłuszczowych, hormonów, witamin).

Histony występują w jądrze komórkowym, gdzie wraz z DNA tworzą chromatynę. Ze względu na dużą zawartość argininy i lizyny należą one do białek zasadowych o dodatnim ładunku elektrycznym. Dzięki temu tworzą wiązania jonowe z ujemnie naładowanymi cząsteczkami DNA.

Fibrynogen jest składnikiem osocza krwi. Powstaje z niego **fibryna** (włóknik), która uczestniczy w procesie krzepnięcia krwi (stanowi główny składnik skrzepu).

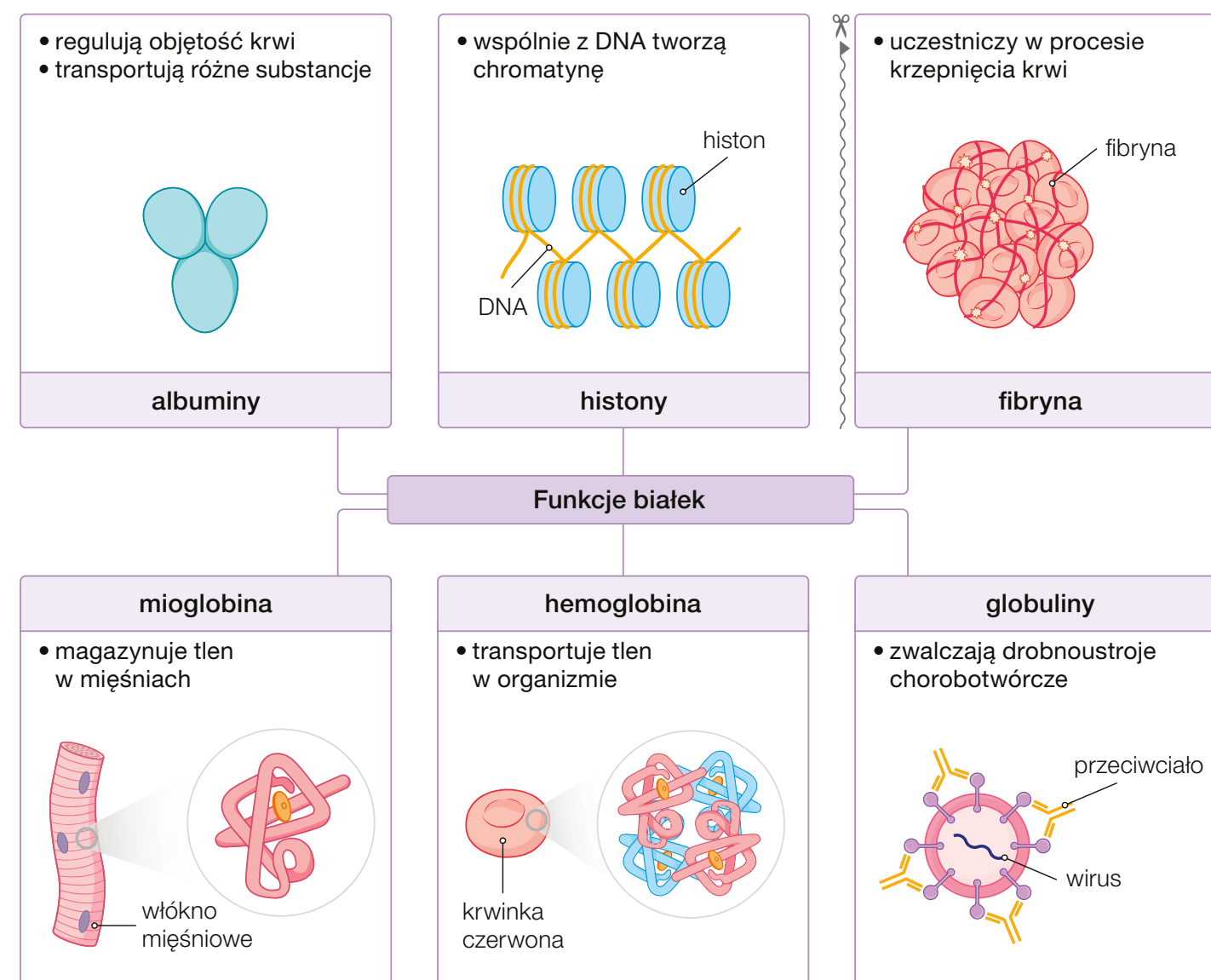
Mioglobina występuje w mięśniach. Jej funkcją jest magazynowanie tlenu.

Hemoglobina znajduje się w erytrocytach. Odpowiada za transport tlenu (i niewielkiej ilości dwutlenku węgla) w organizmie.

Globuliny to m.in. przeciwciała (immunoglobuliny) występujące głównie w osoczu krwi. Przeciwciała biorą udział w procesach odpornościowych organizmu.

Kolageny są składnikami substancji międzykomórkowej tkanek łącznych, budujących np. skórę, kości, chrząstki i ścięgna. Dzięki dużej odporności na rozerwanie nadają one tkankom znaczną wytrzymałość mechaniczną.

Keratyny są składnikami skóry, włosów, łusek, piór, dziobów, paznokci, pazurów, kopyt oraz rogów. Główną funkcją keratyn jest ochrona organizmu przed niekorzystnymi czynnikami zewnętrznymi.



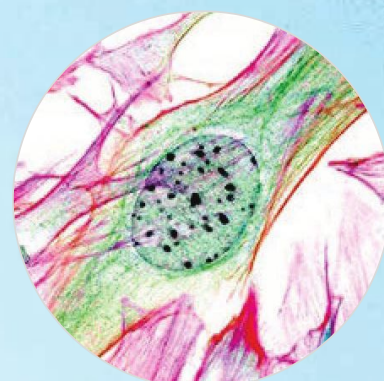
Kolageny

Kolageny to białka fibrylarne organizmów zwierzęcych. U kręgowców są one ważnym składnikiem tkanek łącznych, budujących m.in. skórę, kości, chrząstki i ścięgna. Ponadto występują np. w szkieletach gąbek, w bezpostaciowej substancji (mezoglei) wypełniającej jamę ciała parzydełkowców, w parenchymie płazińców czy w oskórku nicieni. Kolageny odpowiadają za wytrzymałość mechaniczną tkanek – cząsteczki tych białek tworzą włókna kolagenowe, które są bardzo odporne na rozerwanie.

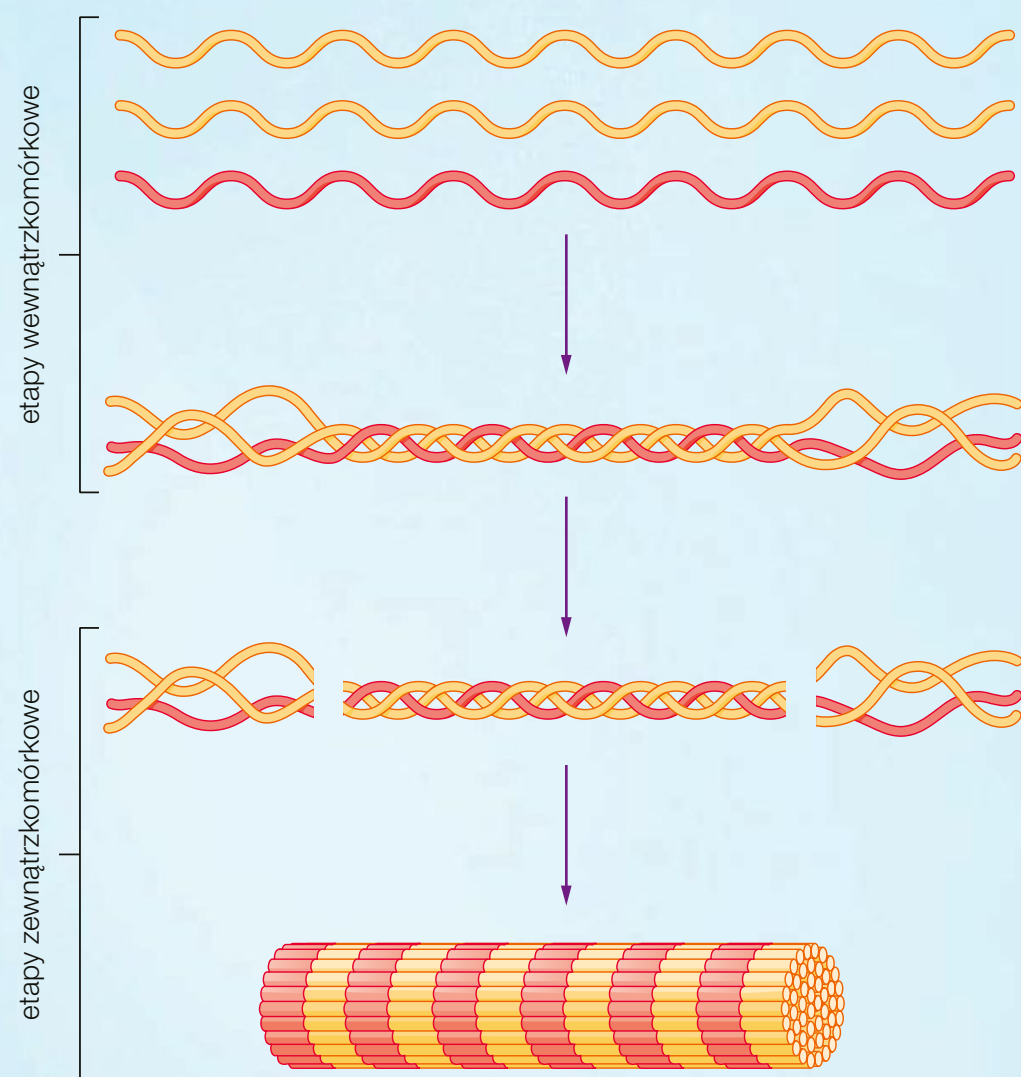
Wytwarzanie włókien kolagenowych w skórze

Synteza cząsteczek kolagenu zachodzi w komórkach tkanki łącznej skóry. Z kolei łączenie się cząsteczek kolagenu we włókna kolagenowe odbywa się poza komórkami – w substancji międzykomórkowej.

Komórka tkanki łącznej
(obraz spod mikroskopu fluorescencyjnego).



Włókno kolagenowe
(obraz spod SEM).



1 Cząsteczka kolagenu jest zbudowana z trzech łańcuchów polipeptydowych.

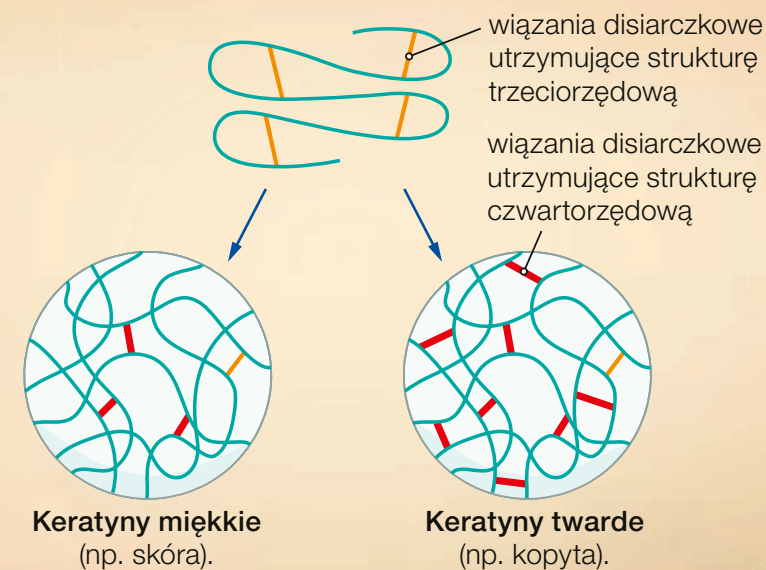
2 Łańcuchy polipeptydowe łączą się za pomocą m.in. wiązań wodorowych w potrójną helisę prokolagenu.

3 Odcięcie fragmentów łańcucha z obu końców prokolagenu prowadzi do wytworzenia tropokolagenu.

4 Cząsteczki tropokolagenu łączą się w olbrzymie nierozpuszczalne agregaty – włókna kolagenowe.

Keratyny

Keratyny to białka fibrylarne występujące u zwierząt kręgowych – tworzą one tzw. substancję rogową. Włókna keratynowe są sztywne, twarde oraz odporne na działanie czynników fizycznych i chemicznych. Stopień twardości keratyn zależy od liczby wiązań disiarczkowych stabilizujących strukturę trzecio- i czwartorzędową tych białek.



Keratyny są głównym składnikiem piór oraz dziobów ptaków.

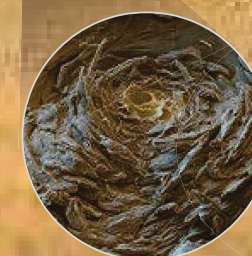


Z keratyn są zbudowane łuski, pazury oraz paznokcie kręgowców lądowych.

Keratyny są głównym składnikiem włosów ssaków.



Keratyny budują kopyta ssaków kopytnych.



Keratyny występują w naskórku kręgowców. Są również głównym budulcem rogów.



Samouczek

Jak korzystać z tablicy aminokwasów białkowych?

Tablica aminokwasów białkowych zawiera ważne informacje, które mogą okazać się przydatne podczas wykonywania zadań. Poniżej przedstawiono fragment takiej tablicy*.

Nazwy zwyczajowe są w biologii stosowane częściej niż nazwy chemiczne.

Wzory półstrukturalne aminokwasów określają ich budowę chemiczną.

Trzyliterowe skróty angielskich nazw aminokwasów są stosowane do zapisywania sekwencji aminokwasowej łańcuchów peptydowych.

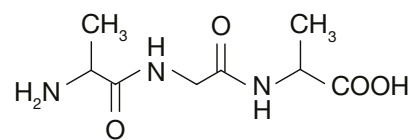
pI (punkty izoelektryczne) aminokwasów to wartości pH roztworu, w których aminokwasy występują głównie w postaci jonów obojnych.

Wybrane aminokwasy białkowe			
nazwa aminokwasu	wzór	kod	pI
Glicyna	$\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{COOH}$	Gly	5,97
Alanina	$\text{H}_2\text{N}-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{COOH}$	Ala	6,00
Cysteina	$\text{H}_2\text{N}-\underset{\text{CH}_2}{\underset{\text{SH}}{\text{CH}}}-\text{COOH}$	Cys	5,07
Seryna	$\text{H}_2\text{N}-\underset{\text{CH}_2}{\underset{\text{OH}}{\text{CH}}}-\text{COOH}$	Ser	5,68

* Cała tablica aminokwasów białkowych znajduje się na s. 255–258.

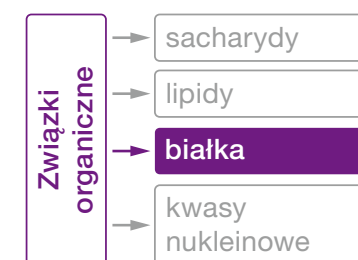
Polecenia kontrolne

- Wyjaśnij, jaki wpływ na właściwości aminokwasów mają ich łańcuchy boczne.
- Porównaj strukturę trzeciorzędową ze strukturą czwartorzędową białek.
- Uzasadnij, że białka są związkami o szczególnym znaczeniu dla organizmów.
- Poniżej przedstawiono wzór szkieletowy pewnego tripeptydu. Przerysuj go do zeszytu, a następnie:



- zaznacz i podpisz wiązania peptydowe.
- zapisz sekwencję aminokwasową tripeptydu za pomocą trzyliterowych skrótów aminokwasów.

2.5. Właściwości i wykrywanie białek



Ważne w tym temacie!

- wpływ czynników fizykochemicznych na białka
- wykrywanie białek w materiale biologicznym

Większość białek tworzy z wodą roztwór koloidalny. W takim roztworze cząsteczki białka są otoczone cząsteczkami wody. Otoczka wodna zapobiega agregacji białek, czyli ich łączeniu się w większe grupy.

Wpływ wybranych czynników fizykochemicznych na białka

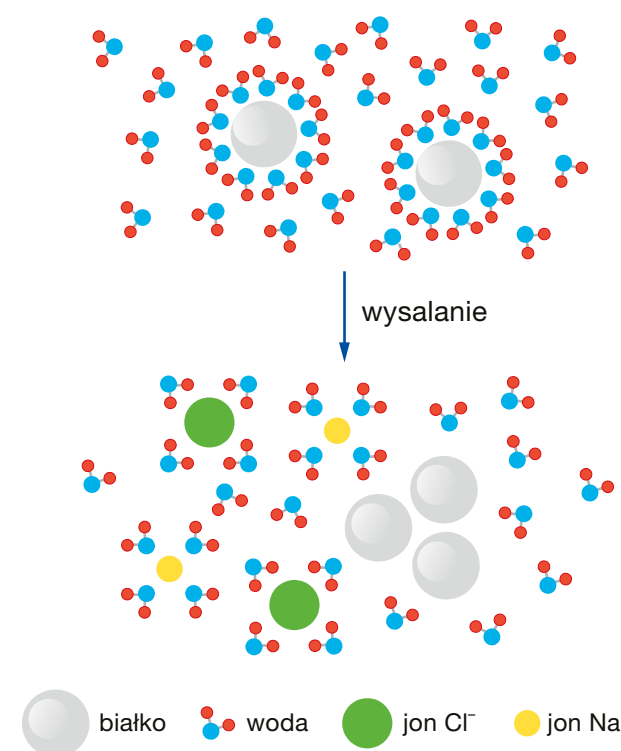
Pod wpływem różnych czynników chemicznych i fizycznych białko może ulegać koagulacji. Tworzą się wówczas duże agregaty, które wytrącają się z roztworu w postaci osadu. Wyróżnia się dwa rodzaje koagulacji białek – wysalanie oraz denaturację.

- Wysalanie białka** zachodzi pod wpływem soli metali lekkich, np. NaCl. Polega ono na odwodnieniu białka, co skutkuje powstaniem

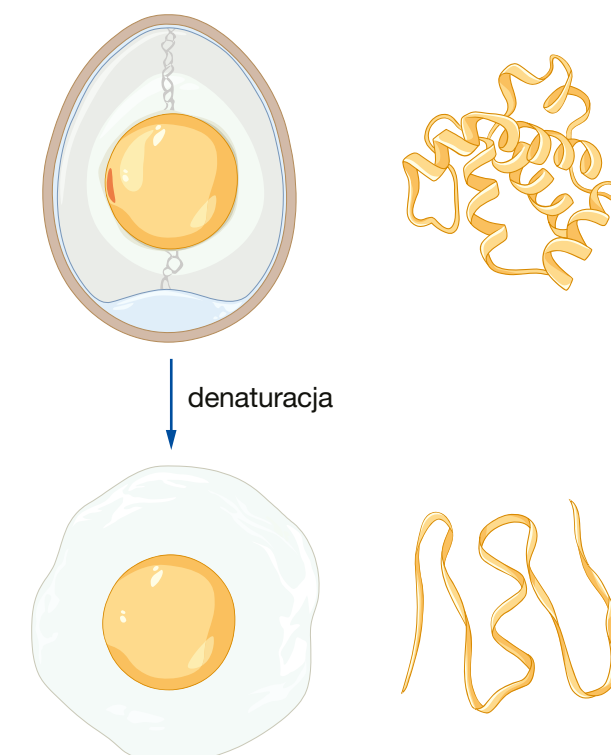
osadu. Wysalanie jest procesem odwracalnym, gdyż nie narusza struktury przestrzennej białek. Osad białka po dodaniu wody rozpuszcza się i ponownie przechodzi w koloid. Proces ten nosi nazwę **peptyzacji**.

- Denaturacja białka** zachodzi pod wpływem czynników fizycznych (np. wysokiej temperatury) lub chemicznych (np. stężonych kwasów i zasad, alkoholi lub soli metali ciężkich). Czynniki te powodują zerwanie wiązań stabilizujących strukturę przestrzenną (drugo-, trzecio- i czwartorzędową) białka, przez co traci ono aktywność biologiczną. Denaturacja może być nieodwracalna lub odwracalna – kiedy czynnik denaturujący zostanie usunięty, wiele białek ulega **renaturacji**, czyli wraca do formy wyjściowej.

Wysalanie białka



Denaturacja białka



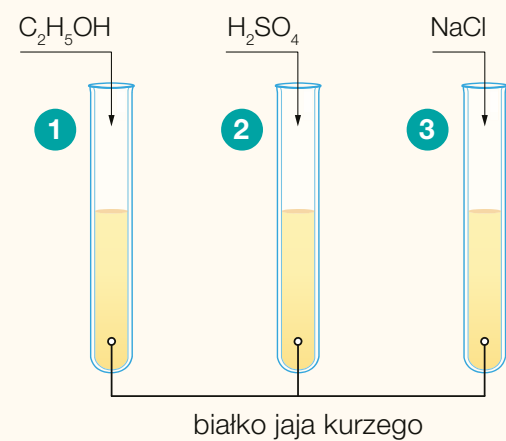
Badanie wpływu różnych substancji chemicznych na białko

- Problem badawczy:** Wpływ etanolu, kwasu siarkowego(VI) i chlorku sodu na białko.
- Hipoteza badawcza:** Sformułuj hipotezę badawczą.
- Przebieg doświadczenia:** Przygotuj próbę badawczą oraz próbę kontrolną zgodnie z przedstawionym rysunkiem.

Do czterech probówek wlej po 3 cm³ białka jaja kurzego, a następnie:

- do probówki 1 dodaj kilka kropli stężonego roztworu etanolu – C₂H₅OH,
- do probówki 2 dodaj kilka kropli stężonego roztworu kwasu siarkowego(VI) – H₂SO₄,
- do probówki 3 dodaj kilka kropli stężonego roztworu chlorku sodu (soli kuchennej) – NaCl.

Próba badawcza: Probówki 1–3 zawierające białko jaja kurzego, do których dodano odpowiednio: C₂H₅OH, H₂SO₄ i NaCl.



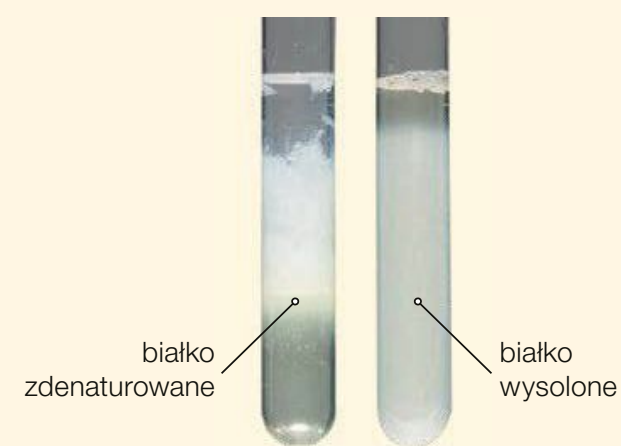
Próba kontrolna: Probówka 4 zawierająca białko jaja kurzego, do której nie dodano żadnej substancji.



Po kilku minutach do każdej probówki dolej 10 cm³ wody destylowanej i wymieszaj zawartość.

- Wynik doświadczenia:** Zaobserwuj zmiany, które zaszły w próbie badawczej po poddaniu białka działaniu związków chemicznych. Następnie zaobserwuj zmiany, które zaszły po dodaniu do każdej probówki wody destylowanej.
- Wniosek:** Sformułuj wniosek.

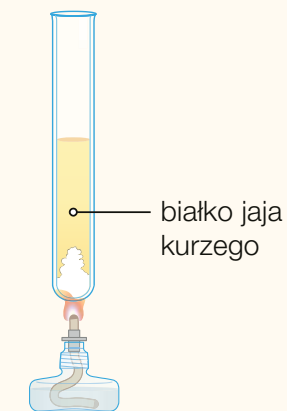
Wyjaśnienie: Pod wpływem m.in. alkoholi i stężonych kwasów zachodzi denaturacja białka, a pod wpływem soli metali lekkich, m.in. chlorku sodu, zachodzi wysalanie białka. W obu przypadkach białko wytrąca się z roztworu w postaci osadu. Po dodaniu wody osad wysolonego białka się rozpuszcza, a osad zdenaturowanego białka pozostaje bez zmian.



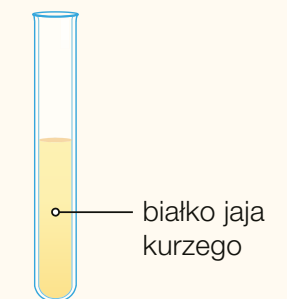
Badanie wpływu wysokiej temperatury na białko

- Problem badawczy:** Wpływ wysokiej temperatury na białko.
- Hipoteza badawcza:** Sformułuj hipotezę badawczą.
- Przebieg obserwacji:** Przygotuj próbę badawczą i próbę kontrolną zgodnie z przedstawionym rysunkiem.

Próba badawcza: Probówka zawierająca białko jaja kurzego, którą podgrzano nad palnikiem.



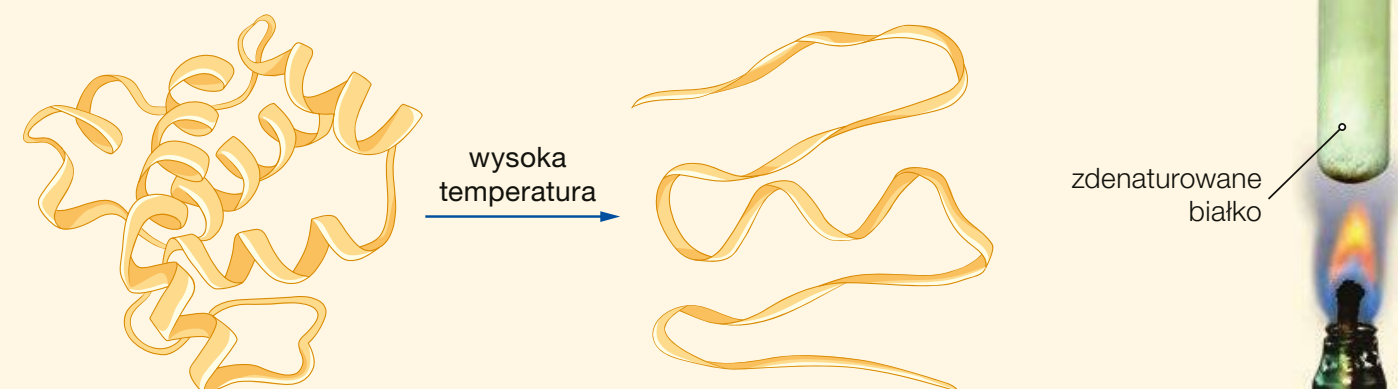
Próba kontrolna: Probówka zawierająca białko jaja kurzego, którą pozostawiono w temperaturze pokojowej.



Po kilku minutach do obu probówek dolej 10 cm³ wody destylowanej i wymieszaj zawartość.

- Wynik doświadczenia:** Zaobserwuj zmiany, które zaszły w próbie badawczej po poddaniu białka działaniu wysokiej temperatury. Następnie zaobserwuj zmiany, które zaszły po dodaniu do probówki wody destylowanej.
- Wniosek:** Sformułuj wniosek.

Wyjaśnienie: Pod wpływem wysokiej temperatury zachodzi denaturacja białka. Po dodaniu wody osad zdenaturowanego białka pozostaje bez zmian.



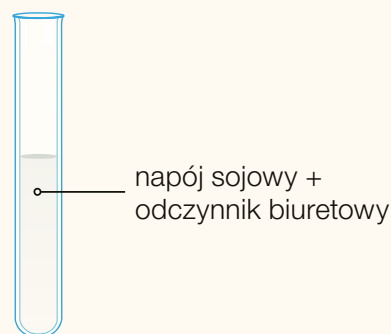
Wysoka temperatura powoduje zerwanie wiązań stabilizujących strukturę przestrzenną białka.



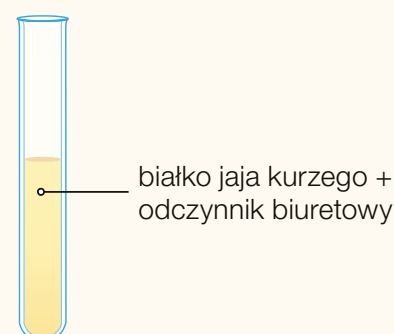
Wykrywanie białek za pomocą reakcji biuretovej

- 1 Problem badawczy:** Czy napój sojowy zawiera białka?
- 2 Hipoteza badawcza:** Sformułuj hipotezę badawczą.
- 3 Przebieg obserwacji:** Przygotuj dwie probówki – A i B – oraz napój sojowy i białko jaja kurzego. Do probówki A wlej ok. 2 cm³ napoju sojowego i dodaj taką samą objętość odczynnika biuretovej. Do probówki B wlej ok. 2 cm³ białka jaja kurzego (kontrola pozytywna) i dodaj taką samą objętość odczynnika biuretovej.

Próba badawcza: Probówka A zawierająca napój sojowy i odczynnik biuretowy.

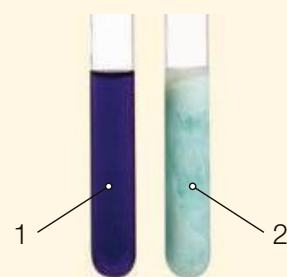


Próba kontrolna (kontrola pozytywna): Probówka B zawierająca białko jaja kurzego i odczynnik biuretowy.



- 4 Wynik obserwacji:** Zaobserwuj zmianę zabarwienia roztworu w probówkach.
- 5 Wniosek:** Sformułuj wniosek.

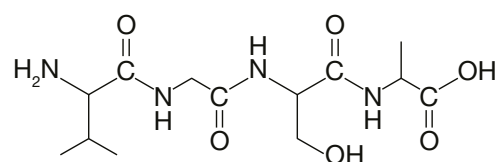
Wyjaśnienie: Odczynnik biuretowy to wodorotlenek miedzi(II) – Cu(OH)₂ – otrzymany w wyniku zmieszania wodnego roztworu siarczanu(VI) miedzi(II) – CuSO₄ – z wodnym roztworem wodorotlenku sodu – NaOH. Wodorotlenek miedzi(II) ma barwę niebieską i pozwala na wykrywanie związków zawierających w cząsteczce co najmniej dwa wiązania peptydowe, m.in. białek. W reakcji tych związków z wodorotlenkiem miedzi(II) tworzą się związki kompleksowe o fioletowej barwie.



Reakcja biuretovej:
1 – wynik pozytywny
2 – wynik negatywny

Polecenia kontrolne

1. Odwołując się do właściwości białek, wyjaśnij, dlaczego gorączka przekraczająca 40°C jest niebezpieczna dla organizmu człowieka.
2. Poniżej przedstawiono wzór szkieletowy pewnego tetrapeptydu.

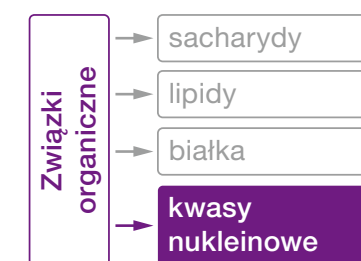


Określ, czy reakcja biuretovej umożliwia wykrycie tego tetrapeptydu w materiale biologicznym. Odpowiedź uzasadnij.

2.6. Budowa i funkcje nukleotydów oraz kwasów nukleinowych

Ważne w tym temacie!

- budowa i funkcje nukleotydów
- budowa i znaczenie biologiczne kwasów nukleinowych – DNA oraz RNA



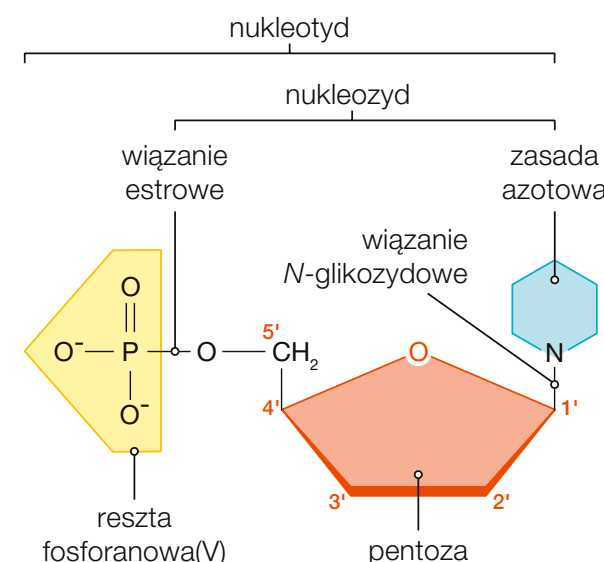
Nukleotydy to związki organiczne o niewielkich cząsteczkach. W komórkach mogą występować w stanie wolnym lub łączyć się ze sobą, tworząc dinukleotydy oraz polinukleotydy – kwasy nukleinowe.

Budowa nukleotydów

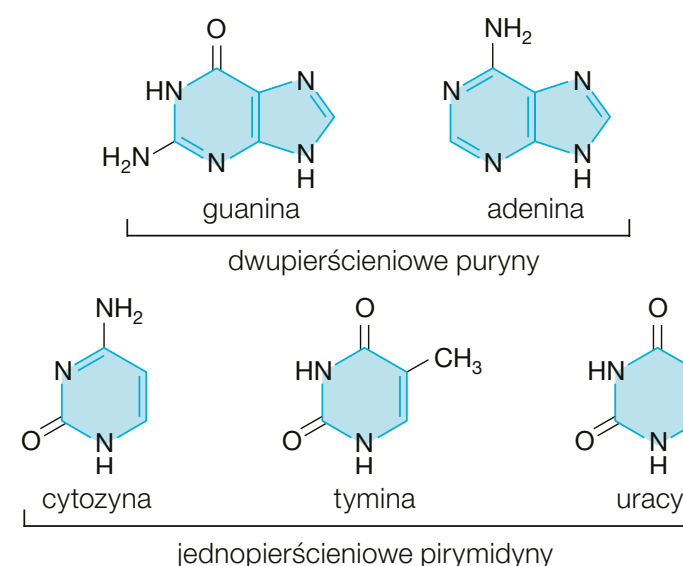
Nukleotydy są zbudowane z węgla (C), wodoru (H), tlenu (O), azotu (N) i fosforu (P). Każdy nukleotyd składa się z następujących elementów:

- ▶ pięciowęglowego cukru (pentozy) – 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).

Pięciowęglowy cukier łączy się z zasadą azotową **wiązaniem N-glikozydowym**, w wyniku czego powstaje **nukleozyd**. Z kolei nukleozyd łączy się z resztą fosforanową(V) **wiązaniem estrowym**, tworząc nukleotyd.



Budowa nukleotydu.



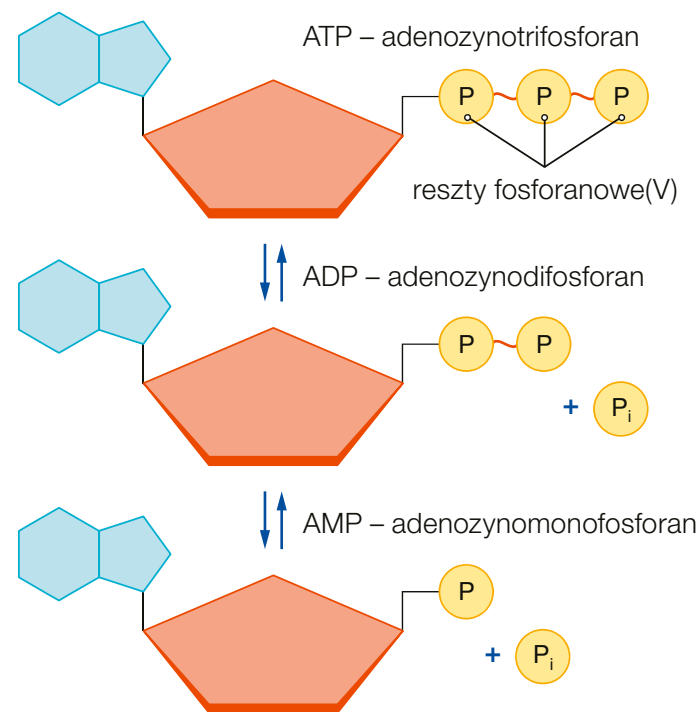
Budowa zasad azotowych.

Rodzaje nukleotydów

Ze względu na rodzaj cukru i zasady azotowej nukleotydy dzieli się na:

- ▶ **rybonukleotydy** – zawierają rybozę oraz jedną z czterech zasad azotowych: guaninę, adeninę, cytozynę lub uracyl; oznacza się je za pomocą trzyliterowych skrótów, np. adenozy-notrifosforan – ATP,
- ▶ **deoksyrybonukleotydy** – zawierają deoksyrybozę oraz jedną z czterech zasad azotowych: guaninę, adeninę, cytozynę lub tyminę; oznacza się je za pomocą czteroliterowych skrótów, np. deoksyadenozynotrifosforan – dATP.

W zależności od liczby reszt fosforanowych(V) nukleotydy dzieli się na: trifosforany, difosforany i monofosforany nukleotydów. Mogą się one przekształcać w siebie dzięki przyłączaniu lub odłączaniu reszt fosforanowych(V). Część z nich tworzy również formy pierścieniowe (cykliczne).



Trifosforany, difosforany i monofosforany nukleotydów.

Funkcje nukleotydów w komórkach

W komórkach znajduje się pewna ilość wolnych nukleotydów. Są one m.in.:

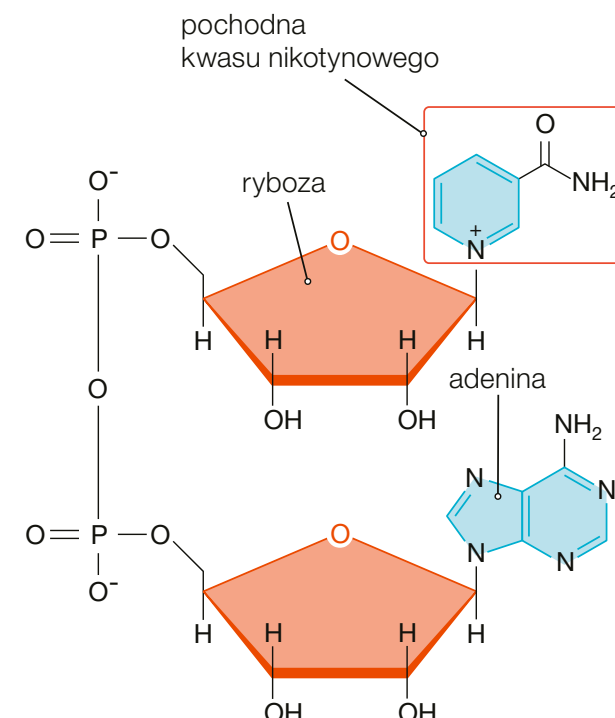
- ▶ nośnikami energii chemicznej (np. adenozyntofosforan – ATP),
- ▶ cząsteczkami sygnałowymi (np. cykliczny adenozyntofosforan – cAMP).

Nukleotydy są także substratami do syntezy dinukleotydów oraz kwasów nukleinowych.

Dinukleotydy

Dinukleotydy to związki zbudowane z dwóch połączonych ze sobą nukleotydów. Pełnią one funkcję przekaźników elektronów w procesach metabolicznych. Do dinukleotydów należą:

- ▶ **dinukleotyd nikotynoamidoadeninowy (NAD⁺)** – jest zbudowany z dwóch nukleotydów, z których jeden zawiera pochodną kwasu nikotynowego (witaminy B₃),
- ▶ **fosforan dinukleotydu nikotynoamidoadeninowego (NADP⁺)** – oprócz elementów budujących NAD⁺ zawiera dodatkową resztę fosforanową(V),
- ▶ **dinukleotyd flawinoadeninowy (FAD)** – składa się z dwóch nukleotydów, z których jeden to pochodna ryboflawiny (witaminy B₂).

Budowa NAD⁺.

Kwasy nukleinowe

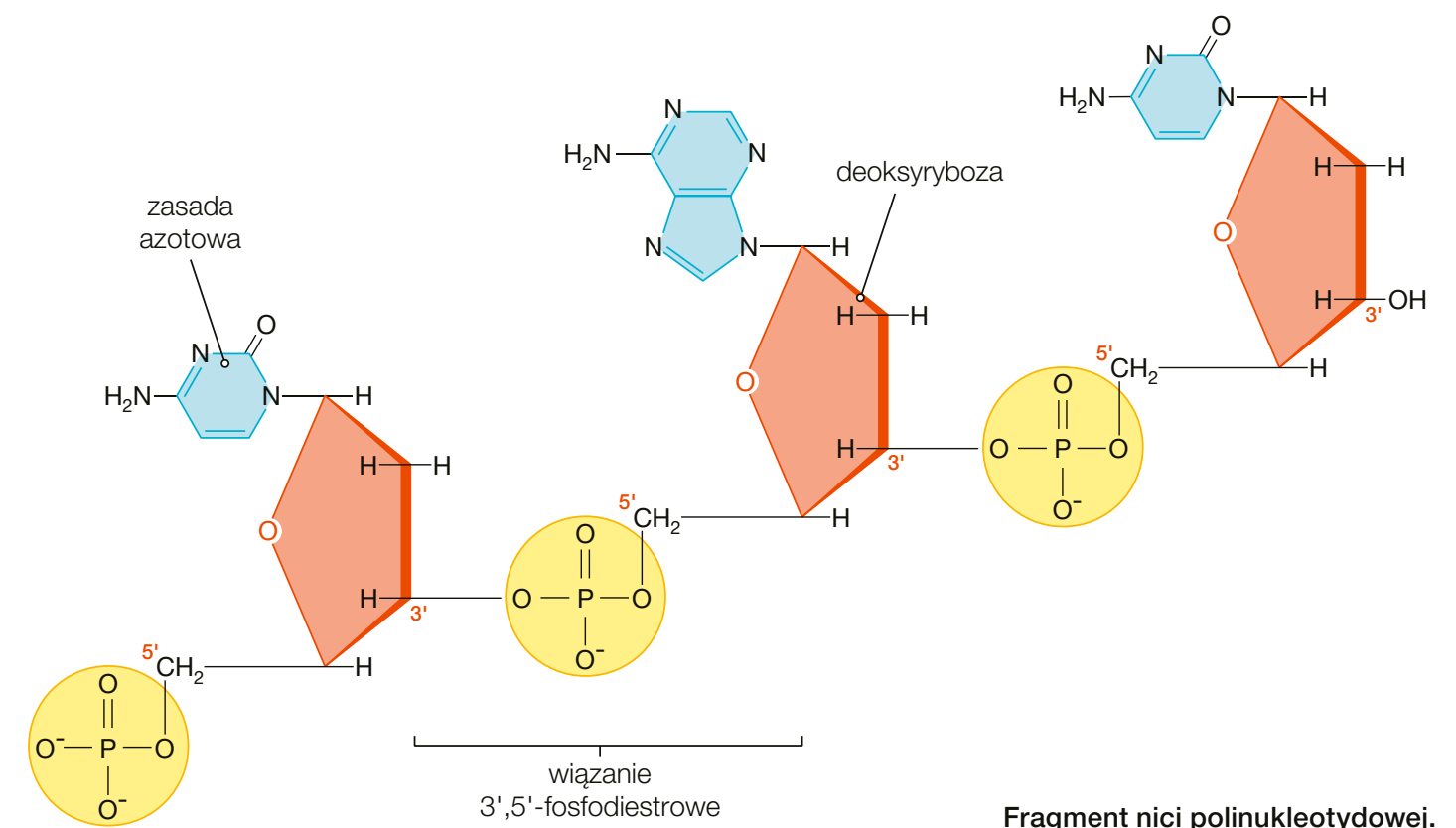
W komórkach występują dwa rodzaje kwasów nukleinowych:

- ▶ kwas deoksyrybonukleinowy – DNA,
- ▶ kwas rybonukleinowy – RNA.

DNA i RNA są polinukleotydami (polimerami) zbudowanymi z wielu nukleotydów (monomerów). Poszczególne nukleotydy łączą się ze sobą **wiązaniami 3',5'-fosfodiesterowymi**. W tworzeniu tych wiązań uczestniczy reszta fosforanowa(V), która łączy trzeci atom węgla pentozy jednego nukleotydu z piątym atomem węgla pentozy drugiego nukleotydu. W ten sposób powstaje polarna **nić polinukleotydowa** (łańcuch polinukleotydowy), której koniec różni się budową: na końcu 5' znajduje się reszta fosforanowa(V), natomiast na końcu 3' występuje grupa hydroksylowa pentozy.

Sekwencję nukleotydową, czyli kolejność nukleotydów w nici polinukleotydowej, zapisuje się od końca 5' za pomocą liter oznaczających rodzaje zasad azotowych, np.:

- ▶ 5'-ATCGT-3' lub ATCGT (w przypadku DNA),
- ▶ 5'-AUCGU-3' lub AUCGU (w przypadku RNA).

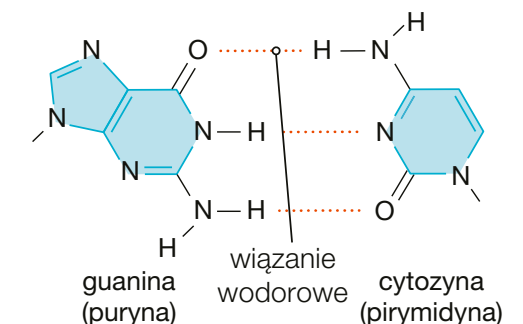
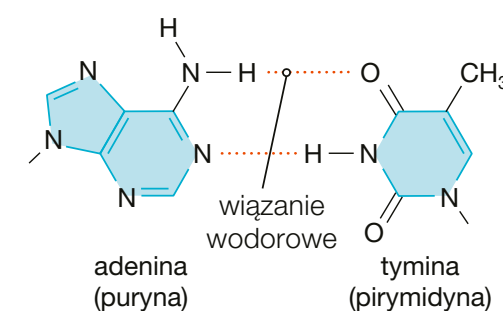


Budowa DNA

Kwas deoksyrybonukleinowy jest zbudowany z czterech rodzajów deoksyrybonukleotydów różniących się zasadą azotową (A, T, G, C). Cząsteczkę DNA tworzą zwykle dwie nici polinukleotydowe skręcone śrubowo wokół wspólnej osi w strukturę zwaną **podwójną helisą**. Helisę tę utrzymują **wiązania wodorowe**, które tworzą się między zasadami azotowymi wchodzącymi w skład obu nici. Dwie zasady azotowe połączone wiązaniami wodorowymi określa się mianem **pary zasad azotowych**.

Parowanie zasad azotowych odbywa się zgodnie z **regułą komplementarności**:

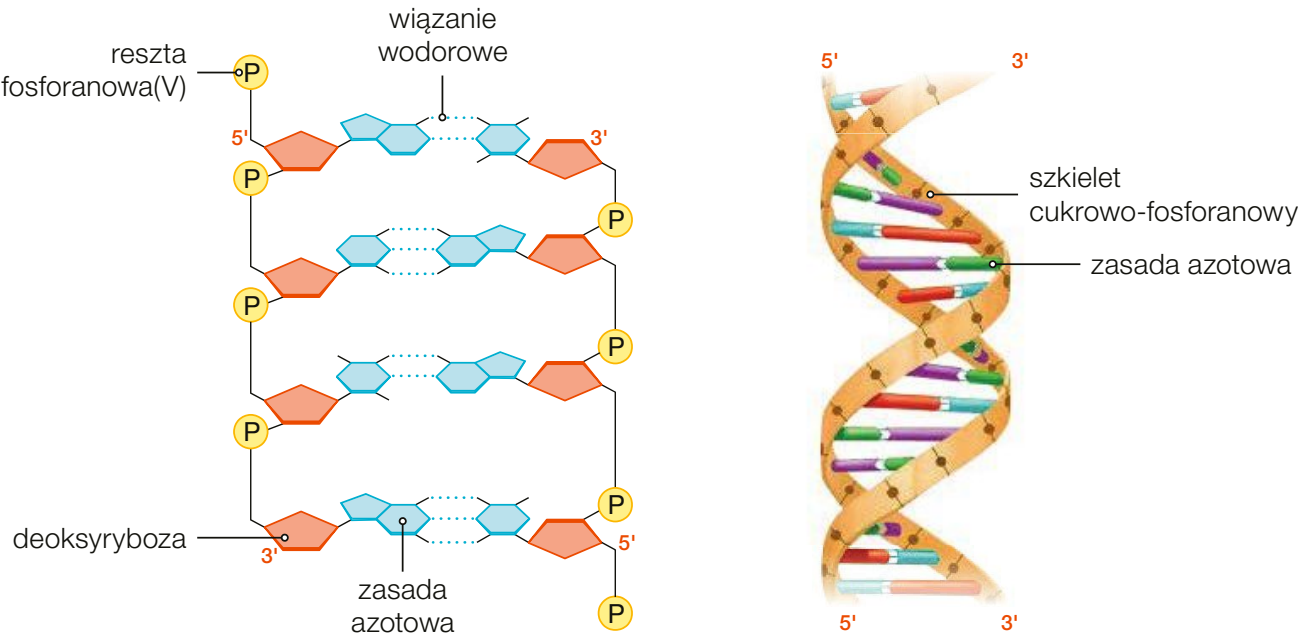
- ▶ adenina łączy się zawsze z tyminą (za pomocą dwóch wiązań wodorowych),



Pary zasad azotowych połączonych wiązaniami wodorowymi. Naprzeciw dwupierścieniowej puryny (A lub G) zawsze występuje jednopierścieniowa pirymidyna (T lub C). Dzięki temu helisa DNA ma stałą średnicę.

Budowa DNA

Cząsteczka DNA ma strukturę prawoskrętnej podwójnej helisy. Po jej zewnętrznej stronie znajdują się cząsteczki deoksyrybozy oraz reszty fosforanowe(V) tworzące szkielet cukrowo-fosforanowy. Do wnętrza są zaś skierowane zasady azotowe.



Funkcje DNA

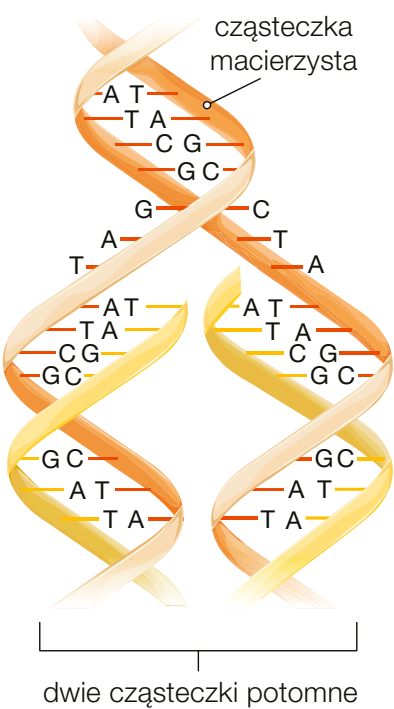
Kwas deoksyrybonukleinowy jest **materiałem genetycznym** wszystkich organizmów oraz niektórych wirusów. Jego odcinki – **geny** – zawierają **informację genetyczną**, która dotyczy syntezy białek warunkujących cechy organizmu. Cechy te są przekazywane z pokolenia na pokolenie, co oznacza, że DNA jest również **nośnikiem informacji genetycznej**, odpowiadającym za dziedziczenie cech.

Informacja o cechach organizmu jest zapisana za pomocą **kodu genetycznego**. Składa się on z czterech liter – G, A, C, T/U – które oznaczają kolejne nukleotydy w nici polinukleotydowej. Sekwencja nukleotydów wyznacza z kolei sekwencję aminokwasów w łańcuchu polipeptydowym – warunkuje więc pierwszorzędową strukturę białka.

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. W ten sposób z jednej macierzystej cząsteczki DNA powstają dwie identyczne cząsteczki potomne. Replikacja DNA zachodzi przed każdym podziałem komórki. Dzięki temu organizmy mogą rozmnażać się i rosnąć.



Replikacja DNA.

Budowa i funkcje RNA

Kwas rybonukleinowy jest zbudowany z czterech rodzajów rybonukleotydów różniących się zasadą azotową (A, U, G, C).

W komórkach występuje wiele rodzajów RNA, które różnią się liczbą oraz sekwencją budujących je nukleotydów, a także strukturą przestrzenną i funkcjami. Trzy podstawowe rodzaje RNA występujące 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 (A i U oraz G i C) jednej nici.

Wszystkie wymienione rodzaje RNA uczestniczą w procesie odczytywania informacji genetycznej, który prowadzi do syntezy białek. W komórkach znajdują się ponadto inne cząsteczki RNA. Pełnią one m.in. funkcję katalityczną (rybozymy) lub funkcję regulatorową (miRNA, siRNA).

Funkcje głównych rodzajów RNA		
mRNA	rRNA	tRNA
Przenosi informację genetyczną zawartą w DNA z miejsca jej przechowywania do miejsca syntezy białka.	Wchodzi w skład rybosomów, które przeprowadzają syntezę białka zgodnie z informacją zawartą w mRNA.	Transportuje aminokwasy do rybosomów. Aminokwasy są substratami do syntezy białka.

Polecenia kontrolne

1. Podaj dwie funkcje wolnych nukleotydów w komórce.
2. Oblicz procentową zawartość adeniny w cząsteczce DNA – zgodnie z założeniem, że cytozyna stanowi 18% wszystkich zasad azotowych tej cząsteczki.
3. Podaj sekwencję nukleotydową nici DNA komplementarnej do nici o sekwencji 5'-GCCATCATCCTTACC-3'.
4. Wyjaśnij, dlaczego DNA ulega powieleniu przed każdym podziałem komórki.
5. Wymień trzy różnice między DNA a RNA.



Podsumowanie



1 Pierwiastki chemiczne wchodzące w skład organizmów

Mikroelementy – pierwiastki, których zawartość w suchej masie komórek wynosi <0,01%.

Makroelementy – pierwiastki, których zawartość w suchej masie komórek wynosi ≥0,01%.

Pierwiastki biogenne – pierwiastki, które są głównymi składnikami związków organicznych.

Do pierwiastków biogennych należą: węgiel (C), wodór (H), tlen (O), azot (N), siarka (S) i fosfor (P).

2 Znaczenie wybranych makro- i mikroelementów w organizmie

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 komórek mięśniowych. • Bierze udział w procesie krzepnięcia krwi. • Jest składnikiem szkieletów i zębów zwierząt. • Jest składnikiem ściany komórkowej roślin.
	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 transportujących tlen (hemoglobina) lub magazynujących go (mioglobina). • Wchodzi w skład wielu enzymów, a także przenośników elektronów biorących udział w fotosyntezie i oddychaniu komórkowym.
	jod (I)	• związki organiczne	• Stanowi składnik hormonów tarczycy.
	miedź (Cu)	• związki organiczne	• Jest składnikiem wielu enzymów. • Stanowi składnik hemocyjaniny – białka transportującego tlen, które występuje u wielu bezkręgowców.
	kobalt (Co)	• związki organiczne	• Jest składnikiem witaminy B ₁₂ , która uczestniczy m.in. w wytwarzaniu elementów morfotycznych krwi.
	fluor (F)	• sole nieorganiczne	• Wchodzi w skład szkliwa zębów.

3 Podstawowe związki chemiczne wchodzące w skład organizmów

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

4 Biologiczne znaczenie wody

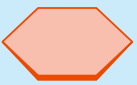
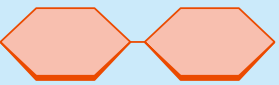
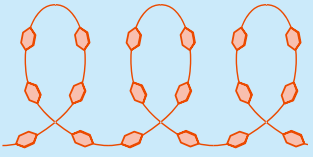
Właściwość wody	Znaczenie biologiczne
W zakresie temperatury 0–100°C jest cieczą.	• Zapewnia ciekłe środowisko wewnątrz komórek, jest także głównym składnikiem płynów ustrojowych. • Stanowi środowisko życia organizmów wodnych.
Ma największą gęstość w temperaturze 4°C.	• Umożliwia organizmom wodnym przetrwanie zimy w toni zamrożonych zbiorników wodnych.
Ma mniejszą gęstość w stanie stałym niż w stanie ciekłym.	
Ma większą gęstość niż gęstość powietrza.	• Mogą się w niej utrzymywać nawet bardzo duże organizmy, w tym pozbawione szkieletu czy tkanki wzmacniającej.
Ma wysokie ciepło właściwe.	• Umożliwia regulację temperatury ciała przez magazynowanie ciepła lub oddawanie go do otoczenia. • Zapewnia stabilne warunki termiczne organizmom wodnym.
Ma wysokie ciepło parowania.	• Umożliwia pozbywanie się nadmiaru ciepła z organizmu m.in. podczas pocenia się (np. człowiek), ziania (np. pies), transpiracji (rośliny).
Jest spójna i przylega do powierzchni naładowanych elektrycznie.	• Przepływa w kapilarach (np. w elementach przewodzących drewna) wbrew sile grawitacji.
Ma duże napięcie powierzchniowe.	• Umożliwia drobnym organizmom (np. owadom, pajęczakom) utrzymywanie się na powierzchni zbiorników wodnych.
Jest mało ściśliwa.	• Utrzymuje stan jędrności i kształt komórek.
Jest dobrym rozpuszczalnikiem substancji hydrofilowych.	• Stanowi środowisko reakcji chemicznych zachodzących w komórkach. • Jest główną substancją transportującą organizmów.
Jest bezbarwna i przezroczysta.	• Umożliwia organizmom autotroficznym przeprowadzanie fotosyntezy.

5 Główne funkcje soli mineralnych:

- regulują stan uwodnienia komórek,
- aktywują enzymy, które przyspieszają przebieg reakcji biochemicznych,
- nieorganiczny fosforan (HPO₄²⁻) uczestniczy w procesach metabolicznych jako substrat do syntezy przenośników energii,
- wpływają na procesy wymiany wody i innych substancji między komórką a jej otoczeniem,
- wchodzi w skład układów buforowych,
- budują szkielety wewnętrzne oraz szkielety zewnętrzne zwierząt.

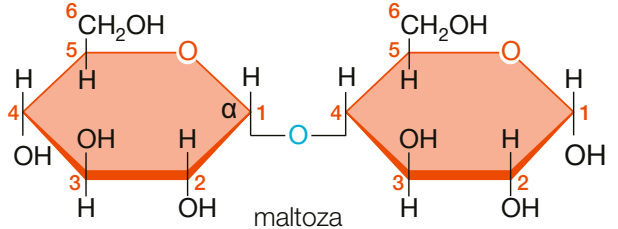
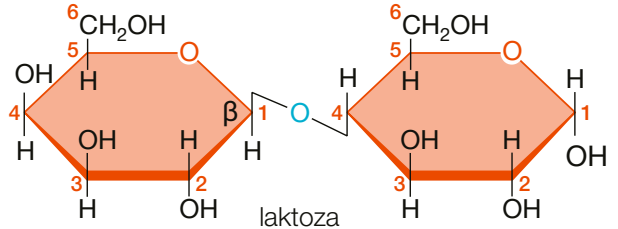
6 Sacharydy i ich podział

Sacharydy (cukry, węglowodany) – związki zbudowane z C, H i O, a niekiedy również z N. Sacharydy mają dwa rodzaje grup funkcyjnych: grupę hydroksylową (–OH) i grupę karbonylową – aldehydową (–CHO) lub ketonową >C=O .

Porównywane cechy	Monosacharydy	Oligosacharydy	Polisacharydy
			
Budowa	Zazwyczaj zawierają w cząsteczkach od 3 do 10 atomów węgla.	Zawierają w cząsteczkach od 2 do 10 reszt cukrów prostych.	Zawierają w cząsteczkach więcej niż 10 reszt cukrów prostych.
Przykłady i znaczenie w organizmie	• glukoza, fruktoza, galaktoza – są substratami energetycznymi komórek • ryboza, deoksyryboza – są składnikami nukleotydów, dinukleotydów i kwasów nukleinowych • glukoza, fruktoza, galaktoza – są składnikami budulcowymi m.in. oligosacharydów i polisacharydów	• sacharoza – jest formą transportową cukrów u roślin • laktoza – występuje w mleku, jest źródłem substratów energetycznych (glukozy i galaktozy) • maltoza – jest źródłem substratu energetycznego (glukozy)	• celuloza – buduje ściany komórkowe komórek roślin i niektórych protistów • chityna – buduje m.in. ściany komórkowe grzybów i szkielety zewnętrzne stawonogów • skrobia – jest substancją zapasową roślin i niektórych protistów • glikogen – jest substancją zapasową zwierząt i grzybów

7 Rodzaje wiązań glikozydowych występujących w oligo- i polisacharydach

Wiązanie O-glikozydowe – wiązanie za pośrednictwem tlenu zwykle między pierwszym atomem węgla jednego monosacharydu a czwartym atomem węgla drugiego monosacharydu. W zależności od formy monosacharydów tworzących wiązanie wyróżnia się wiązania α -glikozydowe i β -glikozydowe.

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

8 Lipidy i ich podział

Lipidy (tłuszczowce) – składają się zwykle z C, H i O, a niekiedy również z N i P. Cząsteczki lipidów są niepolarne, dlatego związki te mają właściwości hydrofobowe (są nierozpuszczalne w wodzie).

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

9 Lipidy proste i ich podział

Lipidy proste – estry alkoholi i kwasów tłuszczowych.

Lipidy proste	
tłuszcze właściwe	woski
Są estrami glicerolu i kwasów tłuszczowych. Główne funkcje w organizmie: • zapasowa, • termoizolacyjna, • termoregulacyjna, • ochronna.	Są estrami długotańcuchowych alkoholi monohydroksylowych i kwasów tłuszczowych. Główne funkcje w organizmie: • ochronna, • budulcowa.

10 Lipidy złożone i ich podział

Lipidy złożone	
fosfolipidy	glikolipidy
Składają się z alkoholu polihydroksylowego (glicerolu lub sfingozyny) połączonego z jedną lub dwiema resztami kwasów tłuszczowych, a także z resztą fosforanową(V). Do reszty fosforanowej(V) jest przyłączony niewielki polarny związek (np. etanoloamina, cholina lub seryna).	Składają się z alkoholu polihydroksylowego (glicerolu lub sfingozyny) połączonego z jedną lub dwiema resztami kwasów tłuszczowych oraz z cukrem (np. glukozą lub galaktozą).

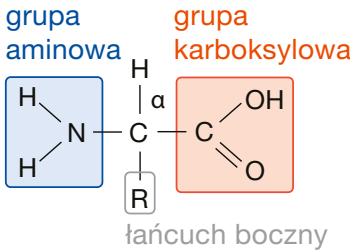
11 Lipidy izoprenowe i ich podział

Lipidy izoprenowe są produktami kondensacji pięciowęglowego węglowodoru – izoprenu. Zalicza się je do tłuszczowców ze względu na hydrofobowość cząsteczek oraz dobrą rozpuszczalność w rozpuszczalnikach niepolarnych.

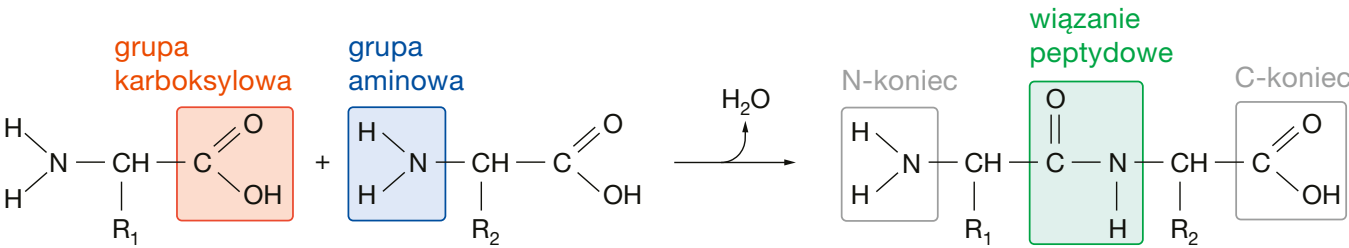
Lipidy izoprenowe	
steroidy	karotenoidy
• głównym steroidem zwierzęcym jest cholesterol • funkcje cholesterolu: zmniejsza płynność błon komórek zwierzęcych, jest substancją wyjściową do syntezy m.in. soli żółciowych, hormonów steroidowych i witaminy D₃ • steroidy roślinne wchodzą w skład błon komórek roślinnych, pełnią funkcję hormonów oraz chronią rośliny przed roślinożercami	• czerwone i pomarańczowe karotenoidy 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 reaktywnych form tlenu, przyciągają zwierzęta zapylające kwiaty i rozsiewające nasiona

12 Budowa aminokwasów białkowych

W aminokwasie białkowym grupa aminowa jest połączona z atomem węgla α, który znajduje się bezpośrednio przy grupie karboksylowej. Z atomem węgla α są również połączone atom wodoru oraz łańcuch boczny (R).



13 Wiązanie peptydowe – wiązanie kowalencyjne, które łączy aminokwasy w łańcuchach peptydowych. Wiązanie to tworzy się między grupą karboksylową związaną z atomem węgla α jednego aminokwasu a grupą aminową związaną z atomem węgla α drugiego aminokwasu.



14 Białka i ich podział

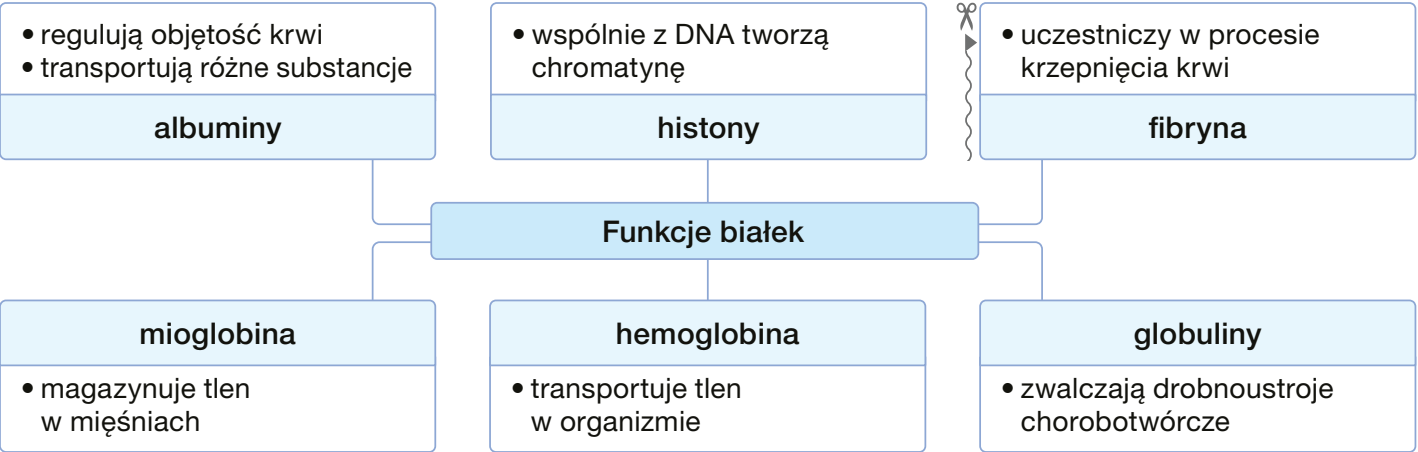
Białka – wielkocząsteczkowe związki organiczne zbudowane z ponad 50 aminokwasów.

Białka	
fibrylarne	globularne
• składają się zwykle z kilku łańcuchów polipeptydowych połączonych w długie włókna • nie rozpuszczają się w wodzie, cechują się także znaczną wytrzymałością mechaniczną • pełnią najczęściej funkcję budulcową lub ochronną • przykład: kolagen	• mają kształt zbliżony do kulistego • zazwyczaj dobrze rozpuszczają się w wodzie i swobodnie przemieszczają się w obrębie komórek oraz płynów ustrojowych • pełnią najczęściej funkcje metaboliczne lub fizjologiczne • przykład: globuliny
proste	złożone
• są zbudowane wyłącznie z aminokwasów • przykład: albumina osocza krwi	• są zbudowane z aminokwasów i grup zawierających m.in. jony metali lub małe cząsteczki • przykład: hemoglobina

15 Poziomy struktury przestrzennej białek

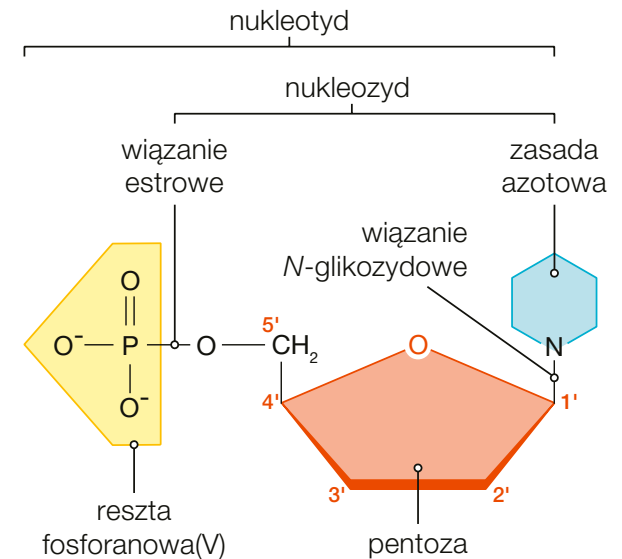
Struktura białka	Opis	Model struktury i rodzaj oddziaływań stabilizujących	
Pierwszorzędowa	liczba, rodzaj i kolejność aminokwasów w łańcuchu polipeptydowym		
Drugorzędowa	przestrzenne połałdowanie fragmentów łańcucha polipeptydowego w α-helise lub β-harmonijkę		
Trzeciorzędowa	przestrzenne połałdowanie całego łańcucha polipeptydowego o strukturze drugorzędowej		• oddziaływania hydrofobowe • wiązania disiarczkowe • wiązania wodorowe • wiązania jonowe
Czwartorzędowa	wzajemne ułożenie osobnych łańcuchów polipeptydowych (podjednostek) o strukturze trzeciorzędowej		• oddziaływania hydrofobowe • wiązania disiarczkowe • wiązania wodorowe • wiązania jonowe

16 Funkcje wybranych białek w organizmie



17 Budowa nukleotydu

- Nukleotyd składa się z:
- pięciowęglowego cukru (pentozy) – 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).



18 Rodzaje nukleotydów

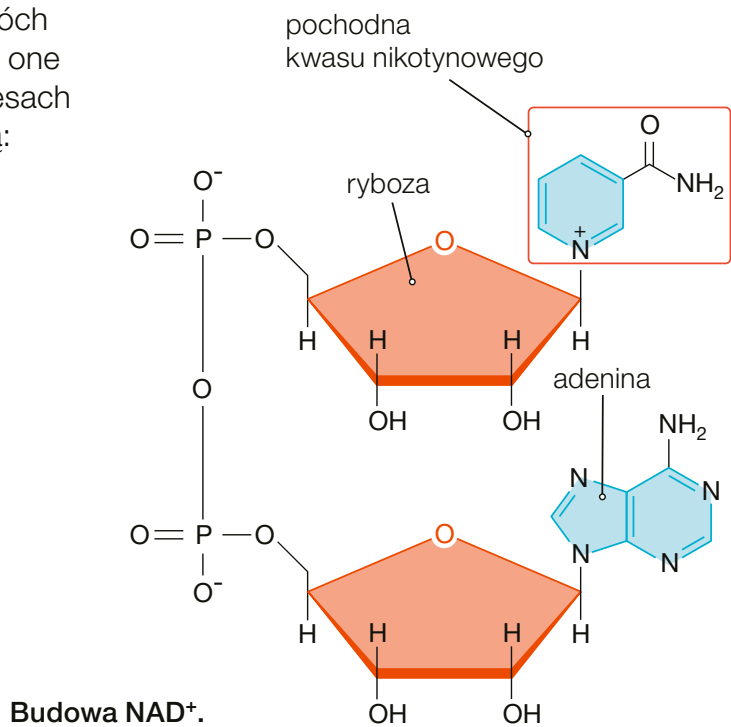
Rybonukleotydy	Deoksyrybonukleotydy
Składają się z: • rybozy, • jednej z czterech zasad azotowych: guaniny (G), adeniny (A), cytozyny (C) lub uracylu (U), • od jednej do trzech reszt fosforanowych(V).	Składają się z: • deoksyrybozy, • jednej z czterech zasad azotowych: guaniny (G), adeniny (A), cytozyny (C) lub tyminy (T), • od jednej do trzech reszt fosforanowych(V).

19 Funkcje nukleotydów:

- są nośnikami energii chemicznej (np. adenosynotryfosforan – ATP),
- są cząsteczkami sygnałowymi (np. cykliczny adenosynomonofosforan – cAMP),
- są substratami do syntezy dinukleotydów oraz kwasów nukleinowych.

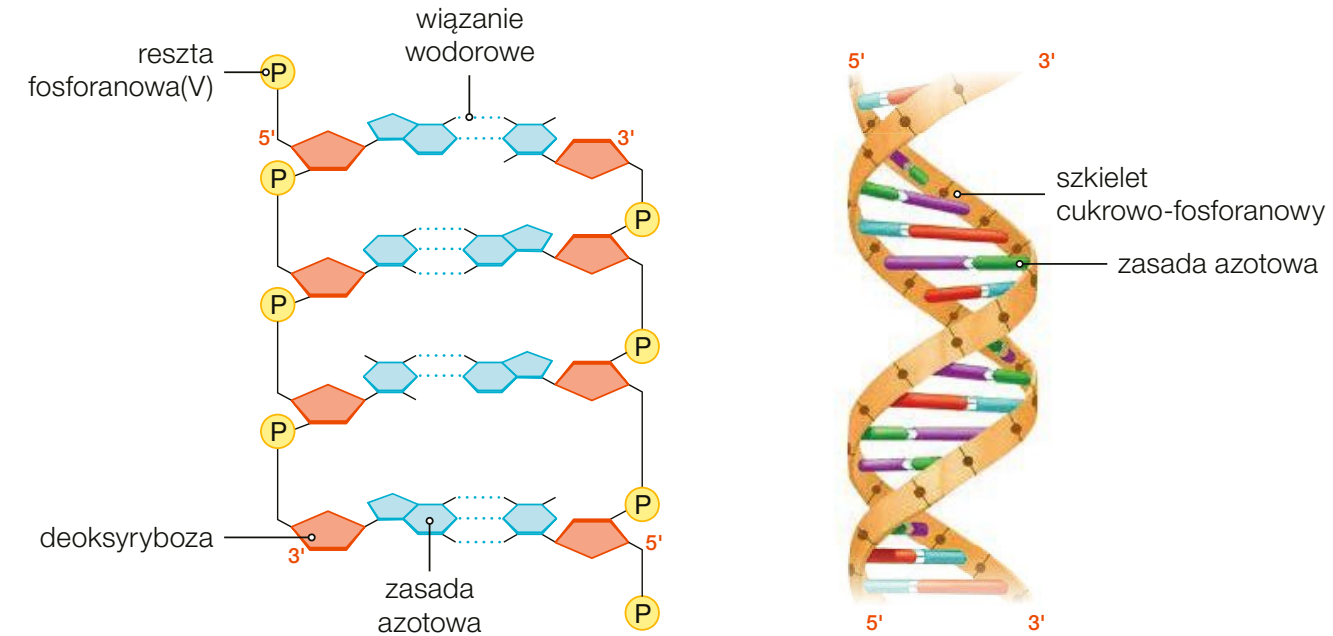
20 Budowa i funkcje dinukleotydów

Dinukleotydy – związki zbudowane z dwóch połączonych ze sobą nukleotydów. Pełnią one funkcję przenośników elektronów w procesach metabolicznych. Do dinukleotydów należą: NAD⁺, NADP⁺, FAD.



21 Budowa DNA

DNA – kwas deoksyrybonukleinowy zbudowany z deoksyrybonukleotydów. Ma zwykle postać podwójnej helisy złożonej z dwóch komplementarnych nici polinukleotydowych.



22 Funkcje DNA:

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

23 Budowa RNA

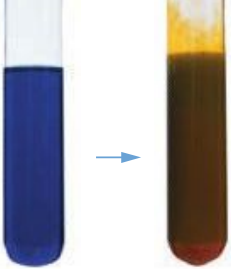
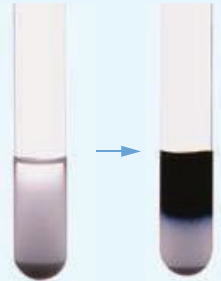
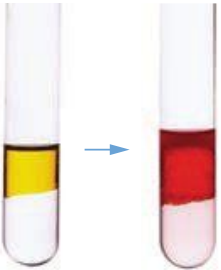
RNA – kwas rybonukleinowy zbudowany z rybonukleotydów. Ma zwykle postać pojedynczej nici polinukleotydowej.

24 Główne rodzaje RNA i ich funkcje

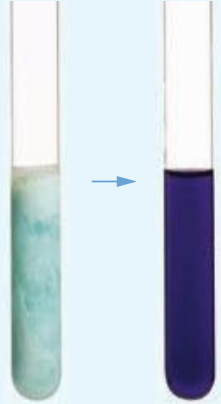
Funkcje głównych rodzajów RNA		
mRNA	rRNA	tRNA
Przenosi informację genetyczną zawartą w DNA z miejsca jej przechowywania do miejsca syntezy białka. 	Wchodzi w skład rybosomów, które przeprowadzają syntezę białka zgodnie z informacją zawartą w mRNA. 	Transportuje aminokwasy do rybosomów. Aminokwasy są substratami do syntezy białka.



25 Wykrywanie wybranych związków organicznych w materiale biologicznym

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 $\text{Cu}(\text{OH})_2$.	Pozwala na wykrywanie w materiale biologicznym cukrów redukujących, czyli cukrów zawierających wolną grupę aldehydową. Reakcja polega na utlenieniu cukru (aldozy) do odpowiedniego kwasu karboksylowego oraz redukcji $\text{Cu}(\text{OH})_2$ do Cu_2O .	Po podgrzaniu w obecności aldozy na ściankach probówki 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 m.in. wnikaniem jodu do wnętrza helikalnie skręconego łańcucha amylozy i powstaniem barwnego związku kompleksowego.	Skrobia zabarwia się na granatowo.  wynik pozytywny
Tłuszcze	Odczynnik: syntetyczny barwnik – Sudan III.	Sudan III jest barwnikiem rozpuszczalnym w tłuszczach.	Krople tłuszczu wybarwiają się na czerwono.  wynik pozytywny

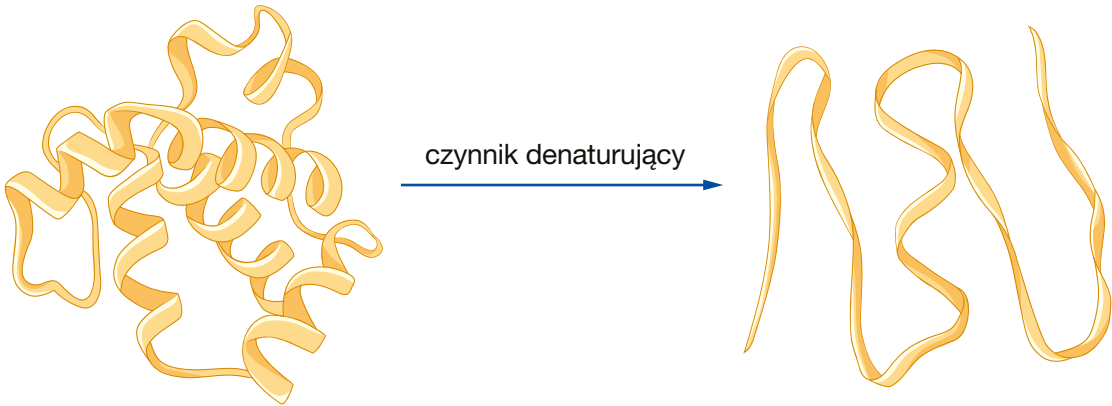


Białka	Nazwa: reakcja biuretowa. Odczynnik: $\text{Cu}(\text{OH})_2$ otrzymany w wyniku zmieszania roztworów CuSO_4 i NaOH .	Pozwala na wykrywanie białek i peptydów zawierających w cząsteczce co najmniej dwa wiązania peptydowe. W środowisku zasadowym związki te tworzą kompleksy z jonami miedzi.	W obecności białek i wielu peptydów barwa roztworu zmienia się z niebieskiej na fioletową.  wynik pozytywny
---------------	--	--	--

26 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. Denaturacja może być nieodwracalna lub odwracalna – kiedy czynnik denaturujący zostanie usunięty, wiele białek ulega renaturacji, czyli wraca do formy wyjściowej.

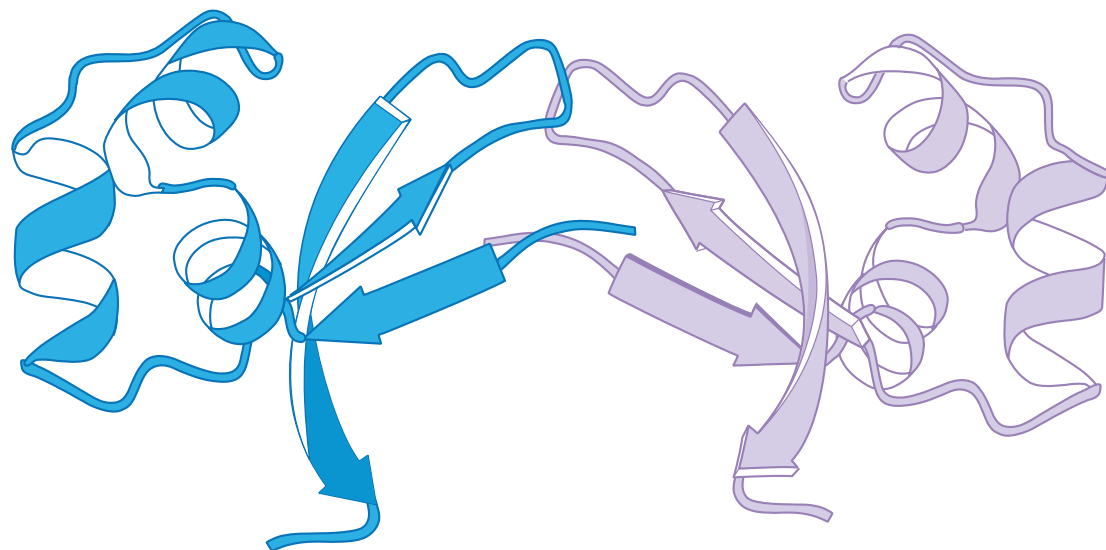


Sposób na zadania

WYKONAJ W ZESZYCIE



- 1 Rysunek przedstawia budowę cząsteczki białka Cro, które występuje u bakteriofaga λ – wirusa atakującego bakterie.



Źródło: J.M. Berg, J.L. Tymoczko, L. Stryer, *Biochemia*, Warszawa, s. 49.

- a) Wykaż, że cząsteczka białka Cro należy do białek prostych.

Białka proste są zbudowane wyłącznie z aminokwasów. Przeanalizuj dołączony do zadania rysunek i sprawdź, czy białko Cro należy do białek prostych.

Rozwiązanie:

Białko Cro należy do białek prostych, ponieważ jest zbudowane tylko z aminokwasów / reszt aminokwasowych.

- b) Uzasadnij za pomocą jednego argumentu, że cząsteczka białka Cro ma strukturę czwartorzędową.

Podaj jeden argument odnoszący się wyłącznie do czwartorzędowej struktury cząsteczki białka Cro.

Białka o strukturze czwartorzędowej są zbudowane z więcej niż jednego łańcucha polipeptydowego. Przeanalizuj rysunek i sprawdź, z ilu łańcuchów polipeptydowych jest zbudowana cząsteczka białka Cro.

Rozwiązanie:

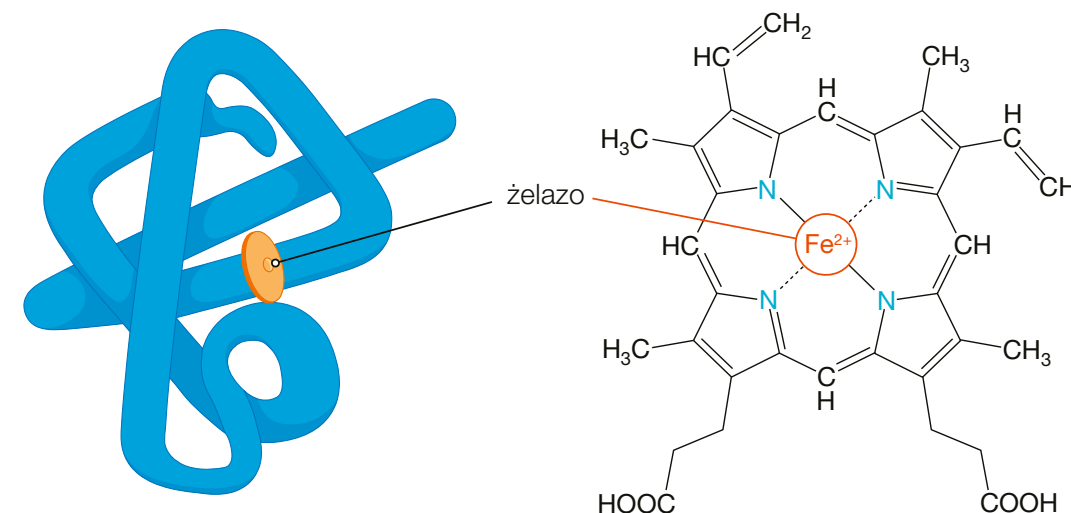
Cząsteczka białka Cro ma strukturę czwartorzędową, ponieważ składa się z dwóch łańcuchów polipeptydowych / dwóch odrębnych podjednostek.

Zadanie analogiczne

WYKONAJ W ZESZYCIE



- 1 Mioglobina to białko występujące w mięśniach poprzecznie prążkowanych, którego główną funkcją jest magazynowanie tlenu. Tlen jest uwalniany z mioglobiny podczas nadmiernego wysiłku. Dzięki temu w sytuacji zwiększonego zapotrzebowania na energię w mięśniach poprzecznie prążkowanych może zachodzić intensywne oddychanie tlenowe.



- a) Wykaż, że cząsteczka hemoglobiny należy do białek złożonych.

- b) Uzasadnij za pomocą jednego argumentu, że cząsteczka mioglobiny ma strukturę trzeciorzędową.

Zadania powtórzeniowe

WYKONAJ W ZESZYCIE



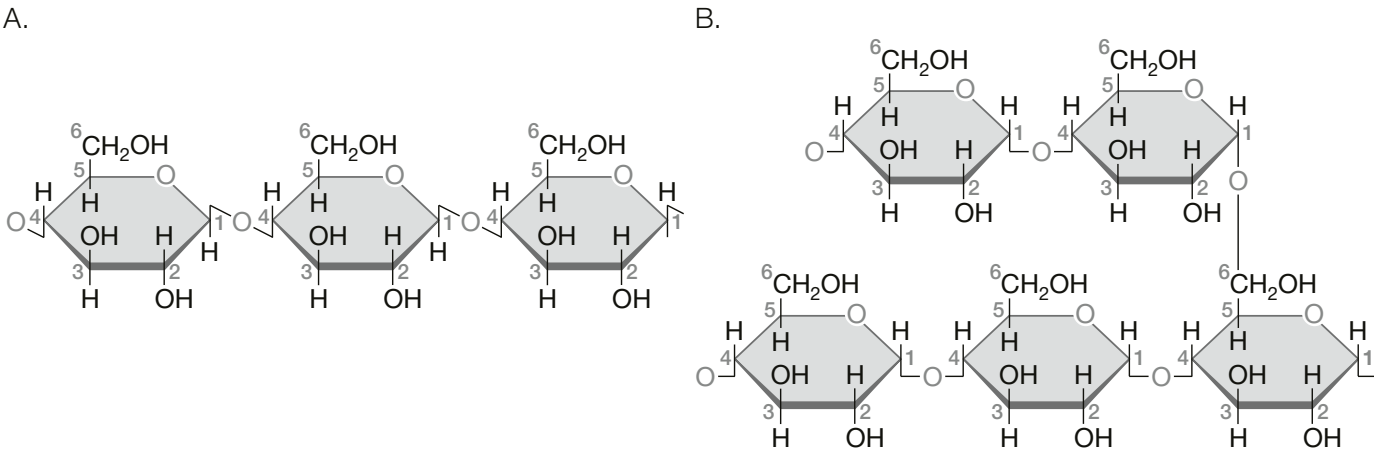
- 1 Woda jest głównym związkiem wchodzącym w skład organizmów, a także stanowi środowisko życia organizmów wodnych. Dzięki swoim właściwościom umożliwia m.in regulację temperatury ciała.

- a) Wyjaśnij, w jaki sposób wysokie ciepło właściwe wody warunkuje stabilną temperaturę ciała człowieka.

- b) Uzupełnij poniższe zdania tak, aby zawierały prawdziwe informacje. Wybierz w każdym nawiasie właściwe określenie.

Woda o temperaturze ok. 37°C ma (*większą* / *mniej*) gęstość niż woda o temperaturze 4°C i (*większą* / *mniej*) gęstość niż lód. Woda w stanie ciekłym ma (*większą* / *mniej*) gęstość niż powietrze, dzięki czemu utrzymują się w niej nawet duże organizmy.

2 Poniżej przedstawiono fragmenty dwóch polisacharydów: celulozy (A) oraz glikogenu (B). Różnice w budowie tych cukrów decydują o ich odmiennych właściwościach, m.in. o podatności na rozkład enzymatyczny (enzymy umożliwiające rozkład wiązań α-glikozydowych występują u większości organizmów, natomiast enzymy umożliwiające rozkład wiązań β-glikozydowych występują tylko u niektórych organizmów).



- a) Określ, który polisacharyd (celuloza czy glikogen) jest rozkładany przez większość organizmów, a który – tylko przez niektóre organizmy. Uzasadnij swój wybór.
- b) Uzupełnij poniższe zdania tak, aby zawierały prawdziwe informacje. Wybierz w każdym nawiasie właściwe określenie.
- Celuloza i glikogen są polimerami, których podstawową jednostką budulcową jest monosacharyd należący do (*pentoz / heksoz*). Celuloza jest głównym składnikiem ścian komórkowych komórek (*roślinnych / bakteryjnych / grzybowych*), natomiast glikogen stanowi materiał zapasowy magazynowany w (*ziarnach zbóż / wątrobie zwierząt*) oraz w komórkach grzybowych.

3 W poniższej tabeli przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych w latach 2010–2013 w sześciu miejscowościach położonych w różnych rejonach Polski. Badania dotyczyły procentowej zawartości skrobi w bulwach wybranych odmian ziemniaka.

Miejscowość	Lata				Średnie dla poszczególnych miejscowości
	2010	2011	2012	2013	
Karżniczka	14,19	14,10	15,56	15,83	14,92
Naroczyce	12,60	13,63	14,76	16,49	14,37
Słupia	10,77	9,51	15,93	17,76	13,49
Sulejów	14,19	15,46	16,60	18,23	16,12
Uhnin	15,64	16,26	17,01	18,34	16,81
Węgrzyce	13,75	15,40	17,26	19,53	16,48
Średnie dla poszczególnych lat	13,52	14,06	16,19	17,70	15,37

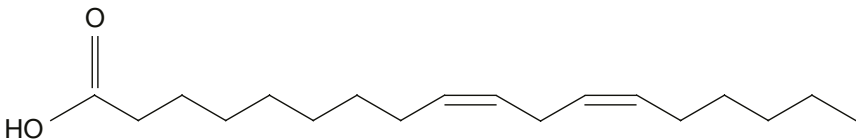
Źródło: K. Rymuza, E. Radzka, T. Lenartowicz, Wpływ warunków środowiskowych na zawartość skrobi w bulwach odmian ziemniaka średnio wczesnego, „Acta Agrophysica” 2015, nr 3 (22), s. 284.

a) Oceń, czy poniższe stwierdzenia dotyczące wyników przedstawionych badań są prawdziwe. Wybierz P, jeśli stwierdzenie jest prawdziwe, albo F – jeśli jest fałszywe.

1.	We wszystkich miejscowościach maksymalną procentową zawartość skrobi w bulwach ziemniaka odnotowano w 2013 r.	T	N
2.	W latach 2010–2013 największy zakres zmienności procentowej zawartości skrobi w bulwach ziemniaka odnotowano w Węgrzcach.	T	N
3.	We wszystkich miejscowościach procentowa zawartość skrobi w bulwach ziemniaka w latach 2010 i 2011 była niższa niż średnia procentowa zawartość skrobi dla tych miejscowości w całym badanym okresie.	T	N

- b) Uzupełnij poniższe zdania tak, aby zawierały prawdziwe informacje. Wybierz w każdym nawiasie właściwe określenie.
- Skrobia należy do (*disacharydów / polisacharydów*) o funkcji (*budulcowej / zapasowej*). Enzymatycznie jest rozkładana do cząsteczek (*glukozy / rybozy*).

4 Kwas linolowy to kwas tłuszczowy, który w temperaturze pokojowej jest cieczą. Kwas ten wchodzi w skład tłuszczów właściwych i występuje głównie u roślin, np. u słonecznika oraz lnu. Poniżej przedstawiono wzór szkieletowy kwasu linolowego.



- a) Wyjaśnij, dlaczego kwas linolowy w temperaturze pokojowej jest cieczą. W odpowiedzi uwzględnij budowę cząsteczki tego kwasu.
- b) Podaj funkcję, jaką pełnią tłuszcze występujące w nasionach roślin.

5 Chlorofile to związki organiczne niezbędne do przeprowadzania procesu fotosyntezy, które nadają liściom zieloną barwę. Ich cząsteczki są zbudowane głównie z atomów pierwiastków biogennych: węgla, wodoru, tlenu i azotu. Ponadto w centrum pierścienia porfiryнового chlorofili znajduje się atom pierwiastka, który nie należy do pierwiastków biogennych.

a) Wybierz właściwe dokończenie zdania wybrane spośród A–D oraz jego poprawne uzasadnienie wybrane spośród 1–2.

Pierwiastek znajdujący się w centrum pierścienia porfiryнового chlorofili to

A.	chlor,	który jest zaliczany do	1.	makroelementów.
B.	wapń,		2.	mikroelementów.
C.	magnez,			
D.	żelazo,			

b) Wymień pierwiastki biogenne, których nie podano we wstępie do zadania.

6 Gorączka to fizjologiczna odpowiedź organizmu na infekcję. W przypadku człowieka o gorączce mówi się wówczas, gdy temperatura ciała wzrośnie powyżej 38°C. Długotrwała temperatura przekraczająca 41°C stanowi zagrożenie dla życia. Najbardziej wrażliwe na wysoką temperaturę są białka komórek nerwowych.

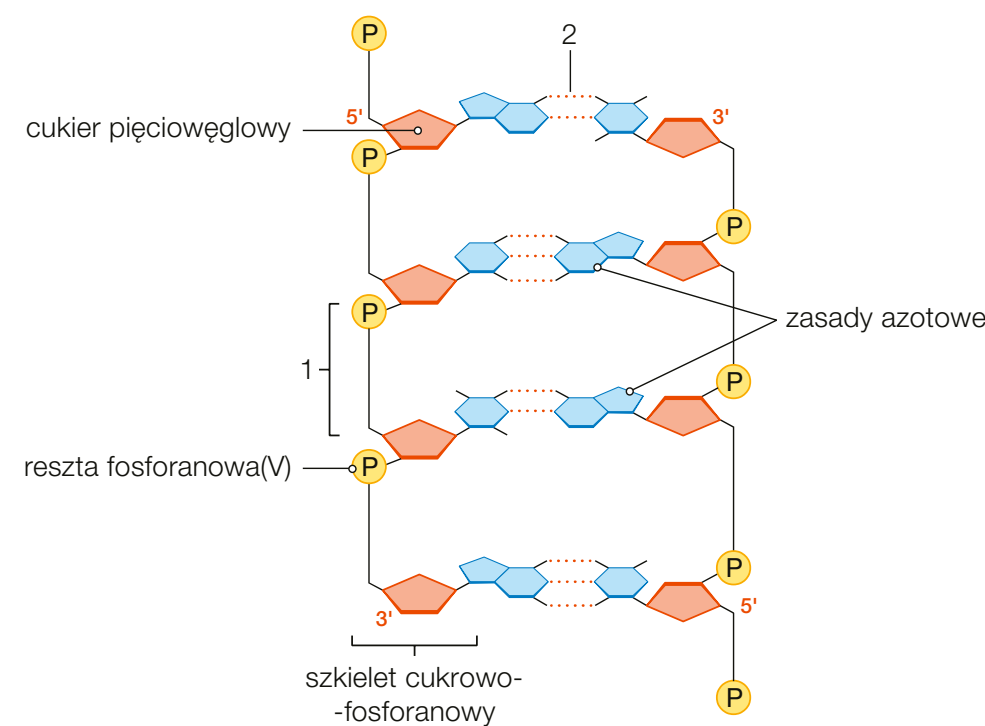
Wyjaśnij, dlaczego długotrwała wysoka gorączka stanowi zagrożenie dla życia człowieka. W odpowiedzi uwzględnij działanie wysokiej temperatury na białka.

7 Aminokwasy są dużą i zróżnicowaną grupą związków chemicznych. Wyróżnia się wśród nich 20 aminokwasów białkowych, które klasyfikuje się jako α-aminokwasy. Ze względu na budowę łańcucha bocznego (R) połączonego z atomem węgla α aminokwasy białkowe dzieli się na hydrofilowe i hydrofobowe oraz obojętne elektrycznie i naładowane elektrycznie (dodatnio lub ujemnie).

- a) Wykaż związek między budową aminokwasów a ich zdolnością łączenia się w długie łańcuchy peptydowe.
- b) Na podstawie wzorów aminokwasów białkowych zamieszczonych na s. 255 określ, które z poniższych aminokwasów uczestniczą w tworzeniu oddziaływań hydrofobowych stabilizujących trzeciorzędową strukturę białka. Odpowiedź uzasadnij, uwzględniając budowę i właściwości łańcucha bocznego.
- kwasy asparaginowy, leucyna, lizyna, walina*

8 Nukleotydy to związki chemiczne zbudowane z pięciowęglowego cukru, zasady azotowej oraz od jednej do trzech reszt fosforanowych(V). Połączone nukleotydy tworzą nici polinukleotydowe kwasów nukleinowych – RNA i DNA. RNA jest zwykle zbudowany z jednej nici, natomiast DNA – zwykle z dwóch komplementarnych nici.

Na schemacie przedstawiono fragment cząsteczki DNA.



- a) Podaj nazwy wiązań chemicznych oznaczonych na schemacie numerami 1 i 2.
- b) Określ, które z poniższych zasad azotowych łączą się w nukleotydach z rybozą, a które – z deoksyrybozą. Przerysuj tabelę do zeszytu i wstaw znak X w odpowiednie miejsca.

		Ryboza	Deoksyryboza
1.	Guanina	?	?
2.	Tymina	?	?
3.	Uracyl	?	?

3. Komórka – podstawowa jednostka życia



Przypomnij sobie – to było w szkole podstawowej

- ▶ **Komórka** – podstawowy element organizmów zdolny do przeprowadzania czynności życiowych.
- ▶ Podział komórek ze względu na obecność lub brak jądra komórkowego:

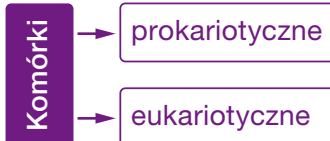


- ▶ Porównanie mitozy z mejozą:

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 budujące ciało	gamety



3.1. Budowa i funkcje komórki. Rodzaje komórek



Ważne w tym temacie!

- elementy budowy komórki eukariotycznej
- różnice w budowie komórki prokariotycznej i komórki eukariotycznej
- różnice w budowie komórek: zwierzęcej, roślinnej i grzybowej
- przedziałowość (kompartamentacja) komórki eukariotycznej

Komórka to podstawowa jednostka budulcowa i funkcjonalna organizmu, która jest zdolna do wykonywania czynności życiowych.

Poziomy organizacji komórkowej organizmów

W zależności od liczby komórek budujących ciała organizmów wyróżnia się organizmy jednokomórkowe, formy kolonijne oraz organizmy wielokomórkowe.

Organizmy jednokomórkowe są zbudowane tylko z jednej komórki, która wykonuje wszystkie czynności życiowe.

Formy kolonijne są zespołami komórek połączonych za pomocą ścian komórkowych lub galaretowatych otoczek. Stanowią stadium

pośrednie między organizmami jednokomórkowymi a organizmami wielokomórkowymi. Kolonie powstają wskutek nierozdzielenia się komórek potomnych po podziale komórki macierzystej lub w wyniku łączenia się komórek w większe grupy. Poszczególne komórki kolonii mają zwykle taki sam wygląd, przy czym każda z nich może żyć samodzielnie.

Organizmy wielokomórkowe są zbudowane z wielu zależnych od siebie komórek. Zalicza się 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 określone funkcje.

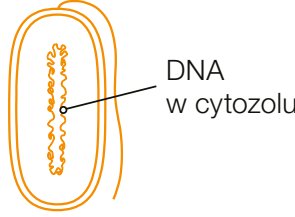
Poziomy organizacji komórkowej organizmów			
organizmy jednokomórkowe	formy kolonijne	organizmy wielokomórkowe	
		plechowe	tkankowe
bakterie, protisty, grzyby, rośliny pierwotnie wodne ¹	bakterie, protisty, rośliny pierwotnie wodne	protisty, grzyby, rośliny pierwotnie wodne	rośliny pierwotnie lądowe, zwierzęta
			
<i>Escherichia coli</i> – bakteria.	Kolonia okrzemek – protisty.	Rozłóżek czerniejący – grzyb.	Drzewołaz niebieski – zwierzę.

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.

Rodzaje komórek

Głównym kryterium klasyfikacji komórek jest obecność lub brak jądra komórkowego. Na tej podstawie wyróżnia się:

- ▶ **komórki prokariotyczne** (beźądrowe) – nie mają jądra komórkowego. Ich materiałem genetycznym jest kolistnie zamknięta cząsteczka DNA, która znajduje się bezpośrednio w cytozolu;
- ▶ **komórki eukariotyczne** (jądrowe) – mają jądro komórkowe, w którym znajduje się materiał genetyczny. Są nim liniowe cząsteczki DNA, oddzielone od cytozolu otoczką jądrową.

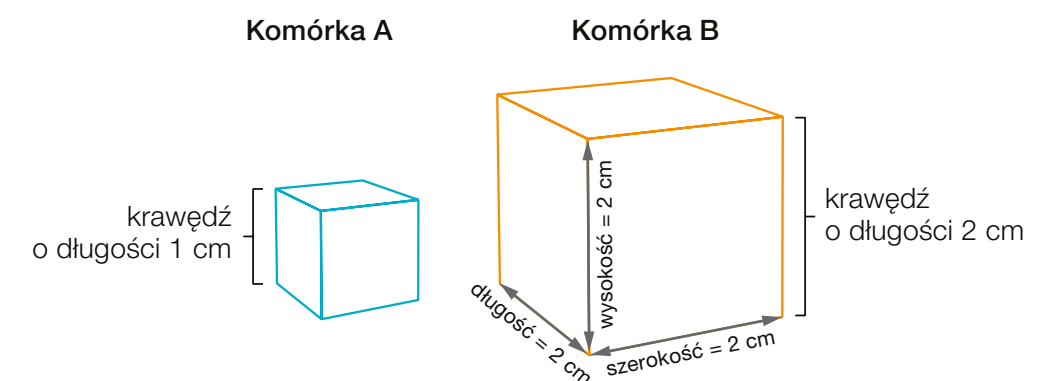
Podział komórek ze względu na obecność lub brak jądra komórkowego	
komórki prokariotyczne	komórki eukariotyczne
	
• komórki bakterii • komórki archeowców	• komórki roślinne • komórki zwierzęce • komórki grzybowe

Samouczek

Dlaczego komórki mają niewielkie rozmiary?

Większość komórek jest bardzo mała – widoczna tylko pod mikroskopem – i ma kształt zbliżony do kuli lub sześcianu. Jest tak, ponieważ małe komórki mają większy stosunek powierzchni do objętości niż duże komórki – dzięki temu wymiana substancji między środowiskiem wewnętrznym a otoczeniem zachodzi u nich efektywniej.

Porównanie dwóch komórek pod względem efektywności wymiany substancji między środowiskiem wewnętrznym a otoczeniem



1. Obliczanie powierzchni komórek A i B (wysokość × szerokość × liczba ścian)

Powierzchnia komórki A

$$1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm} \times 6 = 6 \text{ cm}^2$$

Powierzchnia komórki B

$$2 \text{ cm} \times 2 \text{ cm} \times 6 = 24 \text{ cm}^2$$

liczba ścian

2. Obliczanie objętości komórek A i B (wysokość × szerokość × długość)

Objętość komórki A

$$1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm} = 1 \text{ cm}^3$$

Objętość komórki B

$$2 \text{ cm} \times 2 \text{ cm} \times 2 \text{ cm} = 8 \text{ cm}^3$$

W przypadku komórki A stosunek powierzchni do objętości wynosi **6 : 1**, a w przypadku komórki B (po skróceniu) – **3 : 1**. Wymiana substancji między wnętrzem komórki a otoczeniem zachodzi efektywniej u komórki A, ponieważ stosunek jej powierzchni do objętości jest większy niż u komórki B.

BUDOWA KOMÓREK EUKARIOTYCZNYCH

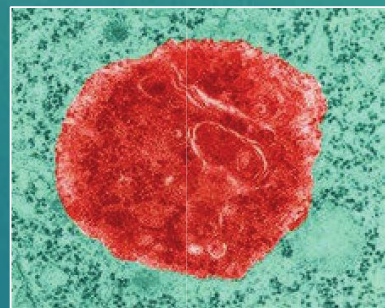
■ Komórki zwierzęce

Komórki zwierzęce to komórki eukariotyczne, które są oddzielone od otoczenia wyłącznie błoną komórkową. W ich wnętrzu znajdują się lizosomy, a materiałem zapasowym jest głównie glikogen.

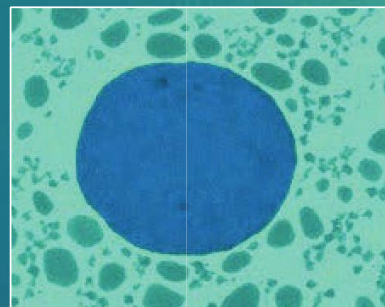
Mitochondrium (→ s. 127) – zachodzi w nim m.in. oddychanie tlenowe, w którego wyniku ze związków organicznych jest uwalniana energia niezbędna do funkcjonowania komórki.



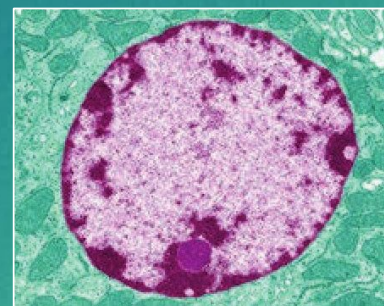
Lizosom (→ s. 139) – zachodzi w nim trawienie wewnątrzkomórkowe.



Peroxisom (→ s. 139) – miejsce, w którym zachodzą reakcje utleniania różnych związków oraz reakcje neutralizacji reaktywnych form tlenu.

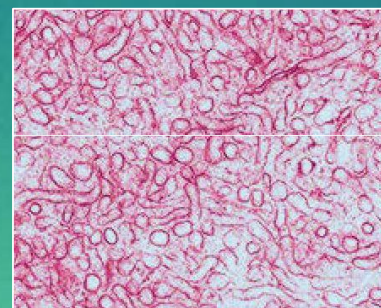


Jądro komórkowe (→ s. 119–121) – zawiera DNA, który jest materiałem genetycznym odpowiedzialnym za cechy organizmu oraz za dziedziczenie tych cech.



Cytozol (→ s. 124) – wodny koloidalny roztwór różnych substancji, w którym znajdują się włókna cytoszkieletu.

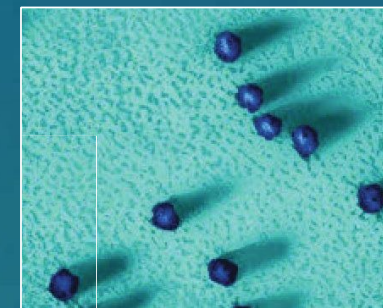
Siateczka śródplazmatyczna gładka (→ s. 133–134) – miejsce syntezy lipidów, magazynowania jonów oraz neutralizowania substancji toksycznych.



Siateczka śródplazmatyczna szorstka (→ s. 133–134) – na jej powierzchni znajdują się rybosomy. Jest miejscem syntezy niektórych białek, np. białek wydzielniczych oraz białek błonowych.



Rybosomy (→ s. 135) – struktury zbudowane z rRNA i białek. Przeprowadzają syntezę białek.

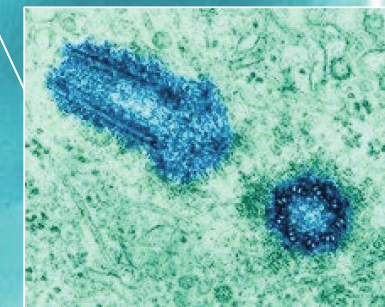


Wakuola – niewyspecjalizowany, pojawiający się okresowo pęcherzyk, który magazynuje różne substancje.

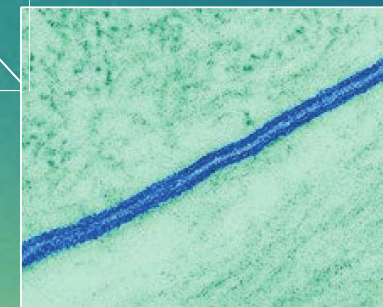
Aparat Golgiego (→ s. 136–138) – odpowiada głównie za modyfikowanie, sortowanie i transportowanie białek.



Centrosom (→ s. 125) – uczestniczy m.in. w podziałach komórek.

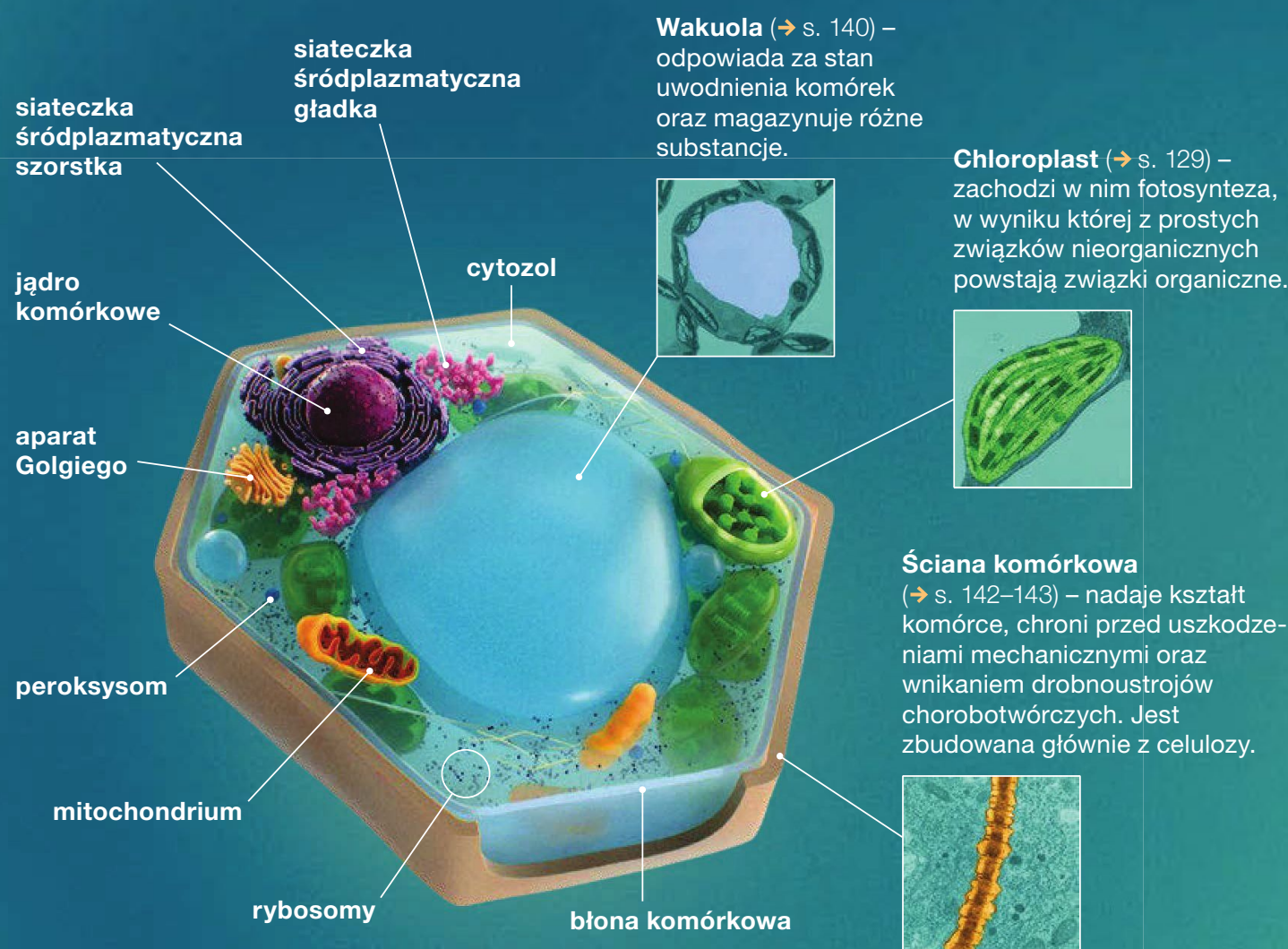


Błona komórkowa (→ s. 108–110) – oddziela wnętrze komórki od środowiska zewnętrznego.



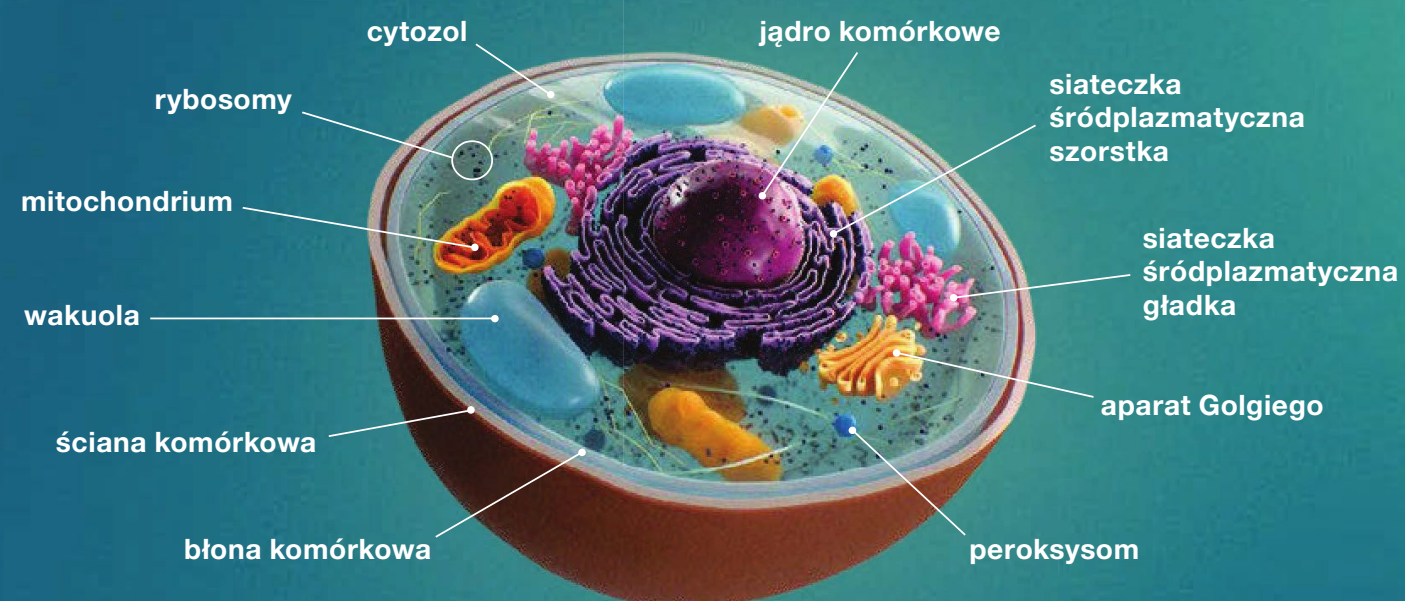
Komórki roślinne

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

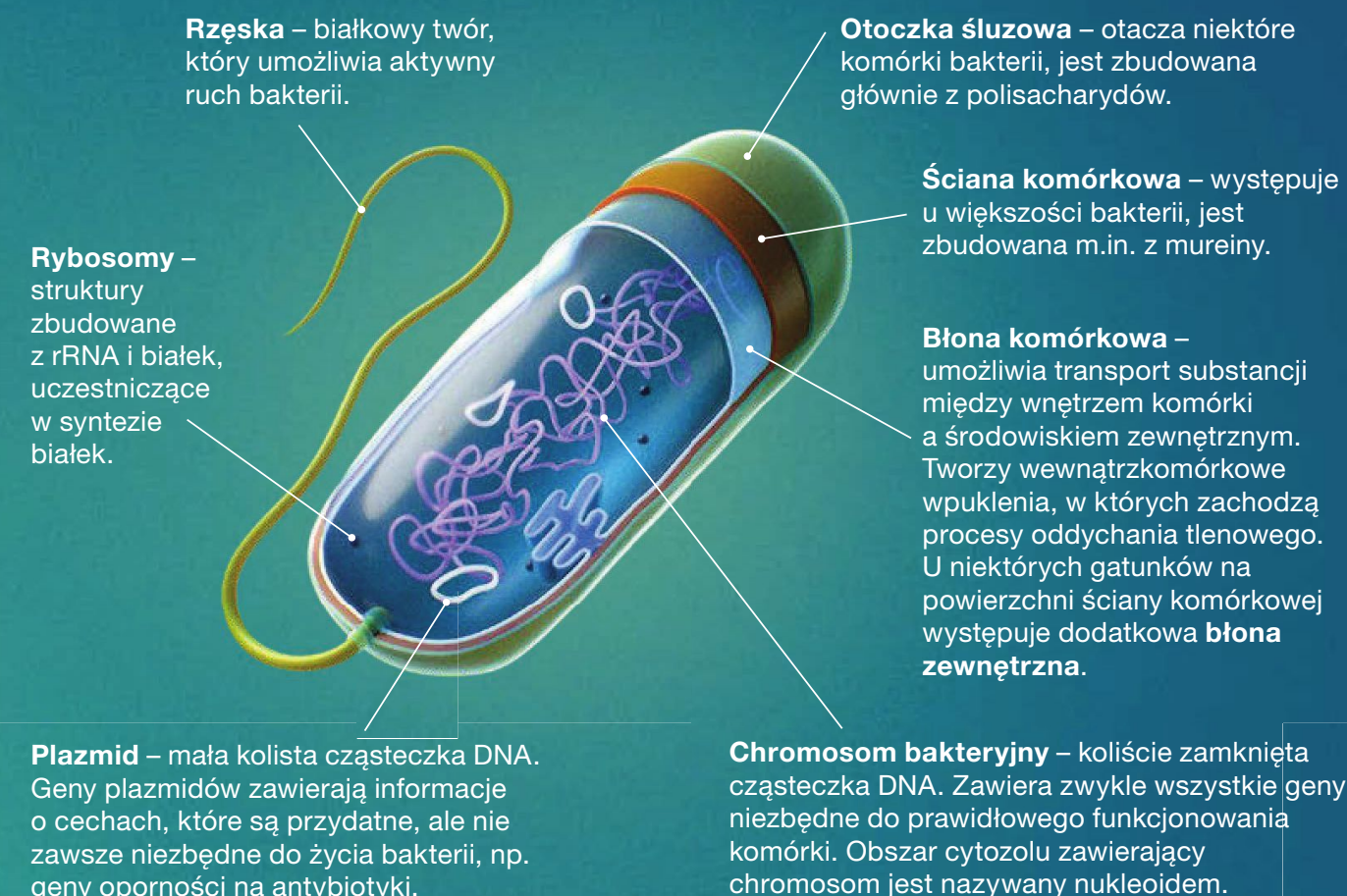
Komórki grzybowe mają ścianę komórkową zbudowaną przede wszystkim z chityny, a ich podstawowym materiałem zapasowym jest glikogen.



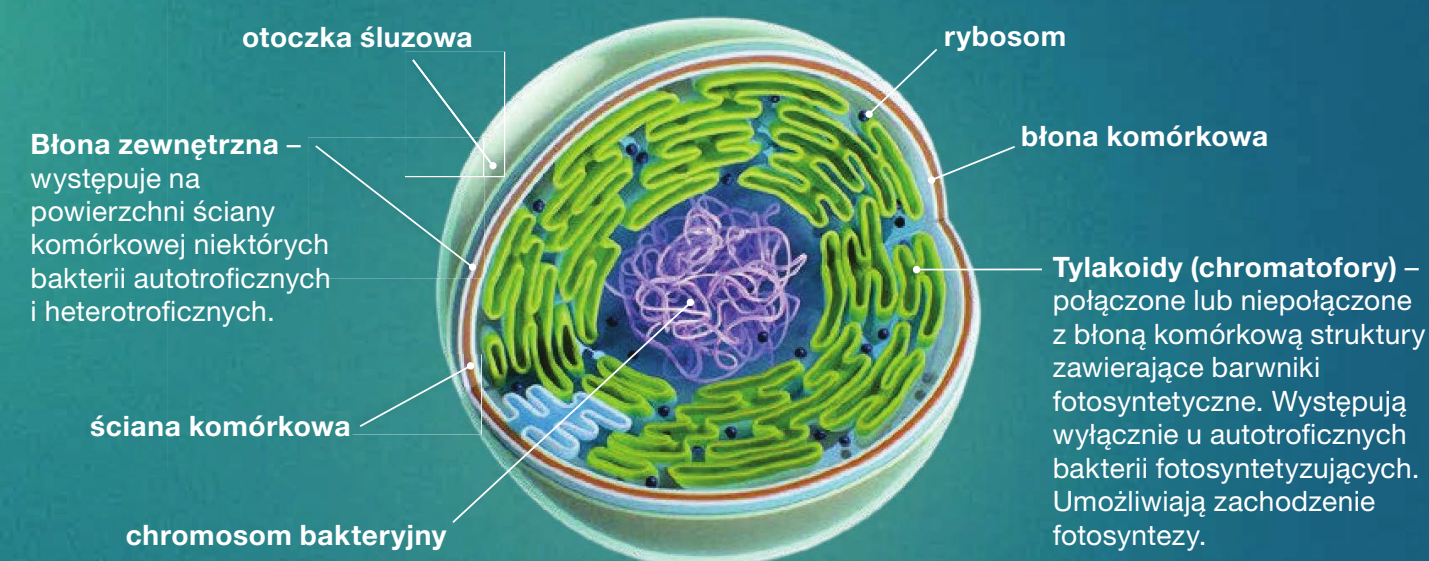
BUDOWA KOMÓREK PROKARIOTYCZNYCH

Komórki prokariotyczne nie mają jądra komórkowego. Od środowiska zewnętrznego oddziela je błona komórkowa, która może tworzyć wpuklenia zwiększające jej powierzchnię i umożliwiające wydajne zachodzenie niektórych procesów, m.in. oddychania tlenowego i fotosyntezy. Większość komórek prokariotycznych ma także ścianę komórkową.

Komórka bakterii heterotroficznej



Komórka bakterii autotroficznej



■ **Porównanie budowy komórki bakteryjnej z budową komórki eukariotycznej**

Komórki bakteryjne i komórki eukariotyczne mają zarówno cechy wspólne, jak i cechy, którymi się różnią.

Do cech wspólnych komórek bakteryjnych i komórek eukariotycznych należą:

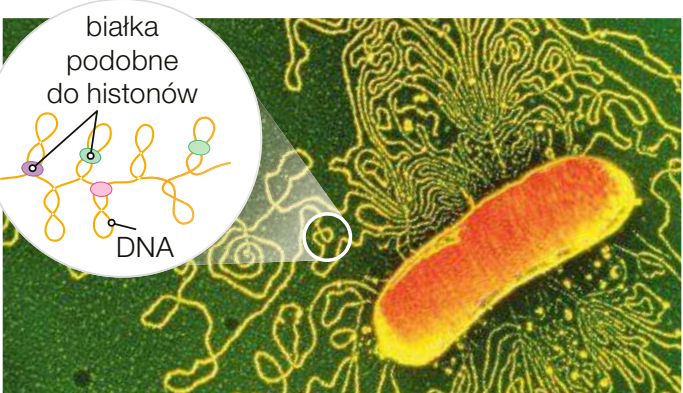
- ▶ **obecność błony komórkowej** – wszystkie komórki są oddzielone od otoczenia błoną

komórkową, a często także ścianą komórkową,

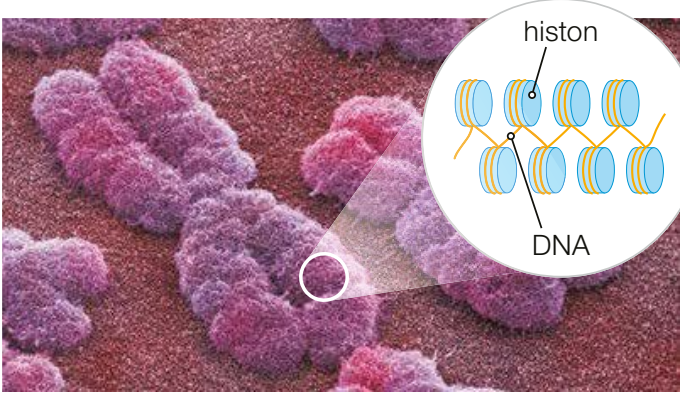
- ▶ **obecność cytozolu** – wewnątrz wszystkich komórek wypełnia cytozol,
- ▶ **DNA jako nośnik informacji genetycznej** – materiałem genetycznym wszystkich komórek jest DNA,
- ▶ **obecność rybosomów** – we wszystkich komórkach biosynteza białek zachodzi na rybosomach.

Cechy różniące komórki bakteryjne od komórek eukariotycznych

Cecha	Komórki bakteryjne	Komórki eukariotyczne
Skład chemiczny ścian komórkowych	Mają ściany komórkowe zbudowane m.in. z peptydoglikanu mureiny.	Mają ściany komórkowe zbudowane z polisacharydów – głównie celulozy (u roślin) i chityny (u grzybów).
Forma cząsteczek DNA	DNA ma postać kolistych cząsteczek, które znajdują się bezpośrednio w cytozolu.	DNA ma postać liniowych cząsteczek, które są oddzielone od cytozolu otoczką jądrową.
Obecność lub brak systemu błon śródplazmatycznych (organelli otoczonych błoną)	Nie mają zorganizowanego systemu błon śródplazmatycznych (nie zawierają jądra komórkowego ani innych organelli otoczonych błoną).	Mają liczne błony śródplazmatyczne, które dzielą komórkę na przedziały (kompartenty) o odmiennej budowie i różnych funkcjach.
Lokalizacja rybosomów	Ich rybosomy występują jedynie w cytozolu.	Ich rybosomy występują w kilku miejscach w komórce: • w cytozolu lub na powierzchni siateczki śródplazmatycznej występują rybosomy, które są większe od rybosomów prokariotycznych, • wewnątrz mitochondriów i plastydów obecne są rybosomy zbliżone wielkością do rybosomów prokariotycznych (→ s. 135).



Cząsteczki DNA w komórkach bakteryjnych są kolistą i związane z zasadowymi białkami podobnymi do histonów. Cząsteczka DNA związana z białkami podobnymi do histonów tworzy **chromosom bakteryjny**.



Cząsteczki DNA występujące w jądrach komórek eukariotycznych są liniowe i nawinięte na zasadowe białka – histony. Cząsteczka DNA związana z histonami tworzy **chromosom eukariotyczny**.

Porównanie budowy komórek: bakteryjnej, zwierzęcej, roślinnej i grzybowej

Element budowy komórki	Komórka bakteryjna	Komórka eukariotyczna		
		zwierzęca	roślinna	grzybowa
	 <i>Helicobacter pylori</i>	 leukocyt ssaka (biała krwinka)	 komórki miękiszu asymilacyjnego	 komórka drożdży piekarniczych
Jądro komórkowe	✗ (jego funkcję pełni nukleoid)	✓	✓	✓
Ściana komórkowa	✓ m.in. z mureiny	✗	✓ głównie z celulozy	✓ głównie z chityny
Błona komórkowa	✓	✓	✓	✓
Cytozol	✓	✓	✓	✓
Cytoskielet	✗	✓	✓	✓
Mitochondria	✗ (w niektórych komórkach ich funkcję pełnią wewnątrzkomórkowe wpuklenia błony)	✓	✓	✓
Chloroplasty	✗ (w niektórych komórkach ich funkcję pełnią tylakoidy)	✗	✓	✗
Siateczka śródplazmatyczna	✗	✓	✓	✓
Rybosomy	✓	✓	✓	✓
Aparat Golgiego	✗	✓	✓	✓
Lizosomy	✗	✓	✗ (funkcję tę pełnią wakuole lityczne)	✗
Peroksysomy	✗	✓	✓	✓
Wakuole	✗	✓ (pojawiają się okresowo)	✓	✓

Komórki wyspecjalizowane

Większość komórek organizmów tkankowych w trakcie rozwoju ulega **specjalizacji**. Proces ten polega na przystosowywaniu budowy i właściwości komórek do pełnienia określonych funkcji w organizmie.

■ Komórki zwierzęce

► Neurony

Są przystosowane do przewodzenia impulsów w układzie nerwowym. Mają wydłużony kształt i liczne wypustki o długości nawet 1 m. Neurony łączą się wypustkami, tworząc gęstą sieć, przez którą przekazują informacje – zarówno między sobą, jak i między komórkami różnych narządów.

ciało komórki z jądrem komórkowym
wypustki

► Krwinki czerwone

Są przystosowane do transportu tlenu w organizmie. U ssaków nie mają jądra komórkowego i większości organelli, dzięki czemu niemal w całości są wypełnione hemoglobina. U większości ssaków krwinki czerwone mają dwuwklęsły kształt, który zwiększa powierzchnię wymiany gazowej.

dwuwklęsły kształt erytrocytu

■ Komórki roślinne

► Człony rurek sitowych

Są przystosowane do przewodzenia asymilatów (produktów fotosyntezy). Mają wydłużony kształt i charakteryzują się brakiem większości organelli. W ścianach komórkowych członów rurek sitowych występują pola sitowe, czyli skupienia otworów, przez które przechodzą pasma cytozolu bogatego w sacharozę. Człony rurek sitowych łączą się ze sobą poprzecznymi ścianami komórkowymi, tworząc długie ciągi – rurki sitowe.

pole sitowe

► Człony naczyń

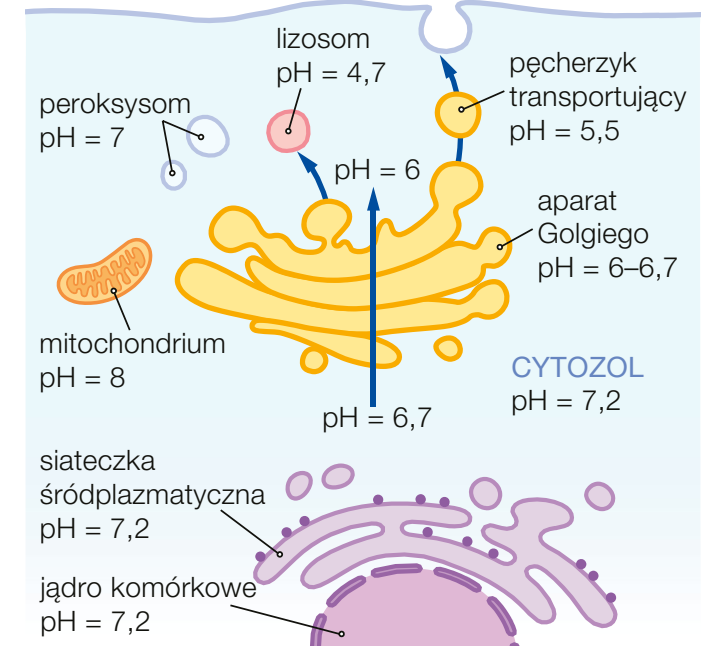
Są przystosowane do przewodzenia wody z solami mineralnymi. Mają wydłużony kształt i składają się wyłącznie z podłużnych, silnie zdrewniałych ścian komórkowych. Człony naczyń są martwe, ponieważ w trakcie ich specjalizacji dochodzi do całkowitej utraty protoplastu (części komórki ograniczonej błoną komórkową). Człony łącząc się ze sobą, tworzą długie ciągi – naczynia.

człon naczynia

brak protoplastu

■ Przedziały komórkowe

Przedziały komórkowe to współpracujące ze sobą obszary komórki, które są ograniczone błonami biologicznymi. Zróżnicowanie komórek eukariotycznych na przedziały komórkowe nosi nazwę **kompartmentacji**. Do przedziałów komórkowych – kompartmentów – zalicza się zarówno rozdzielone błonami wewnątrzkomórkowe obszary cytozolu, jak i wszystkie organelle otoczone błonami śródplazmatycznymi. W różnych typach przedziałów panują odmienne warunki i odbywają się inne procesy. Na przykład w chloroplastach zachodzi synteza związków organicznych z dwutlenku węgla i wody, a w mitochondriach – rozkład związków organicznych do dwutlenku węgla i wody. Przedziały komórkowe zapewniają rozdział przestrzenny procesów metabolicznych, dzięki czemu komórka może funkcjonować bez zakłóceń.



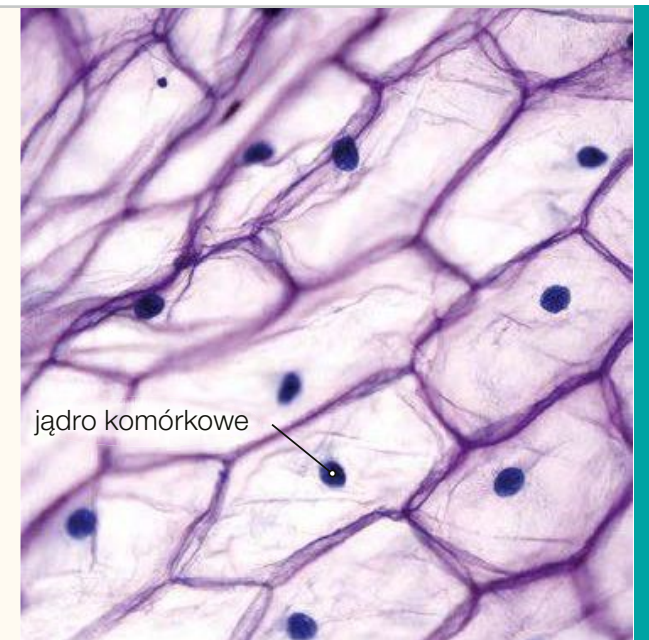
Przedziały komórkowe różnią się m.in. wartością pH. Od wartości pH zależy np. funkcjonowanie enzymów – białek, które przyspieszają przebieg procesów metabolicznych.



Obserwacja różnorodności form i kształtów komórek

Wykonaj obserwacje mikroskopowe komórek roślinnych i zwierzęcych. Skorzystaj z samodzielnie przygotowanych preparatów mikroskopowych (np. z miąższu owocu pomidora, z liści moczarki kanadyjskiej, ze skórki liścia spichrzowego cebuli) oraz z trwałych preparatów 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 zaobserwowane struktury komórkowe.

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



Obserwacja

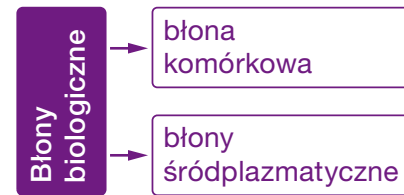
Polecenia kontrolne

- Wyjaśnij, dlaczego duże rozmiary komórek ograniczałyby wydajny transport substancji między komórką a środowiskiem zewnętrznym.
- 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. Obecne w komórce chloroplasty mają w środku ziarna substancji zapasowej, która pod wpływem jodiny barwi się na granatowo.
- Wymień dwa podobieństwa i dwie różnice w budowie komórki bakteryjnej i komórki eukariotycznej.

3.2. Błony biologiczne

Ważne w tym temacie!

- związek między budową a funkcjami błon biologicznych
- właściwości błon biologicznych



Błony biologiczne są jednym z podstawowych elementów budulcowych komórek. Większość komórek prokariotycznych ma tylko błonę komórkową, natomiast komórki eukariotyczne mają zarówno błonę komórkową, jak i błony śródplazmatyczne.

Funkcje błon biologicznych

Błona komórkowa oddziela wnętrze komórek od środowiska zewnętrznego, a błony śródplazmatyczne tworzą w komórkach odrębne przedziały o różnych właściwościach.

Funkcje błon biologicznych:

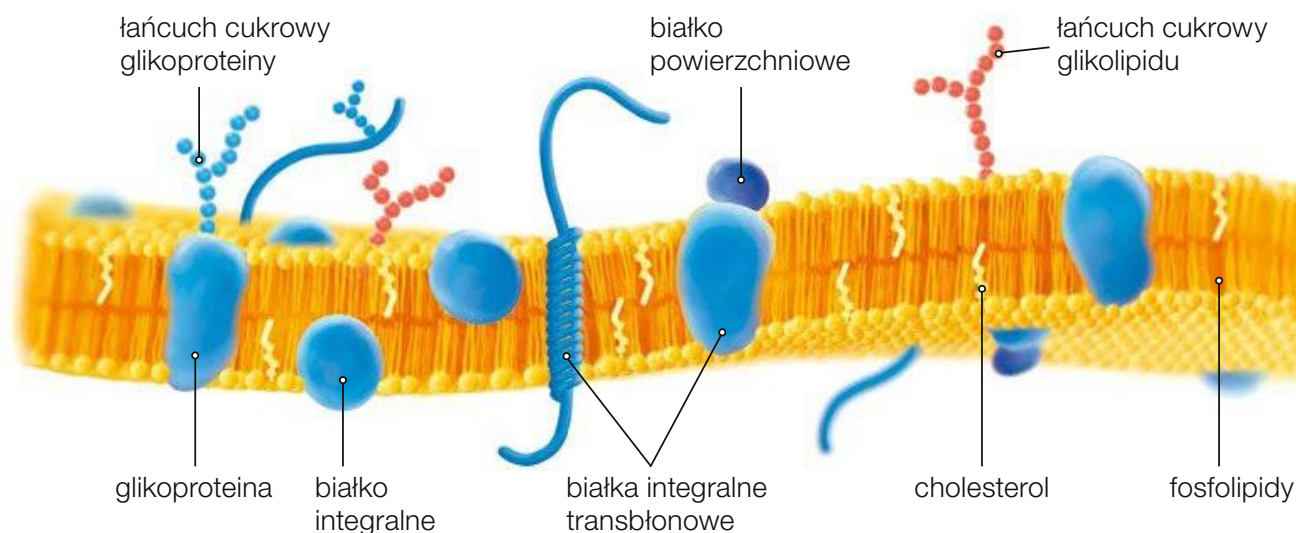
- ▶ są **naturalnymi barierami ochronnymi**, które zabezpieczają komórki i organelle przed zmianami składu chemicznego, uszkodzeniami mechanicznymi oraz wnikaniem drobnoustrojów chorobotwórczych,
- ▶ **odbierają sygnały** z otoczenia i przekazują je do wnętrza komórek lub organeli,
- ▶ **pośredniczą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

Budowa błon biologicznych

Wszystkie błony biologiczne mają podobną budowę. Składają się głównie z białek i lipidów, dlatego nazywa się 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 w kierunku wnętrza dwuwarstwy, a hydrofilowymi głowami – w kierunku wodnych roztworów znajdujących się wewnątrz i na zewnątrz komórki lub organellum.

W skład błony komórkowej komórek zwierzęcych – oprócz lipidów złożonych – wchodzi również **cholesterol**. Jego cząsteczki wbudowują się między hydrofobowe reszty kwasów tłuszczowych, dzięki czemu uszczelniają dwuwarstwę i zmniejszają jej płynność. W błonie komórkowej komórek bakterii, roślin i grzybów nie ma cholesterolu, mogą w niej 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 wchodzi głównie białka proste, lipoproteiny i glikoproteiny. W zależności od położenia w błonie oraz sposobu związania z dwuwarstwą lipidową białka błonowe dzieli się na integralne i powierzchniowe.

▶ **Białka integralne** mają części hydrofobowe, które wnikają do wnętrza dwuwarstwy lipidowej, oraz części hydrofilowe, które kontaktują się ze środowiskiem wodnym po jednej lub po obu stronach dwuwarstwy.

▶ **Białka powierzchniowe** (peryferyczne) mają właściwości hydrofilowe, dlatego nie wnikają w głąb dwuwarstwy lipidowej. Są one luźno związane z białkami integralnymi, m.in. za pomocą wiązań jonowych oraz wiązań wodorowych.

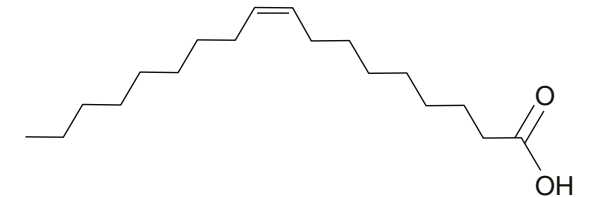
Podział białek błonowych ze względu na pełnione funkcje:

- ▶ **białka transportujące** umożliwiają wymianę substancji między komórką a otoczeniem oraz między różnymi przedziałami komórki,
- ▶ **białka kotwiczące** zwiększają wytrzymałość mechaniczną błony,
- ▶ **białka receptorowe** odbierają sygnały ze środowiska zewnętrznego lub sygnały docierające od innych komórek,
- ▶ **białka enzymatyczne** przyspieszają niektóre reakcje zachodzące w komórce.

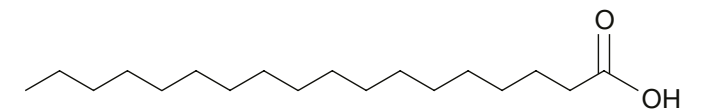
Właściwości błon biologicznych

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,
- ▶ lipidy o długich i nasyconych łańcuchach węglowodorowych, a także steroidy zmniejszają płynność błon.

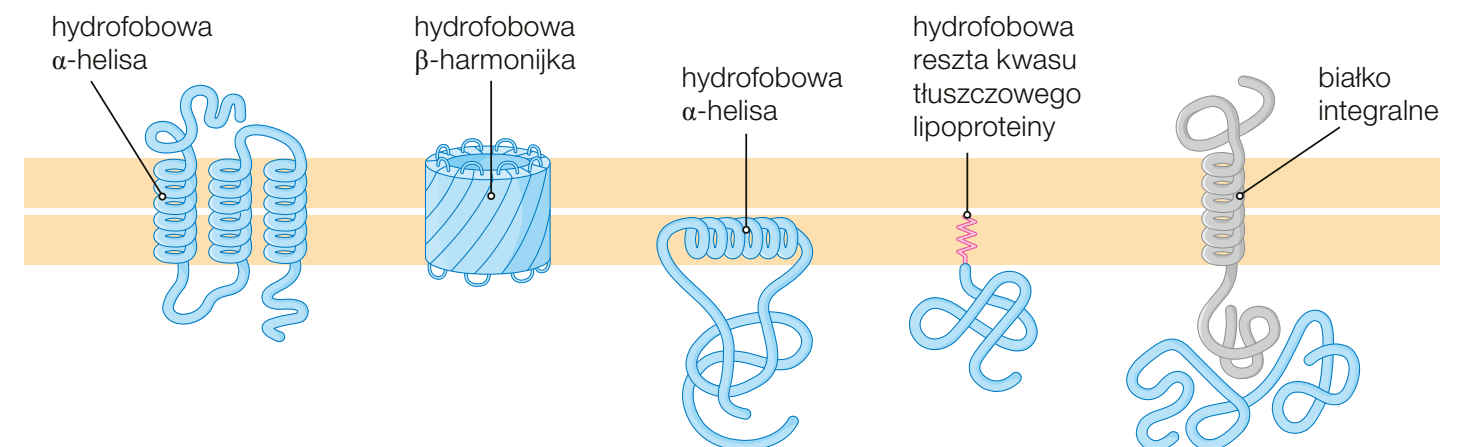


Cząsteczki nienasyconych kwasów tłuszczowych są wygięte, dlatego ściśle do siebie nie przylegają. W ten sposób zwiększają płynność błon.



Cząsteczki nasyconych kwasów tłuszczowych są proste, dlatego ściśle do siebie przylegają. W ten sposób zmniejszają płynność błon.

Podział białek błonowych ze względu na sposób związania z dwuwarstwą lipidową



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

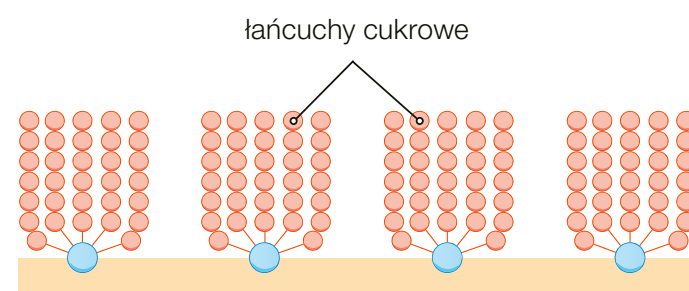
Białka integralne nieprzebijające błony wnikają tylko do jednej monowarstwy lipidowej.

Białka powierzchniowe są luźno związane z białkami integralnymi.

Stopień płynności błon wpływa na ich przepuszczalność i spójność. Im płynniejsza błona, tym większa jest jej przepuszczalność. Duża przepuszczalność umożliwia szybszy transport substancji między komórką a otoczeniem lub między różnymi przedziałami komórki. Z kolei im mniej płynna błona, tym większe są jej spójność i szczelność.

Błony mają charakter asymetryczny. Oznacza to, że każda z dwóch warstw błony ma swój własny skład lipidowy oraz własny zestaw osadzonych w niej białek. Asymetria dotyczy zarówno błony komórkowej, jak i błon śródplazmatycznych. Na przykład zewnętrzna warstwa błony komórkowej komórek zwierzęcych jest bogata w glikolipidy i glikoproteiny. Ich cukrowe łańcuchy pokrywają powierzchnię komórek, tworząc na niej silnie uwodniony **glikokaliks**

(płaszcz cukrowy). Chroni on komórkę przed uszkodzeniami chemicznymi i mechanicznymi oraz odgrywa ważną rolę w rozpoznawaniu się komórek.



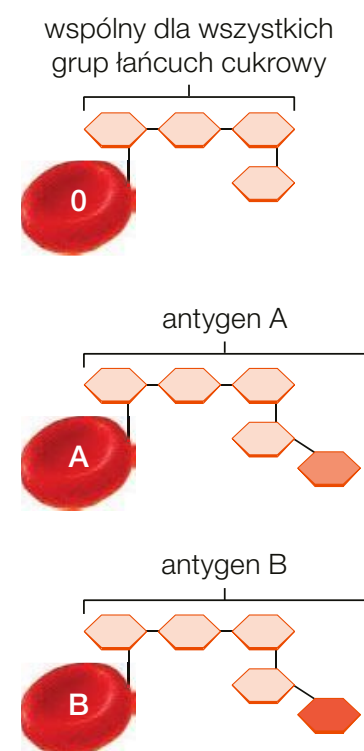
Glikokaliks występuje na zewnętrznej powierzchni błony komórkowej komórek zwierzęcych.

Błony mają charakter półprzepuszczalny (selektywnie przepuszczalny). Dzięki temu mogą przez nie swobodnie przenikać tylko niektóre substancje.

Poznamy się po cukrze!

Większość glikolipidów i glikoprotein wchodzących w skład błony komórkowej tworzy tzw. antygeny powierzchniowe. Ich funkcją jest znakowanie komórek organizmu, tak by nie zostały one uznane przez własny układ odpornościowy za komórki obce, przeznaczone do likwidacji. Do antygenów powierzchniowych należą m.in. antygeny A i B, które występują w błonach krwinek czerwonych i warunkują układ grupowy krwi AB0 (ABO). W skład tych antygenów wchodzi łańcuchy cukrowe o odmiennej budowie. Zróżnicowanie antygenów powierzchniowych zapobiega infekcjom pasożytniczym w obrębie populacji. Na przykład jeśli bakterie chorobotwórcze wytworzą na swojej powierzchni antygen podobny do antygeny A, to rozwiną się one głównie u osób z grupą krwi A lub AB, gdyż 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.

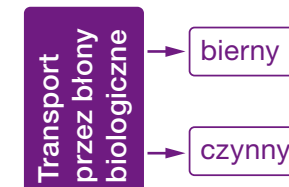
Dowiedz się więcej



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 glikokaliksu dla funkcjonowania komórki i organizmu.

3.3. Transport przez błony biologiczne



Ważne w tym temacie!

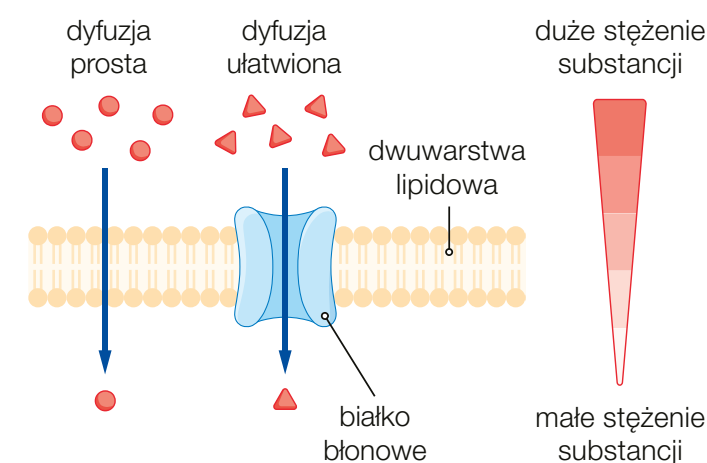
- rodzaje transportu substancji przez błony biologiczne
- rola błony komórkowej w procesach osmotycznych

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

Transport bierny i transport czynny

Ze względu na nakład energetyczny transport błonowy dzieli się na:

- ▶ **transport bierny** (pasywny) – nie wymaga nakładu energii, ponieważ zachodzi zgodnie z gradientem (różnicą) stężeń, czyli ze środowiska o większym stężeniu substancji do środowiska o jej mniejszym stężeniu. Transport ten odbywa się:
 - bezpośrednio przez dwuwarstwę lipidową (dyfuzja prosta),
 - z udziałem białek błonowych kanałowych lub nośnikowych (dyfuzja ułatwiona);
- ▶ **transport czynny** (aktywny) – wymaga nakładu energii, ponieważ zachodzi wbrew gradientowi stężeń, czyli ze środowiska o mniejszym stężeniu substancji do środowiska o jej większym stężeniu. Transport ten odbywa się z udziałem białek błonowych nośnikowych lub pomp.



Transport bierny substancji przez błonę biologiczną.

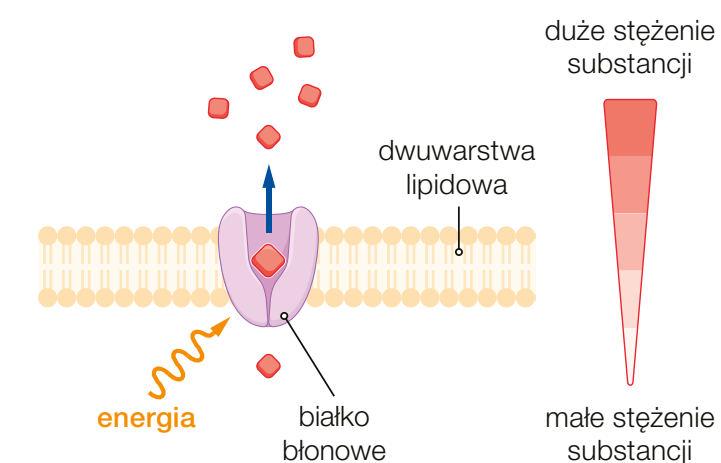
Transport bezpośrednio przez dwuwarstwę lipidową

Transport substancji bezpośrednio przez dwuwarstwę lipidową nosi nazwę dyfuzji prostej. Nie wymaga on nakładu energii, ponieważ zachodzi zgodnie z gradientem stężeń.

Zdolność cząsteczek do dyfuzji prostej przez błonę półprzepuszczalną zależy od ich wielkości i polarności. Dyfuzja małych cząsteczek niepolarnych, np. O_2 , CO_2 , odbywa się bez przeszkód, a dyfuzja małych cząsteczek polarnych, np. wody, glicerolu – tylko w ograniczonym stopniu.

Osmoza

Odmianą dyfuzji prostej jest osmoza, która polega na przenikaniu wody (rozpuszczalnika) przez błonę półprzepuszczalną. Jeśli błoną półprzepuszczalną są rozdzielone dwa roztwory o różnym stężeniu, to woda zawsze przepływa z roztworu mniej stężonego – **hipotonicznego** – do roztworu bardziej stężonego – **hipertonicznego**. W efekcie dochodzi do wyrównania stężeń substancji rozpuszczonej po obu stronach błony.



Transport czynny substancji przez błonę biologiczną.

Błoną półprzepuszczalną mogą być rozdzielone również dwa roztwory o takim samym stężeniu, czyli roztwory **izotoniczne**. Wymieniają się one wodą, ale ilość wody przepływającej przez błonę w obu kierunkach jest taka sama.

Zachowanie komórek w roztworach: izotonicznym, hipertonicznym i hipotonicznym zależy od obecności lub braku ściany komórkowej. Inaczej zachowują się komórki, które mają tylko błonę komórkową (np. komórki zwierzęce), a inaczej – komórki osłonięte dodatkowo ścianą komórkową (np. komórki roślinne).

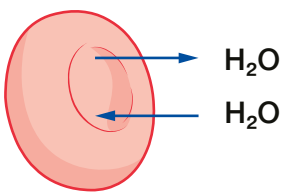
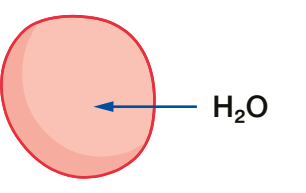
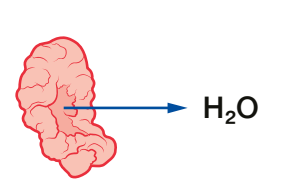
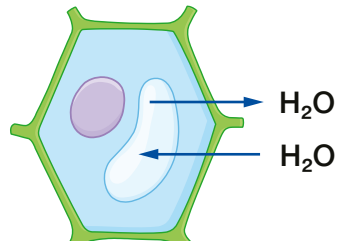
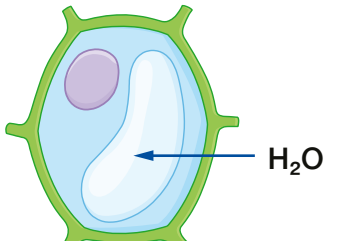
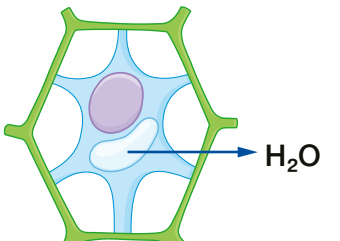
► **W roztworze izotonicznym** zarówno komórki zwierzęce, jak i komórki roślinne wymieniają osmotycznie wodę z otoczeniem, ale ilość wody wpływającej do wnętrza komórki jest taka sama jak ilość wody wypływającej na zewnątrz (osmoza pozornie nie zachodzi).

► **W roztworze hipertonicznym:**
– **komórki zwierzęce** oddają osmotycznie wodę do otoczenia, w wyniku czego się kurczą, a następnie rozpadają;

– **komórki roślinne** oddają osmotycznie wodę do otoczenia, co powoduje odwodnienie cytozolu oraz zmniejszenie objętości wakuoli. W efekcie protoplast kurczy się i odstaje od sztywnej ściany komórkowej. Zjawisko odstawiania protoplastu od ściany komórkowej w wyniku osmotycznego odpływu wody nosi nazwę **plazmolizy**.

► **W roztworze hipotonicznym:**
– **komórki zwierzęce** pobierają osmotycznie wodę z otoczenia – wskutek tego pęcznią i ostatecznie pękają;
– **komórki roślinne** pobierają osmotycznie wodę z otoczenia – aż do osiągnięcia stanu maksymalnej jędrności (turgoru). Następnie przestają pobierać wodę ze względu na obecność sztywnej ściany komórkowej. Jeśli w roztworze hipotonicznym umieści się komórkę splazmolizowaną, to wróci ona do stanu sprzed plazmolizy. Zjawisko to nosi nazwę **deplazmolizy**.

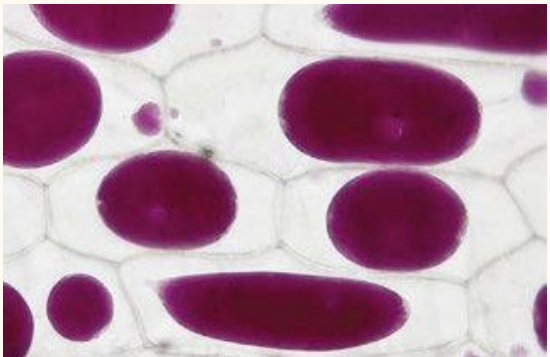
Osmoza w komórkach zwierzęcych i roślinnych

Roztwór izotoniczny	Roztwór hipotoniczny	Roztwór hipertoniczny
Komórki zwierzęce		
• kształt komórek pozostaje bez zmian 	• komórki pęcznią i pękają 	• komórki kurczą się i rozpadają 
Komórki roślinne		
• kształt komórek i objętość wakuoli pozostają bez zmian • turgor komórek pozostaje bez zmian 	• komórki nieznacznie pęcznią, objętość wakuoli się zwiększa • turgor komórek rośnie 	• kształt komórek pozostaje bez zmian, objętość wakuoli się zmniejsza, protoplast kurczy się i odstaje od ściany komórkowej • turgor komórek maleje 



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 15-procentowego roztworu sacharozy. Obserwuj kolejne stadia plazmolizy w komórkach. Wykonaj odpowiednie rysunki.
- Etap II:** Z jednej strony szkiełka nakrywkowego, pod którym znajdują się splazmolizowane komórki, umieść dużą kroplę wody destylowanej, a z drugiej strony – pasek bibuły laboratoryjnej o szerokości ok. 1 cm. Obserwuj kolejne stadia deplazmolizy w komórkach. Ponownie wykonaj odpowiednie rysunki.



Plazmoliza w komórkach skórki liścia spichrzowego cebuli (obraz spod mikroskopu optycznego, preparat barwiony).



Obserwacja

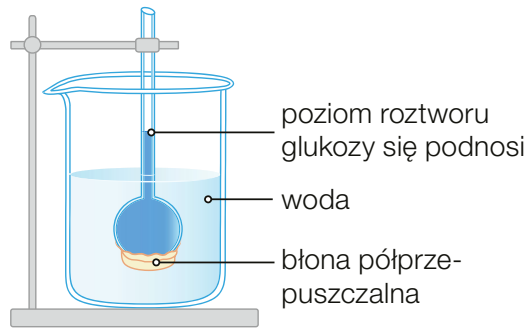
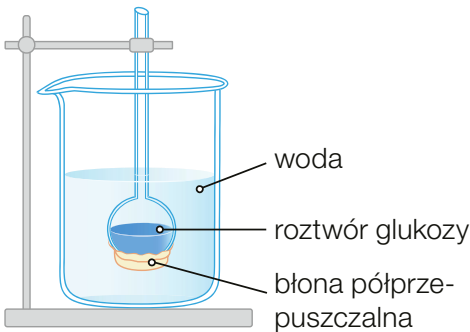
Aktywność osmotyczna substancji

Aktywność osmotyczna substancji to jej zdolność do wywoływania procesu osmozy. Zdolność tę wykazują **substancje osmotycznie czynne** (aktywne), czyli substancje rozpuszczalne w wodzie. Nie wykazują jej natomiast **substancje osmotycznie bierne** (pasywne), czyli substancje nierozpuszczalne w wodzie.
► Największą aktywnością osmotyczną cechują się jony nieorganiczne (np. Na^+ , K^+) oraz

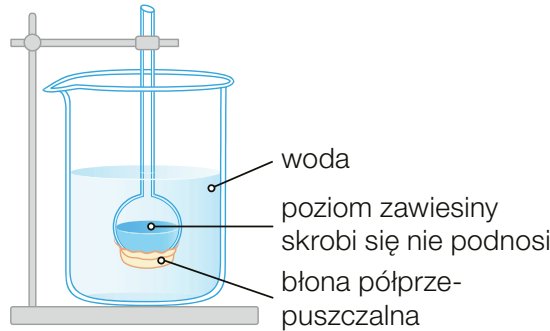
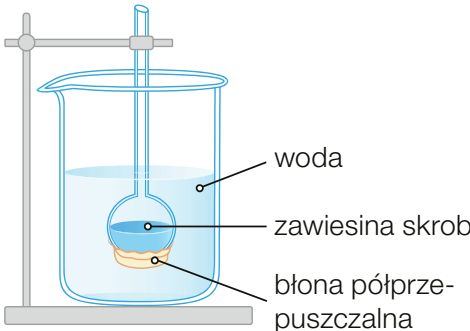
rozpuszczalne związki drobnocząsteczkowe (np. glukoza, sacharoza) – tworzą one z wodą roztwór rzeczywisty.

- Znacznie mniejszą aktywnością osmotyczną cechują się rozpuszczalne związki wielocząsteczkowe (np. niektóre białka) – tworzą one z wodą roztwór koloidalny.
- Brakiem aktywności osmotycznej cechują się związki nierozpuszczalne (np. skrobia, oleje) – tworzą one z wodą zawiesiny lub emulsje.

Substancje osmotycznie czynne i osmotycznie bierne



Glukoza jest substancją osmotycznie czynną, dlatego woda przepływa przez błonę półprzepuszczalną do roztworu glukozy. W efekcie roztwór ulega rozcieńczeniu, a jego poziom w lejku się podnosi.

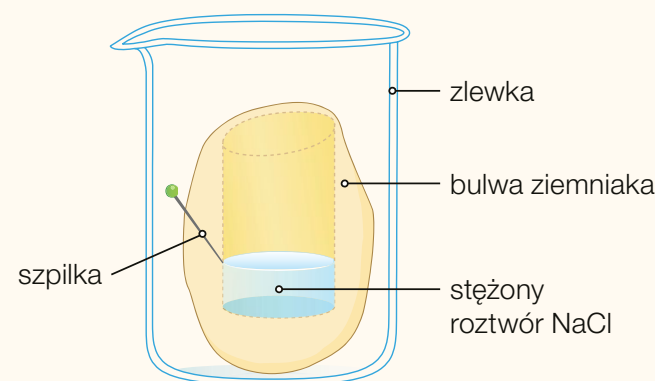


Skrobia jest substancją osmotycznie bierną, dlatego ilość wody przepływającej przez błonę półprzepuszczalną w obu kierunkach jest taka sama. W efekcie poziom zawiesiny w lejku się nie podnosi.

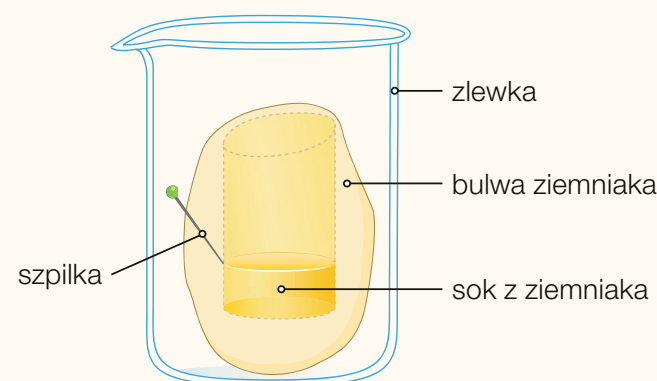
Badanie procesu osmozy

- 1 Problem badawczy:** Czy chlorek sodu (NaCl) jest substancją osmotycznie czynną?
- 2 Hipoteza badawcza:** Sformułuj hipotezę badawczą.
- 3 Przebieg doświadczenia:** Obierz dwie duże bulwy ziemniaka i wydrąż w każdej z nich zagłębienie o pojemności ok. 5 cm³. Następnie przygotuj stężony (5-procentowy) roztwór soli kuchennej (NaCl) oraz dwie zlewki – A i B. Włóż do nich bulwy ziemniaka. Do zagłębienia w bulwie umieszczonej w zlewce A wlej ok. 1 cm³ stężonego roztworu soli kuchennej i zaznacz szpilką jego poziom. Z kolei do zagłębienia w bulwie ziemniaka włożonej do zlewki B wlej ok. 1 cm³ soku z ziemniaka. Jego poziom również zaznacz szpilką.

Próba badawcza: Zlewka A zawierająca bulwę ziemniaka z zagłębieniem wypełnionym stężonym roztworem NaCl.

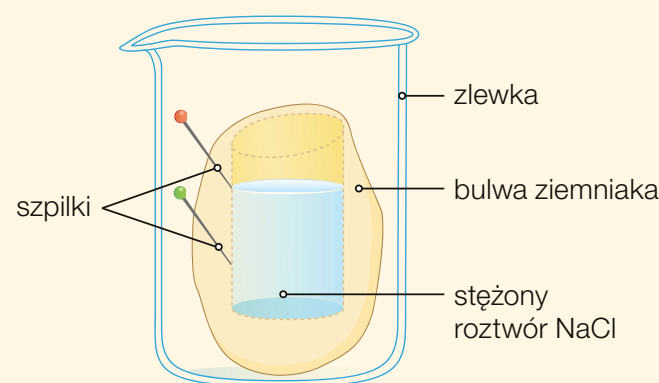


Próba kontrolna: Zlewka B zawierająca bulwę ziemniaka z zagłębieniem wypełnionym sokiem z ziemniaka.



- 4 Wynik doświadczenia:** Obserwuj zmiany zachodzące w obu próbach. Jeśli poziom cieczy w którejś próbce się zmieni, to również zaznacz go szpilką.
- 5 Wniosek:** Sformułuj wniosek.

Wyjaśnienie: Komórki bulwy ziemniaka są otoczone półprzepuszczalną błoną komórkową, przez którą może zachodzić osmoza. Sól kuchenna to substancja osmotycznie czynna, a jej stężony roztwór jest hipertoniczny w stosunku do cytoplazmy komórek. W próbie badawczej woda przepływa z komórek bulwy do stężonego roztworu soli kuchennej, który znajduje się w wydrążeniu. W efekcie roztwór soli kuchennej ulega rozcieńczeniu, a jego poziom w wydrążeniu bulwy się podnosi. W próbie kontrolnej osmoza pozornie nie zachodzi, więc poziom wody w wydrążeniu bulwy się nie zmienia.



Próba badawcza w końcowej fazie doświadczenia.

Transport przez błony biologiczne z udziałem białek błonowych

Transport substancji z udziałem białek błonowych odbywa się w sposób bierny (przez białka kanałowe lub białka nośnikowe) albo w sposób czynny (przez białka nośnikowe lub pompy).

- **Białka kanałowe** tworzą w błonie hydrofilowe kanały, które mogą otwierać się i zamykać pod wpływem sygnałów docierających z otoczenia. Przez te kanały zgodnie z gradientem stężeń przemieszczają się jony nieorganiczne – np. K⁺, Na⁺ – oraz niewielkie polarne cząsteczki związków chemicznych – np. H₂O (→ s. 116).
- **Białka nośnikowe** wiążą jony lub cząsteczki związków chemicznych po jednej stronie błony, a następnie zmieniają strukturę

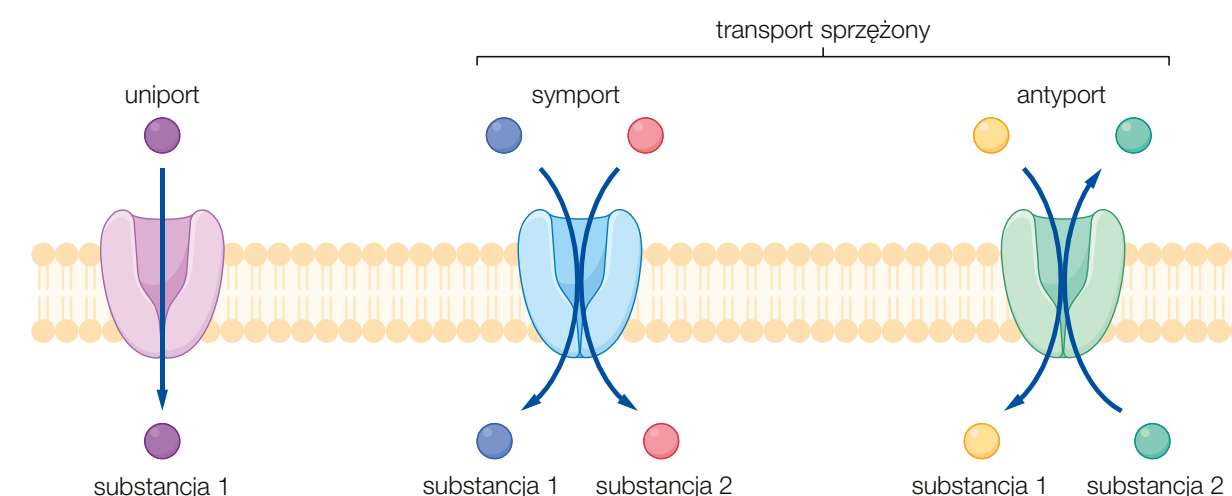
przestrzenną i uwalniają transportowane substancje po drugiej stronie błony. Przez białka nośnikowe są transportowane jony oraz niewielkie polarne cząsteczki związków chemicznych (np. glukoza, aminokwasy). W zależności od funkcji białka nośnikowe przenoszą substancje zgodnie z gradientem stężeń (transport bierny → s. 116) lub wbrew niemu (transport czynny → s. 117). W przypadku transportu czynnego źródłem energii do pracy białek nośnikowych jest zwykle gradient stężeń jonów wytworzony przez pompy.

- **Pompy** działają podobnie do białek nośnikowych, ale zawsze przenoszą substancje (głównie jony nieorganiczne) wbrew gradientowi stężeń (transport czynny → s. 117). Źródłem energii do pracy pomp jest zwykle ATP.

Rodzaje transportu przez białka nośnikowe

Białka nośnikowe mogą transportować substancje na dwa główne sposoby – uniportem lub transportem sprzężonym.

- **Uniport** polega na przenoszeniu przez błonę tylko jednej określonej substancji zgodnie z gradientem jej stężenia. Jest to transport bierny.
- **Transport sprzężony** polega na jednoczesnym przenoszeniu przez błonę dwóch różnych substancji. Transport ten odbywa się w sposób czynny. Wyróżnia się dwa rodzaje transportu sprzężonego:
 - **symport** – zachodzi wtedy, gdy substancje są przenoszone w tym samym kierunku,
 - **antyport** – zachodzi wtedy, gdy substancje są przenoszone w przeciwnych kierunkach.



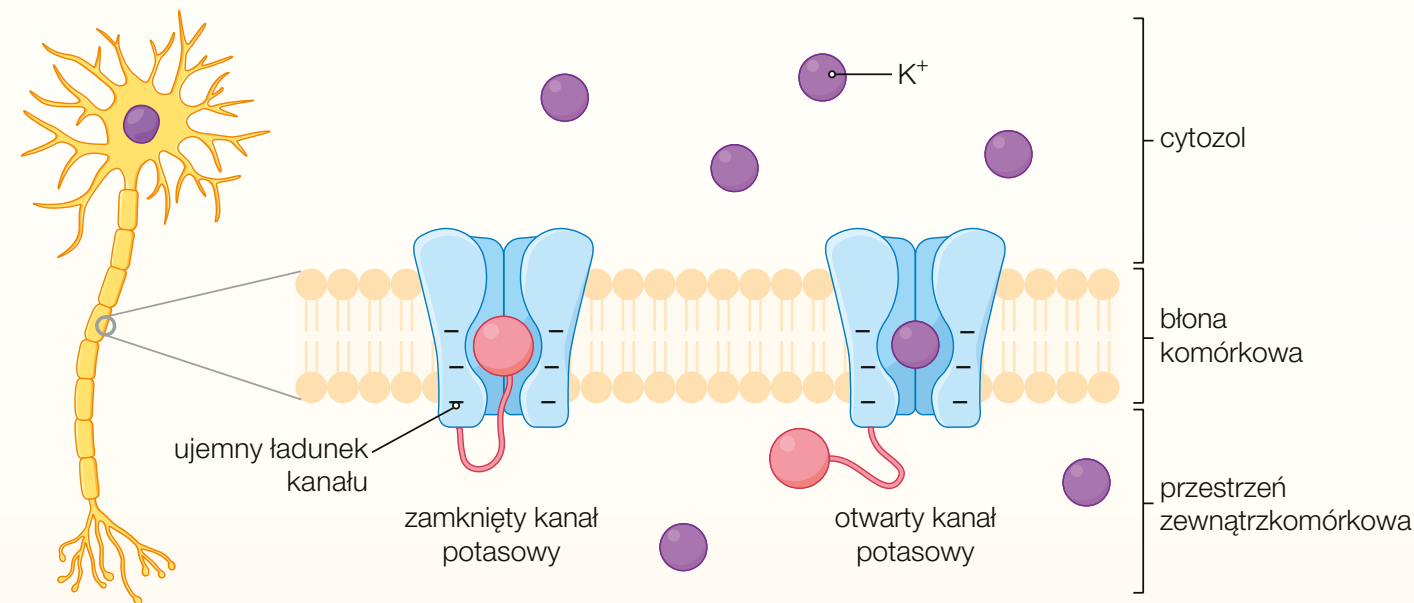
Uniport i transport sprzężony.

Przykłady transportu biernego z udziałem białek błonowych

Transport bierny odbywa się za pomocą białek kanałowych (np. kanałów jonowych) oraz białek nośnikowych.

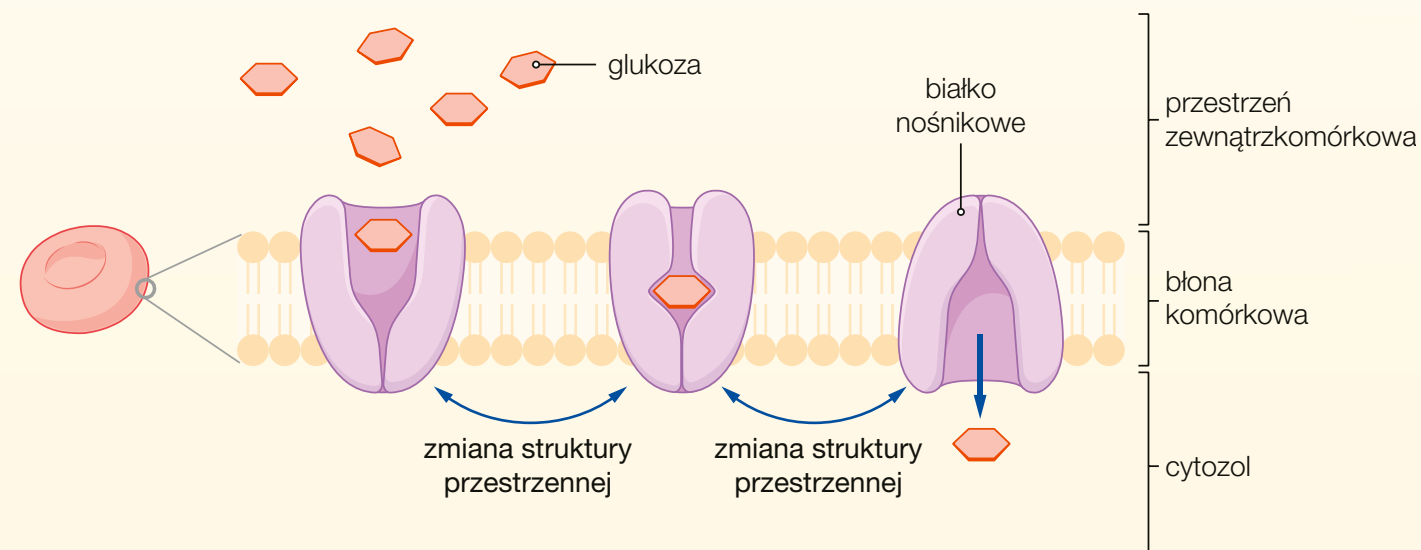
■ Transport z udziałem kanałów jonowych

Kanały jonowe służą do selektywnego (wybiórczego) transportu jonów nieorganicznych. Przykładem kanałów jonowych są kanały potasowe, które występują m.in. w błonach komórkowych komórek nerwowych. Białka tworzące kanały potasowe mają ładunek ujemny, a średnica tworzonych przez nie porów jest dopasowana do średnicy jonów potasu.



■ Transport z udziałem białek nośnikowych

Białka nośnikowe wiążą jony lub cząsteczki związków chemicznych po jednej stronie błony, a następnie zmieniają strukturę przestrzenną i uwalniają transportowane substancje po drugiej stronie błony. W ten sposób zachodzi m.in. transport glukozy przez błony krwinek czerwonych.

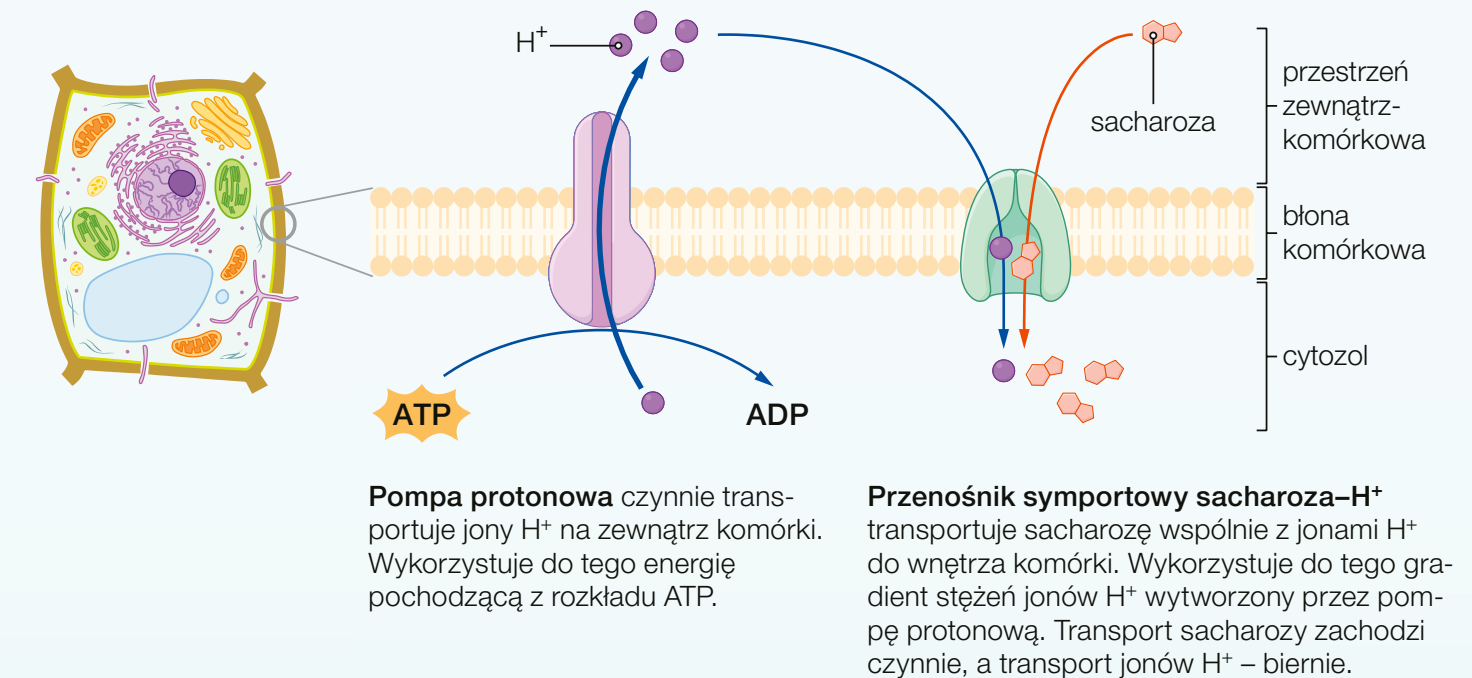


Przykłady transportu czynnego z udziałem białek błonowych

Transport czynny odbywa się za pomocą pomp, a także białek nośnikowych symportowych i antyportowych.

■ Transport z udziałem pompy protonowej i przenośnika symportowego sacharoza-H⁺

Transport ten zachodzi w komórkach roślinnych. Umożliwia przenoszenie sacharozy z przestrzeni międzykomórkowych do wnętrza komórek.

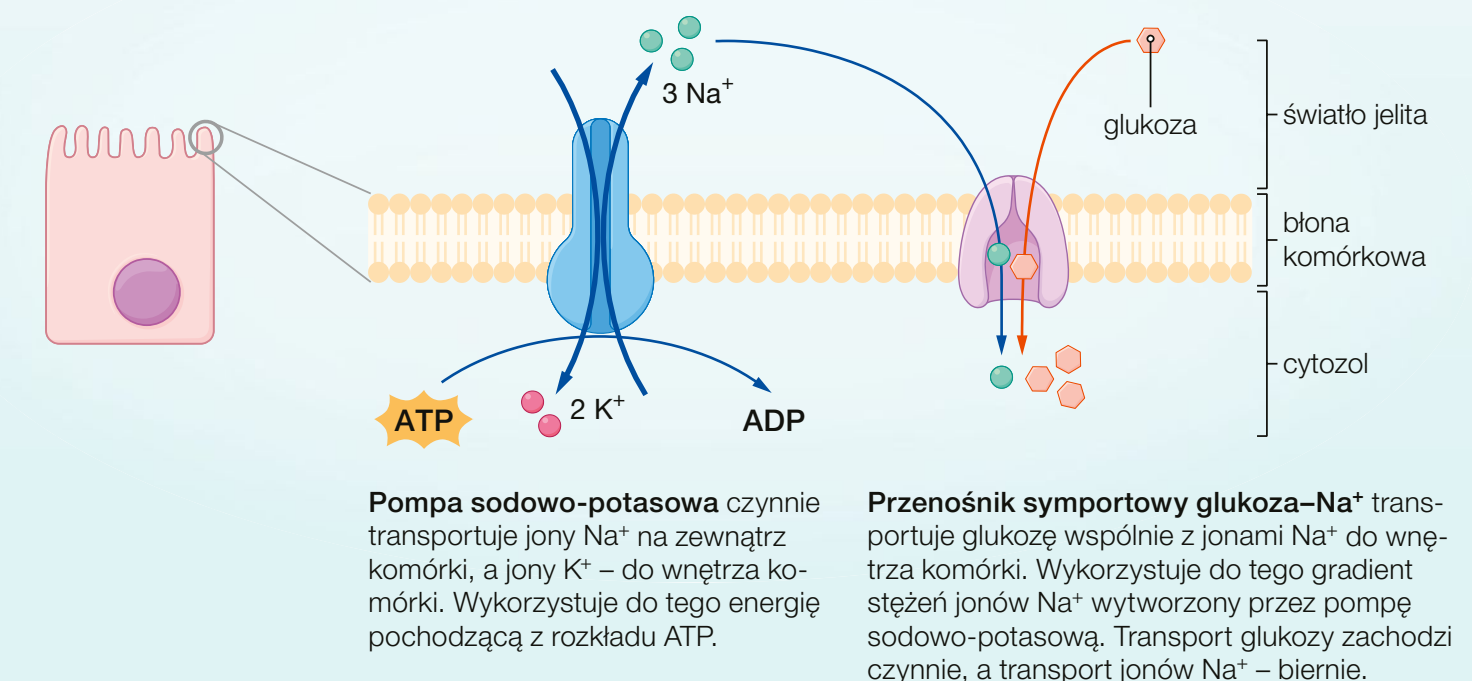


Pompa protonowa czynnie transportuje jony H⁺ na zewnątrz komórki. Wykorzystuje do tego energię pochodzącą z rozkładu ATP.

Przenośnik symportowy sacharoza-H⁺ transportuje sacharozę wspólnie z jonami H⁺ do wnętrza komórki. Wykorzystuje do tego gradient stężeń jonów H⁺ wytworzony przez pompę protonową. Transport sacharozy zachodzi czynnie, a transport jonów H⁺ – biernie.

■ Transport z udziałem pompy sodowo-potasowej i przenośnika symportowego glukoza-Na⁺

Transport ten zachodzi w komórkach zwierzęcych, m.in. w nabłonku jelita cienkiego. Umożliwia przenoszenie glukozy ze światła jelita do wnętrza komórek nabłonka.



Pompa sodowo-potasowa czynnie transportuje jony Na⁺ na zewnątrz komórki, a jony K⁺ – do wnętrza komórki. Wykorzystuje do tego energię pochodzącą z rozkładu ATP.

Przenośnik symportowy glukoza-Na⁺ transportuje glukozę wspólnie z jonami Na⁺ do wnętrza komórki. Wykorzystuje do tego gradient stężeń jonów Na⁺ wytworzony przez pompę sodowo-potasową. Transport glukozy zachodzi czynnie, a transport jonów Na⁺ – biernie.

Transport pęcherzykowy

Transport pęcherzykowy polega na przenoszeniu substancji za pomocą pęcherzyków utworzonych z fragmentów błon biologicznych. Transportem takim są przenoszone głównie substancje wielkocząsteczkowe (np. białka), a także całe struktury (np. mniejsze komórki). Ze względu na swe duże rozmiary wielkocząsteczkowe substancje oraz struktury nie przedostają się przez błonowe białka transportujące.

Transport pęcherzykowy zachodzi zarówno między komórką a otoczeniem, jak i między określonymi przedziałami komórki. Transportowane substancje 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 (ulegają

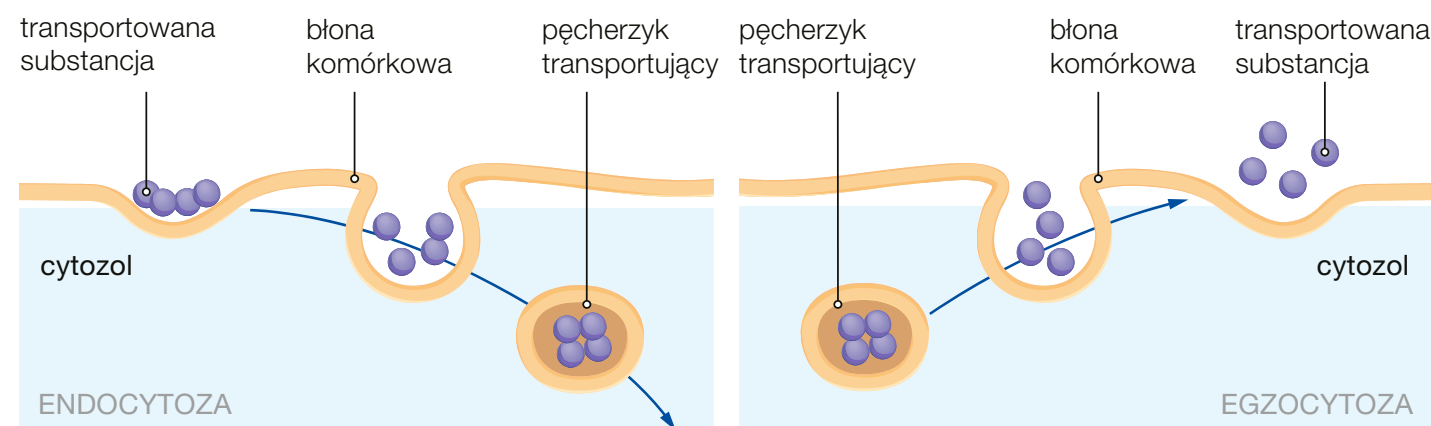
fuzji) z błoną docelową i uwalniają swoją zawartość na zewnątrz komórki lub do światła organelum.

Transport substancji z otoczenia do wnętrza komórki określa się mianem endocytozy, a transport w przeciwnym kierunku – mianem egzocytozy.

Podstawowe rodzaje endocytozy:

- ▶ **fagocytoza** – proces pobierania przez komórkę drobnych nierozpuszczalnych cząstek, m.in. bakterii lub szczątków organicznych,
- ▶ **pinocytoza** – proces pobierania przez komórkę małych kropli płynów zawierających substancje rozpuszczalne w wodzie.

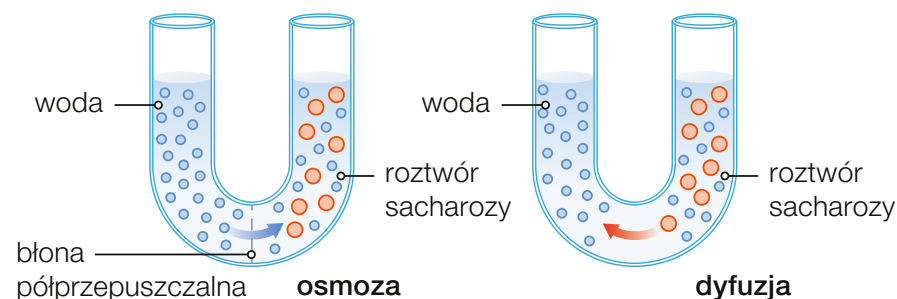
Na drodze fagocytozy i pinocytozy odżywiają się niektóre organizmy, np. wiele gatunków protistów.



Transport pęcherzykowy pociąga za sobą zmiany w strukturze błon. Oddzielanie się pęcherzyków powoduje zmniejszenie powierzchni błony, a zlewanie się pęcherzyków – zwiększenie powierzchni błony.

Polecenia kontrolne

1. Na podstawie rysunku porównaj proces osmozy z procesem dyfuzji. Podaj jedno podobieństwo i jedną różnicę między tymi procesami.



2. Wymień dwie różnice między transportem biernym a transportem czynnym.
3. Określ skutki umieszczenia komórki roślinnej oraz komórki zwierzęcej w roztworach: hipotonicznym, izotonicznym i hipertonicznym.
4. Podaj cechę budowy błony biologicznej pozwalającą na zlewanie się pęcherzyków transportujących z błoną komórkową.

3.4. Jądro komórkowe. Cytozol

Ważne w tym temacie!

- budowa jądra komórkowego
- rola jądra komórkowego w funkcjonowaniu komórki

Jądro komórkowe odgrywa kluczową rolę w funkcjonowaniu komórki eukariotycznej. Zawiera ono materiał genetyczny – dzięki temu kontroluje przebieg większości procesów życiowych komórki i umożliwia jej podział. Pozostałe organelle komórkowe wraz z cytozolem tworzą **cytoplazmę komórki**.

Jądro komórkowe

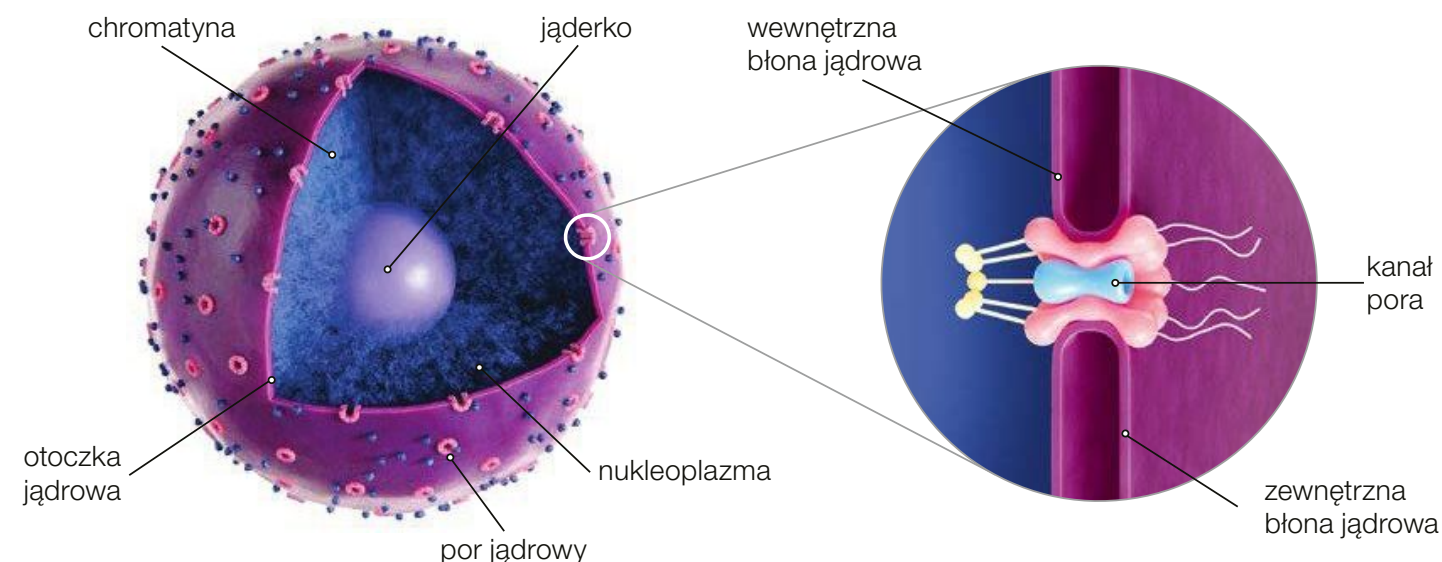
Jądro komórkowe występuje tylko w komórkach eukariotycznych. Większość komórek ma jedno jądro komórkowe, ale istnieją również komórki dwujądrowe oraz wielojądrowe – komórczaki. Do komórczaków należą:

- ▶ **cenocyty**, które powstają w wyniku wielokrotnych podziałów jądra komórkowego bez podziałów cytoplazmy; do cenocytów należą m.in. strzępki niektórych gatunków grzybów,
- ▶ **syncytia**, które powstają w wyniku zlewania się wielu jednojądrowych komórek; do syncytiów należą m.in. włókna mięśniowe mięśni szkieletowych człowieka (tworzą się one w trakcie rozwoju zarodkowego).

Niektóre komórki eukariotyczne, m.in. krwinki czerwone ssaków, nie mają jądra komórkowego, ponieważ zanika ono podczas procesu specjalizacji (→ s. 106).

Budowa jądra komórkowego

Jądro komórkowe jest oddzielone od cytoplazmy dwiema **błonami jądrowymi** tworzącymi **otoczkę jądrową**. Znajdują się w niej **pory jądrowe**, czyli białkowe kompleksy, które zawierają kanały odpowiedzialne za transport substancji między wnętrzem jądra a cytoplazmą. Wnętrze jądra komórkowego wypełniają: chromatyna, macierz jądrowa oraz nukleoplazma. **Chromatyna** jest kompleksem DNA i histonów budującym chromosomy eukariotyczne. W okresie między podziałami komórki chromosomy mają postać cienkich, długich nici chromatynowych, a podczas podziałów komórki – grubych, krótkich, pałeczkowatych struktur. **Macierz jądrowa** to sieć białkowych włókien tworzących szkielet jądra komórkowego. Jej główną funkcją jest stabilizowanie



Budowa jądra komórkowego.

Budowa pory jądrowego.

struktury przestrzennej chromatyny. **Nukleoplazmę** stanowi koloidalny roztwór, który zawiera m.in. RNA oraz białka enzymatyczne i regulatorowe.

Częścią jądra komórkowego jest **jąderko** – nieołoniona, zwykle kulista struktura zawierająca chromatynę jąderkową, RNA i liczne białka.

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.

Chromosomy znajdujące się w jądrze komórkowym zawierają geny, czyli odcinki DNA, w których jest zapisana informacja genetyczna. Nie opuszczają one jądra komórkowego, ale

stanowią wzorzec do syntezy cząsteczek mRNA, tRNA i rRNA.

► **Cząsteczki mRNA i tRNA** bezpośrednio po syntezie przemieszczają się z jądra komórkowego do cytoplazmy.

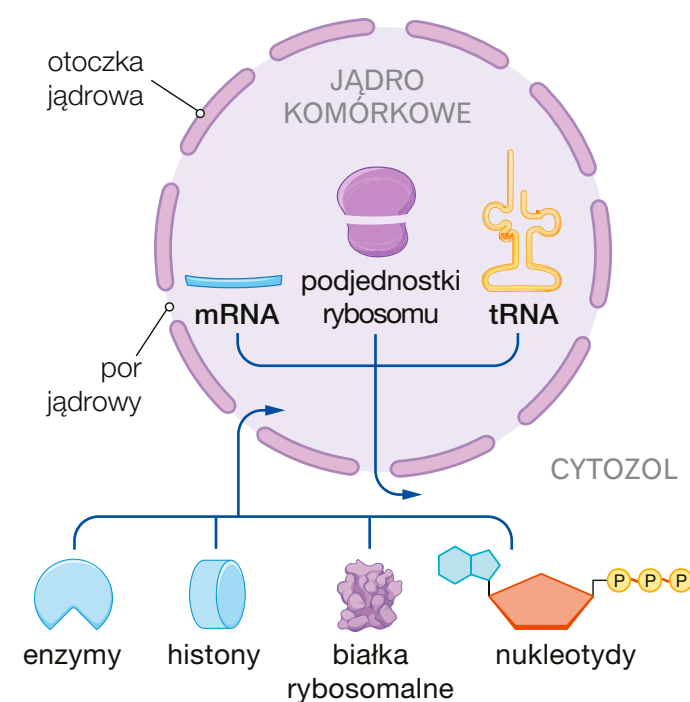
► **Cząsteczki rRNA** powstają na terenie jąderka. Tam łączą się z białkami w **podjednostki rybosomów**, które również wędrują z jądra komórkowego do cytoplazmy.

W cytoplazmie na podstawie informacji zawartej w mRNA, z udziałem tRNA i rybosomów, odbywa się wytwarzanie białek. Ogół procesów prowadzących od syntezy RNA do syntezy białka nosi nazwę **ekspresji genów**. Białka – ostateczne produkty ekspresji genów – są głównym składnikiem budulcowym komórek i tkanek, a także odgrywają kluczową rolę w ich metabolizmie. Poprzez kontrolę syntezy białek jądro komórkowe wpływa na przebieg większości procesów życiowych komórki.

Transport przez pory jądrowe

Jądro komórkowe jest otoczone dwiema błonami jądrowymi, które tworzą otoczkę jądrową. Obecność aż dwóch barier uniemożliwia swobodny przepływ substancji między wnętrzem jądra a cytoplazmą. Z tego powodu 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 niż komórki o małej aktywności metabolicznej.

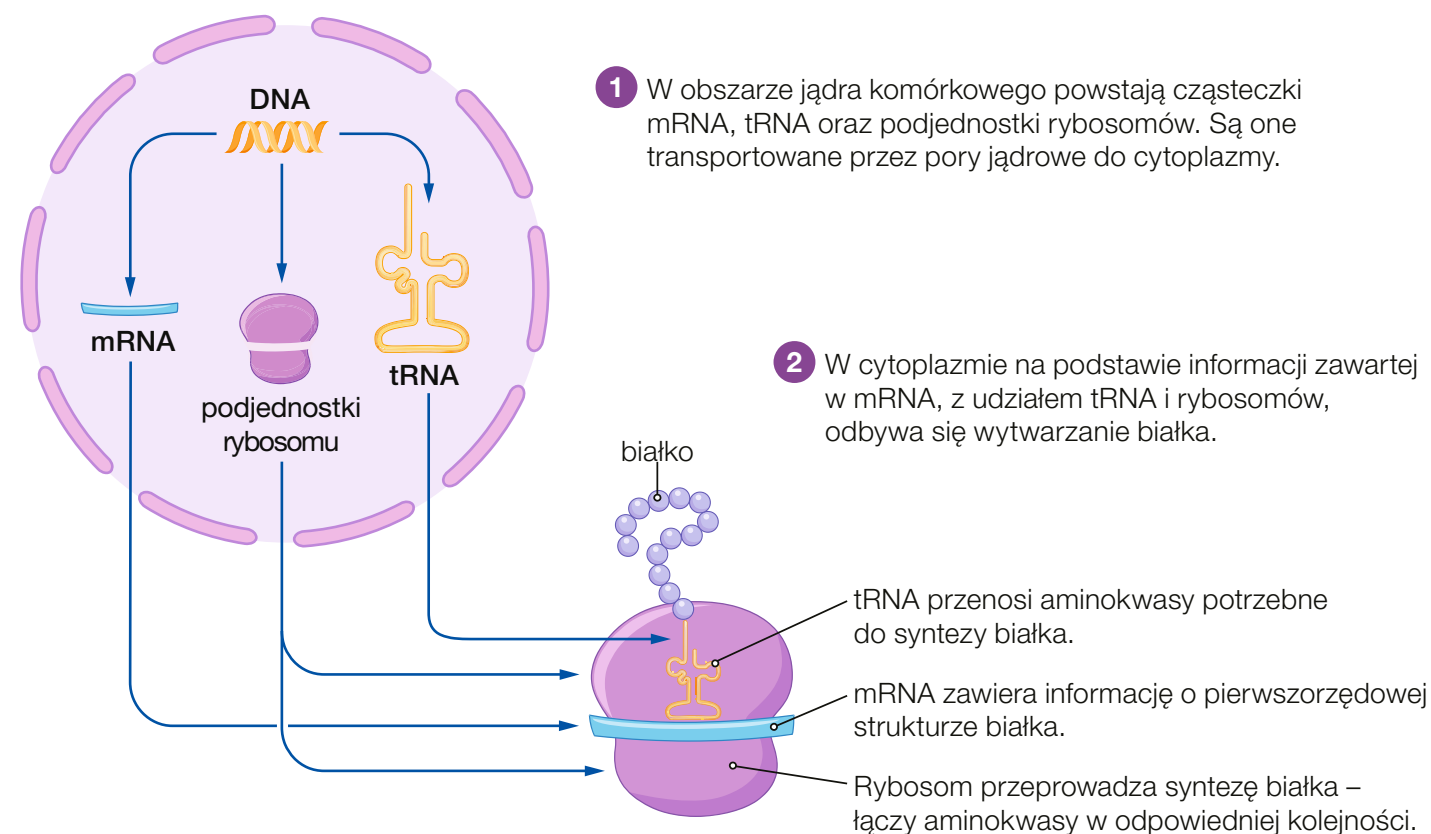
- Z jądra komórkowego do cytoplazmy przemieszczają się głównie: mRNA, tRNA oraz podjednostki rybosomów.
- Z cytoplazmy do jądra komórkowego wędrują przede wszystkim histony, enzymy, białka potrzebne do budowy rybosomów oraz wolne nukleotydy.



Kierunki transportu substancji przez pory jądrowe.

Ekspresja genów

W komórkach eukariotycznych ekspresja genów odbywa się częściowo w jądrze komórkowym, a częściowo – w cytoplazmie.



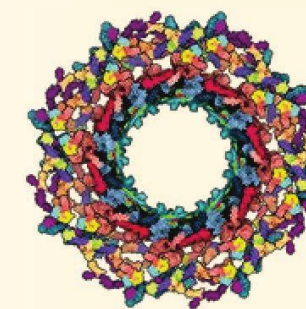
Jądrowe kompleksy porowe

Por jądrowy jest zbudowany z jądrowego kompleksu porowego (ang. *nuclear pore complex*, NPC), w którego skład wchodzi białka zwane nukleoporynami (ang. *nucleoporins*, NUPs). Rdzeń ludzkiego jądrowego kompleksu porowego tworzy ok. 1000 cząsteczek białek należących do 30 różnych rodzajów nukleoporyn. W ostatnich latach zespół naukowców z europejskich instytutów badawczych stworzył niemal kompletny model ludzkiego porowego kompleksu jądrowego, obejmujący ok. 90% białek rdzenia. Model ten ułatwi m.in. dokładne zbadanie mechanizmów transportu jądrowego, co przyczyni się do lepszego zrozumienia przebiegu wielu chorób neurodegeneracyjnych, nowotworowych i wirusowych, a także – do opracowania metod ich leczenia.

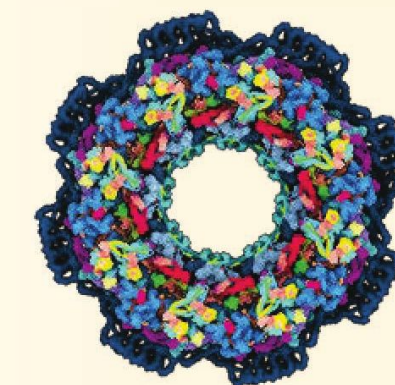
Do chorób neurodegradacyjnych związanych z nieprawidłowym transportem jądrowym należą np.:

- stwardnienie rozsiane,
- stwardnienie zanikowe boczne,
- choroba Alzheimera,
- choroba Parkinsona,
- choroba Huntingtona.

Biologia
w medycynie



Starszy model ludzkiego porowego kompleksu jądrowego, obejmujący ok. 46% białek rdzenia.



Najnowszy model ludzkiego porowego kompleksu jądrowego, obejmujący ok. 90% białek rdzenia.



Odkrywanie roli jądra komórkowego w komórce

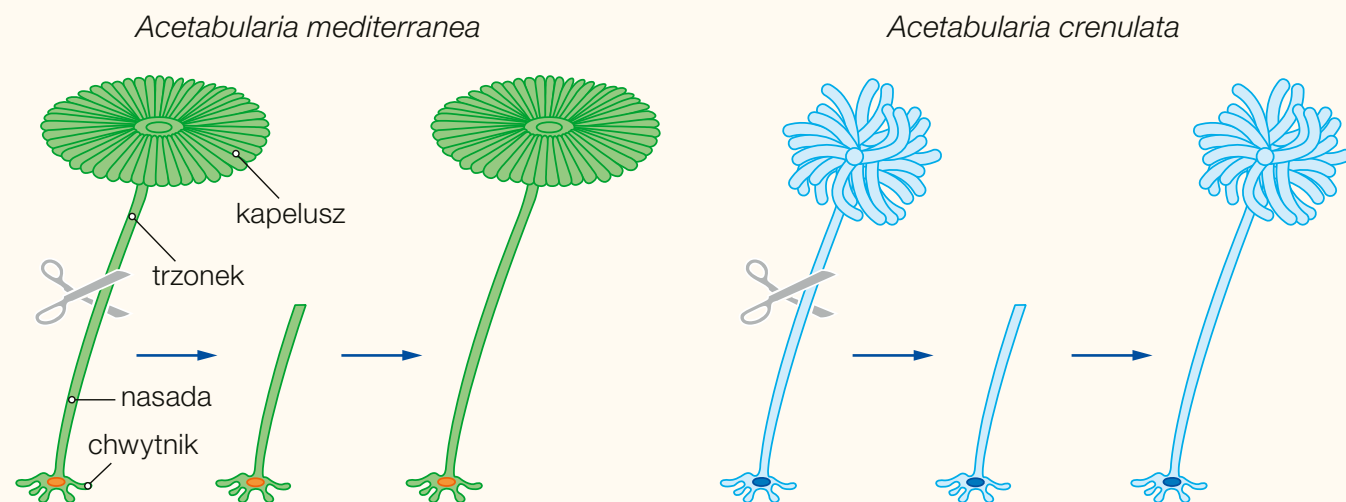
W 1931 r. Joachim Hammerling [wym. hamerling] przeprowadził doświadczenie dotyczące roli jądra komórkowego w komórce. Obiektem jego badań były osiadłe jednokomórkowe zielonice – *Acetabularia crenulata* oraz *Acetabularia mediterranea*. Komórki zielonicy z rodzaju *Acetabularia* (parasolowiec) są bardzo duże. Mają ok. 7 cm długości i składają się z trzech części: chwytника, trzonka oraz parasolowatego kapelusza. Jądro komórkowe parasolowców jest zlokalizowane w części chwytnikowej.



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

- 1 Problem badawczy:** Czy jądro komórkowe determinuje kształt kapelusza u zielonicy z rodzaju *Acetabularia*?
- 2 Hipoteza badawcza:** Jądro komórkowe determinuje kształt kapelusza u zielonicy z rodzaju *Acetabularia*.
- 3 Przebieg doświadczenia:** W próbach kontrolnych Hammerling odcinał kapelusze komórkom obu gatunków zielonicy. Z kolei w próbach badawczych przeprowadził dwa warianty doświadczenia.
W pierwszym wariantcie badacz odcinał kapelusze komórkom obu gatunków zielonicy. Pozostałe części komórek przecinał u podstawy trzonka, tak aby oddzielić trzonki od chwytników zawierających jądra komórkowe. Następnie trzonek pochodzący z komórki *Acetabularia crenulata* łączył z chwytnikiem pochodzącym z komórki *Acetabularia mediterranea* i na odwrót.
W drugim wariantcie doświadczenia Hammerling odcinał komórkom obu gatunków zielonicy chwytniki, a następnie łączył ze sobą ich nasady.

Próby kontrolne

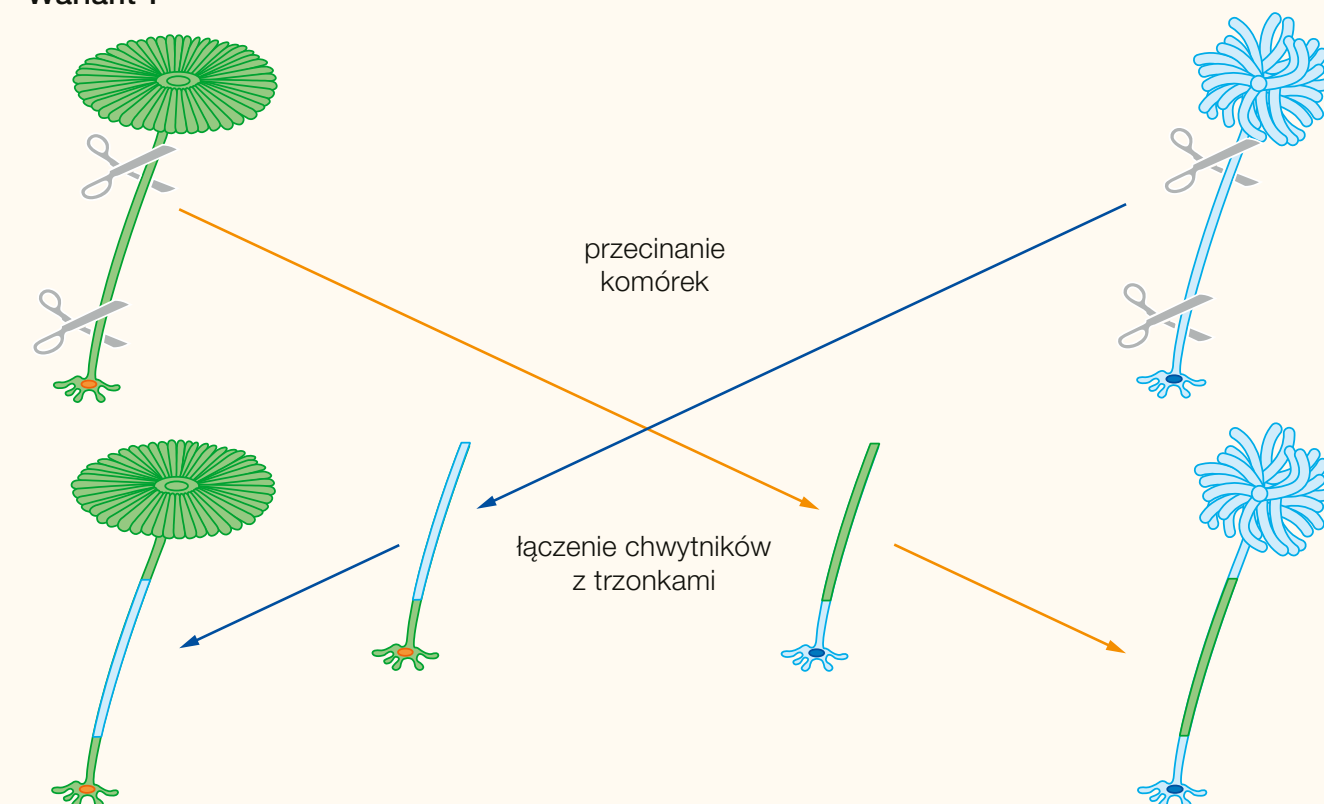


Po odcięciu kapelusza komórce *Acetabularia mediterranea* regeneruje się kapelusz o takim samym kształcie.

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

Próby badawcze

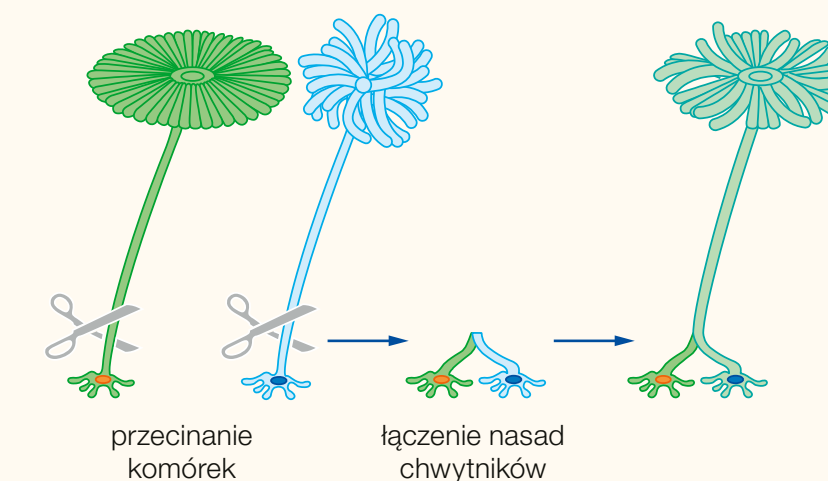
Wariant 1



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

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 nasad chwytników pochodzących z komórek *Acetabularia mediterranea* i *Acetabularia crenulata* regeneruje się kapelusz o kształcie pośrednim między kształtem typowym dla *Acetabularia mediterranea* a kształtem typowym dla *Acetabularia crenulata*.

- 4 Wynik doświadczenia:** W pierwszym wariantcie doświadczenia o kształcie kapelusza u *Acetabularia mediterranea* i *Acetabularia crenulata* decydują jądra komórkowe znajdujące się w chwytnikach, a nie trzonki, z których bezpośrednio wyrasta kapelusz. W drugim wariantcie doświadczenia o kształcie kapelusza decydują jądra komórkowe znajdujące się w połączonych chwytnikach obu gatunków zielonicy.

- 5 Wniosek:** Jądro komórkowe determinuje kształt kapelusza u zielonicy z rodzaju *Acetabularia*.

Cytozol

Cytozol jest wodnym koloidalnym roztworem substancji nieorganicznych i substancji organicznych, głównie rozpuszczalnych białek. W skład cytozolu wchodzi ponadto białka nierozpuszczalne, które tworzą filamenty (włókna) i mikrotubule (mikrorurki) **cytoszkieletu**, czyli szkieletu komórkowego.

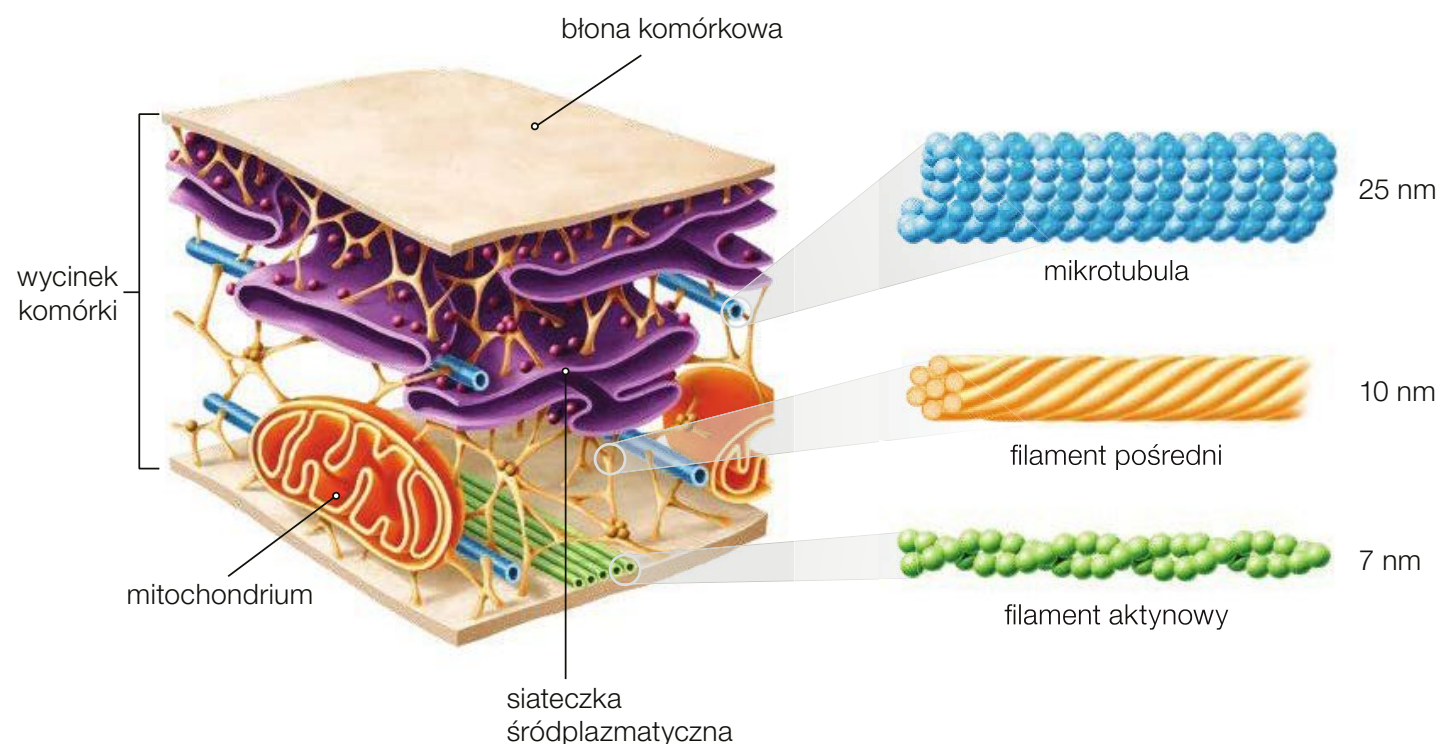
Cytoszkielet występuje we wszystkich komórkach eukariotycznych. W jego skład wchodzi przede wszystkim: filamenty aktynowe, filamenty pośrednie i mikrotubule.

Filamenty aktynowe

Filamenty aktynowe (mikrofilamenty) są zbudowane z białka – **aktyny**. Największa ich liczba występuje pod błoną komórkową, co nadaje błonie wytrzymałość mechaniczną i pozwala kontrolować zmiany kształtu komórki. Funkcje filamentów aktynowych:

- ▶ umożliwiają podział cytoplazmy w komórkach zwierzęcych – tworzą pierścień kurczliwy,
- ▶ umożliwiają ruch pełzakowaty komórek,
- ▶ umożliwiają skurcze mięśni u zwierząt tkankowych,
- ▶ pozwalają na ruch w obrębie komórek, np.:
 - ruch organeli, m.in. chloroplastów,

Lokalizacja włókien cytoszkieletu w komórce



- otaczanie cząstek pokarmowych błoną komórkową podczas fagocytozy,
- ruch cytozolu, który umożliwia transport substancji między poszczególnymi organelami oraz między organelami a środowiskiem zewnętrznym komórki.

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

Filamenty pośrednie

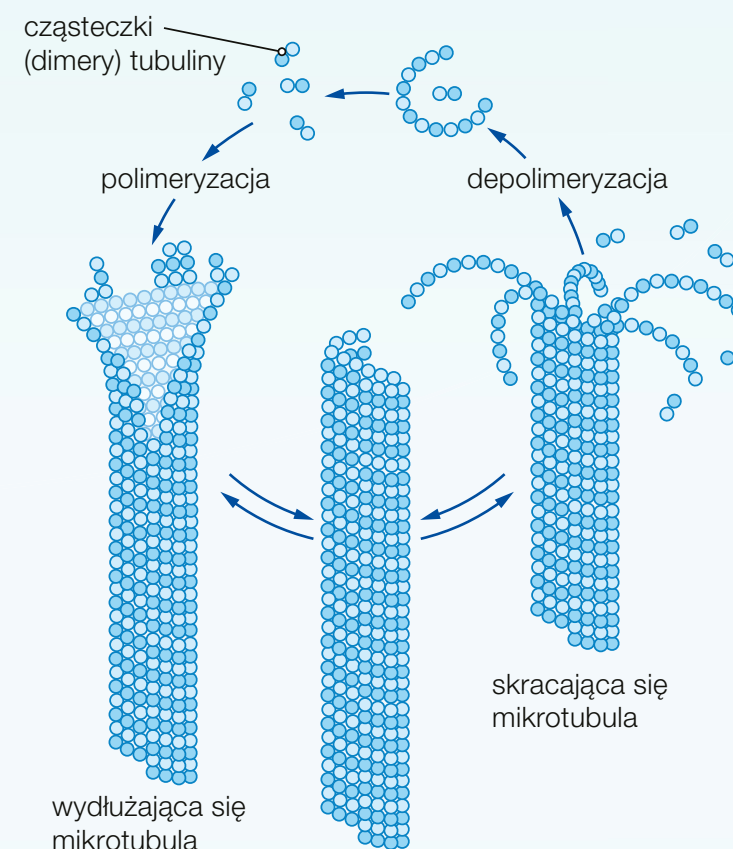
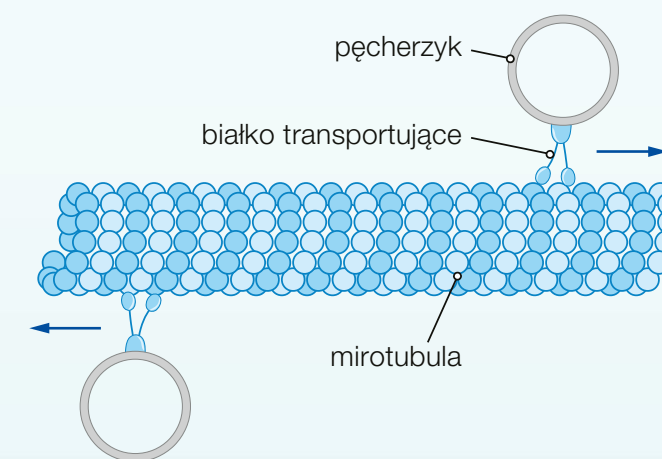
Filamenty pośrednie to włókienka różnych białek, m.in. **keratyny**. Są one sztywne i bardzo wytrzymałe, dlatego pełnią w komórce **funkcję wzmacniającą**. Zapewniają m.in. odporność na uszkodzenia mechaniczne, np. pękanie pod wpływem rozciągania. Filamenty pośrednie tworzą gęstą sieć, która otacza jądro 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 wchodzi także w skład macierzy jądrowej – wzmacniają wewnętrzną powierzchnię otoczki jądrowej oraz stabilizują nici chromatynowe.

Mikrotubule

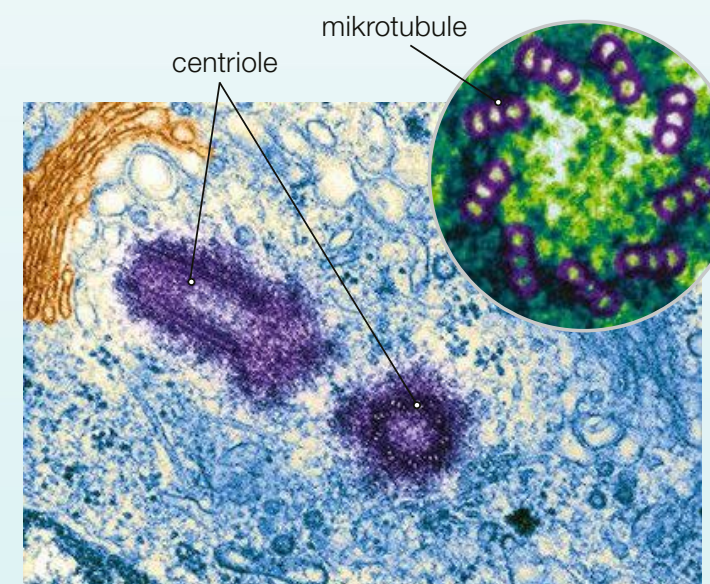
Mikrotubule mają postać długich rurek zbudowanych z białka – **tubuliny**. W komórkach zwierzęcych głównym ośrodkiem ich formowania jest centrosom umiejscowiony w pobliżu jądra komórkowego. Mikrotubule są dynamicznymi strukturami, które mogą zanikać i znowu się pojawiać, a także wydłużać się i skracać.

Funkcje mikrotubul:

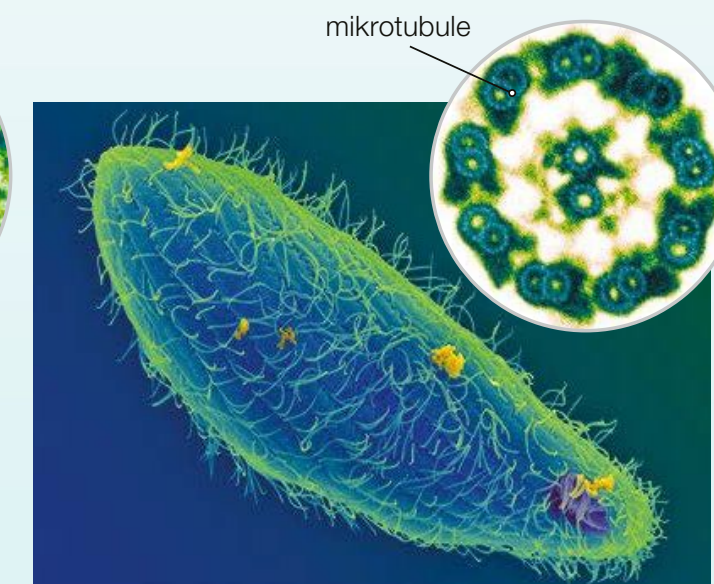
- ▶ utrzymują organelle komórkowe w odpowiednim położeniu w komórce,
- ▶ tworzą szlaki transportu wewnątrzkomórkowego, wzdłuż których przemieszczają się substancje, organelle i pęcherzyki transportujące,
- ▶ budują wrzeciono podziałowe podczas podziałów komórkowych,
- ▶ budują rusztowanie rzęsek i wici w komórkach eukariotycznych.



Z mikrotubulami łączą się białka transportujące, które przenoszą pęcherzyki wypełnione różnymi substancjami. W taki sposób odbywa się m.in. transport neuroprzekazników w komórkach nerwowych.



Centrosomy i znajdujące się w nich centriole (obraz spod TEM, barwiony komputerowo) są ośrodkami organizacji mikrotubul w komórkach zwierzęcych.

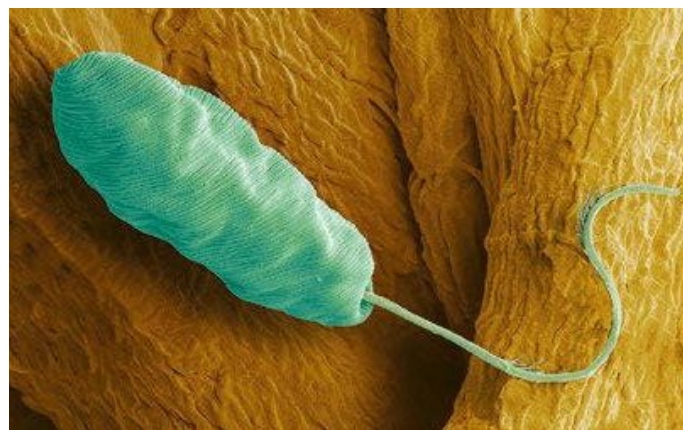


Rzęski i wici komórek eukariotycznych (obraz spod SEM, barwiony komputerowo) mają szkielet wewnętrzny zbudowany z mikrotubul.

Rzęski i wici

Rzęski i wici to struktury umożliwiające ruch komórek. **Rzęski komórek prokariotycznych** składają się z ciała podstawowego, haka oraz białkowego włókna. **Rzęski i wici komórek eukariotycznych** są cytoplazmatycznymi wypustkami okrytymi błoną komórkową. Ich trzon tworzą mikrotubule wyrastające z ciała podstawowego, zlokalizowanego pod błoną komórkową.

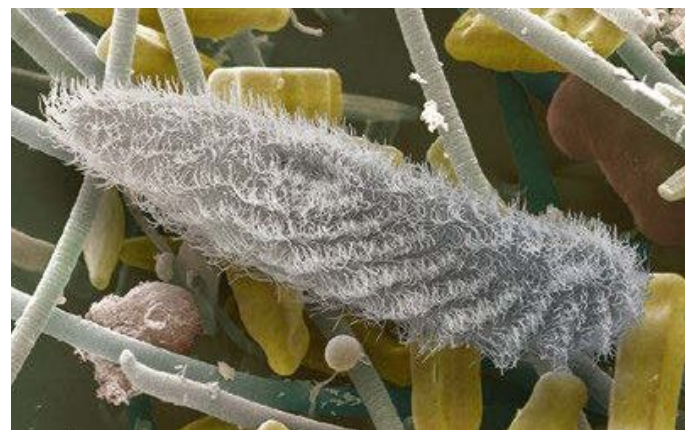
Rzęski i wici komórek eukariotycznych mają identyczny plan budowy. Różnice między nimi dotyczą jedynie długości i liczby – rzęski są krótkie i liczne, a wici długie i Nieliczne (zwykle jedna lub dwie).



Wici (obraz spod SEM, barwiony komputerowo) występują m.in. u protistów zwanych wiciowcami.



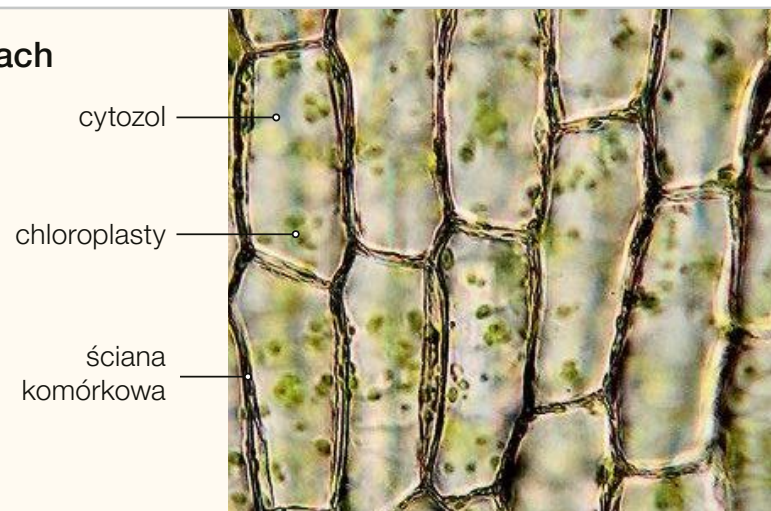
Plan budowy rzęski i wici komórek eukariotycznych.



Rzęski (obraz spod SEM, barwiony komputerowo) występują m.in. u protistów zwanych orzęskami.

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. Wyjaśnij, jakie znaczenie ma obecność porów jądrowych w otoczce jądrowej.
2. Wykaż związek między budową jądra komórkowego a jego funkcją w komórce.
3. Określ znaczenie mikrotubul w funkcjonowaniu komórki.

3.5. Mitochondria i plastydy. Teoria endosymbiozy

Ważne w tym temacie!

- budowa mitochondriów i plastydów
- argumenty przemawiające za endosymbiotycznym pochodzeniem mitochondriów i chloroplastów

Mitochondria to organelle komórkowe odpowiedzialne przede wszystkim za oddychanie tlenowe. Z kolei plastydy pełnią różne funkcje – przeprowadzają fotosyntezę, magazynują substancje zapasowe lub uczestniczą w interakcjach ekologicznych między roślinami a zwierzętami. Zgodnie z teorią endosymbiozy wspólną cechą mitochondriów i plastydów jest ich ewolucyjne pochodzenie.

Mitochondria

Mitochondria mają zwykle kształt owalny lub kulisty. Są oddzielone od cytozolu **dwoma błonami mitochondrialnymi**, między którymi znajduje się **przestrzeń międzybłonowa**. **Zewnętrzna błona mitochondrialna** jest gładka, natomiast **wewnętrzna** – pofałdowana w grzebień mitochondrialny.

W skład wewnętrznej błony mitochondrialnej wchodzi m.in.:

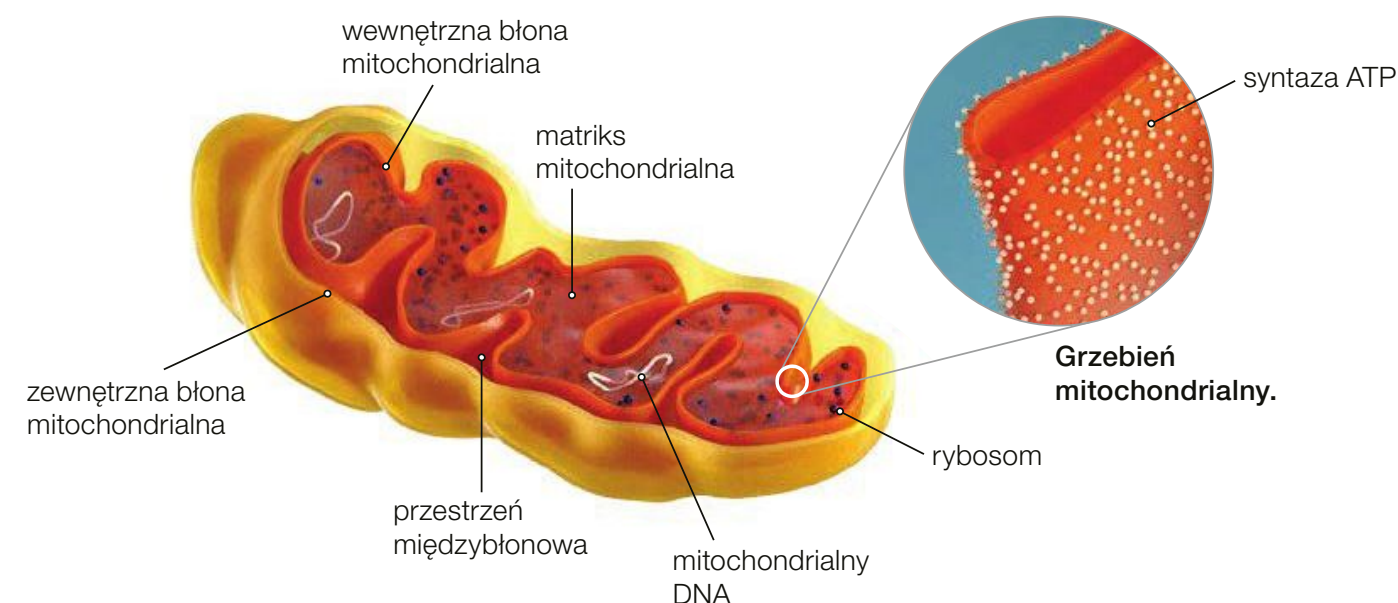
- ▶ przenośniki elektronów tworzące **łańcuch oddechowy**,

- ▶ cząsteczki enzymu – syntazy ATP.

Obszar mitochondriów ograniczony błoną wewnętrzną wypełnia koloidalna substancja zwana **matriks mitochondrialną** (macierzą mitochondrialną). Znajdują się w niej m.in. liczne **enzymy**, **rybosomy** oraz **mitochondrialny DNA (mtDNA)**.

Mitochondria występują we wszystkich komórkach eukariotycznych oddychających tlenowo. W organelach tych odbywają się główne etapy **oddychania tlenowego**, które polega na uwalnianiu energii ze związków organicznych oraz jej kumulowaniu w cząsteczkach ATP. Liczba mitochondriów, a także powierzchnia wewnętrznych błon mitochondrialnych są tym większe, im większe jest zapotrzebowanie energetyczne komórki.

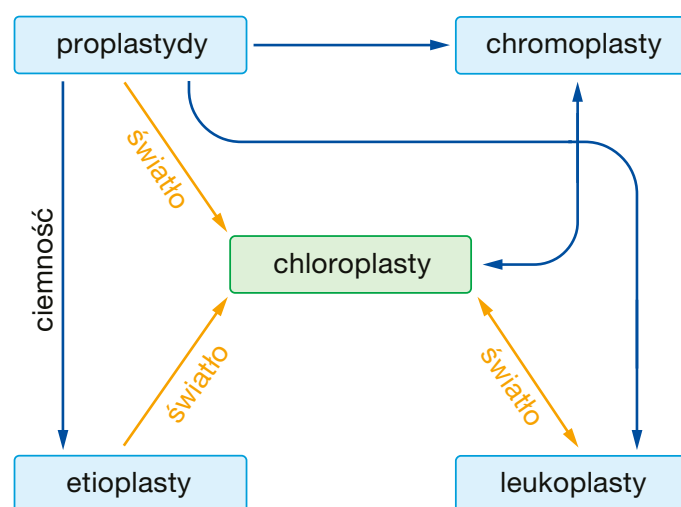
Rozmieszczenie mitochondriów w komórce zależy przede wszystkim od lokalnego zapotrzebowania na energię. Na przykład w plemnikach organelle te znajdują się u podstawy wici.



Budowa mitochondrium.

Plastydy

Plastydy to organelle komórkowe typowe dla roślin i niektórych protistów. Wyróżnia się plastydy barwne, do których należą etioplasty, chloroplasty i chromoplasty, oraz plastydy bezbarwne, czyli leukoplasty. Plastydy powstają z form młodocianych – proplastydów. Ponadto zarówno plastydy, jak i proplastydy mogą namnażać się przez podział. Wszystkie typy plastydów roślinnych, mimo różnic w budowie i funkcjach, mają pewne cechy wspólne. Należą do nich m.in. występowanie dwóch błon oddzielonych przestrzenią międzybłonową, a także obecność plastydowego DNA i rybosomów.



Większość plastydów może przekształcać się w inne typy plastydów, np. pod wpływem czynników środowiska.

Rodzaje plastydów



Chloroplasty występują m.in. w komórkach miększu asymilacyjnego roślin, który znajduje się głównie w liściach i niezdrewniałych łodygach. Zawierają barwniki fotosyntetyczne – zielony chlorofil oraz żółte i pomarańczowe karotenoidy. Funkcją chloroplastów jest przeprowadzanie fotosyntezy.



Etioplasty występują w komórkach miększu asymilacyjnego liści i łodyg roślin, które wyrosły w ciemności. Zawierają żółty barwnik, który pod wpływem światła przekształca się w chlorofil.



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



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

Chloroplasty

Chloroplasty mają zwykle soczewkowaty kształt. U roślin są one oddzielone od cytozolu **dwoma błonami chloroplastowymi**, między którymi znajduje się **przestrzeń międzybłonowa**. Wnętrze chloroplastów wypełnia koloidalna substancja – **stroma** – zawierająca m.in. białka enzymatyczne, rybosomy, chloroplastowy DNA (cpDNA) i ziarna skrobi. W stromie są zawieszone **tylakoidy** – błoniaste struktury, które mają postać płaskich woreczków lub kanalików. Powstają one w wyniku wpuklania się wewnętrznej błony chloroplastowej do stromy. Wyróżnia się dwa rodzaje tylakoidów:

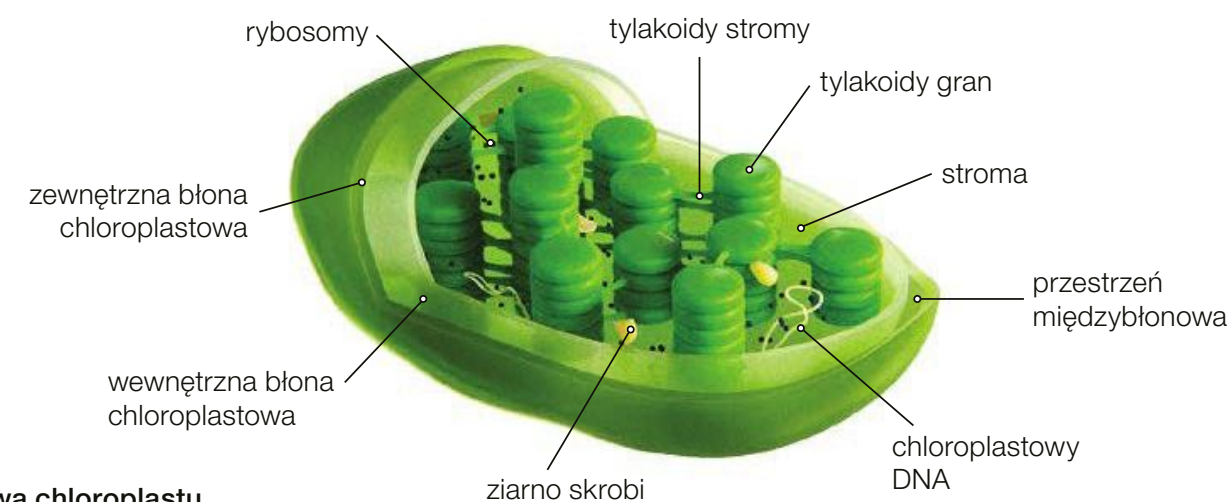
► **tylakoidy gran** – błoniaste woreczki ułożone w stosy zwane granami,

► **tylakoidy stromy** – błoniaste kanalikki łączące ze sobą poszczególne grana.

W błonach tylakoidów znajdują się:

- barwniki fotosyntetyczne – chlorofile i karotenoidy,
- przenośniki elektronów,
- cząsteczki enzymu – syntazy ATP.

Chloroplasty występują we wszystkich komórkach eukariotycznych odżywiających się fotoautotroficznie. U roślin są to komórki miększu asymilacyjnego budującego liście oraz zielone łodygi. W chloroplastach zachodzi **fotosynteza**, która polega na wytwarzaniu związków organicznych (węglowodanów) z prostych związków nieorganicznych (dwutlenku węgla i wody) z udziałem energii świetlnej.

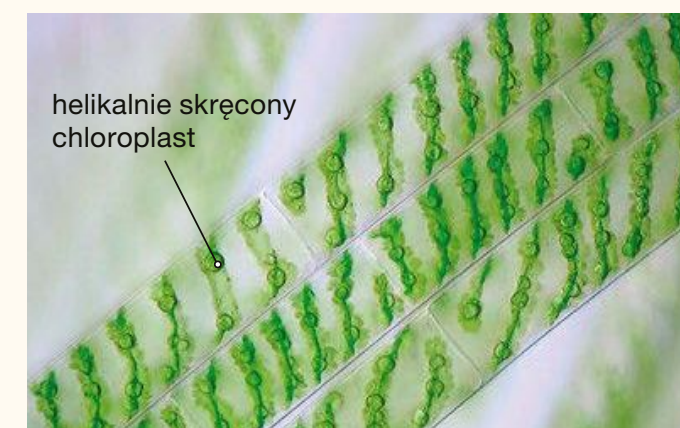


Budowa chloroplastu.



1. Obserwacja chloroplastów w komórkach skrzętnicy

Przygotuj preparat plechy skrzętnicy. Przeprowadź obserwację mikroskopową, a następnie wykonaj odpowiedni rysunek.



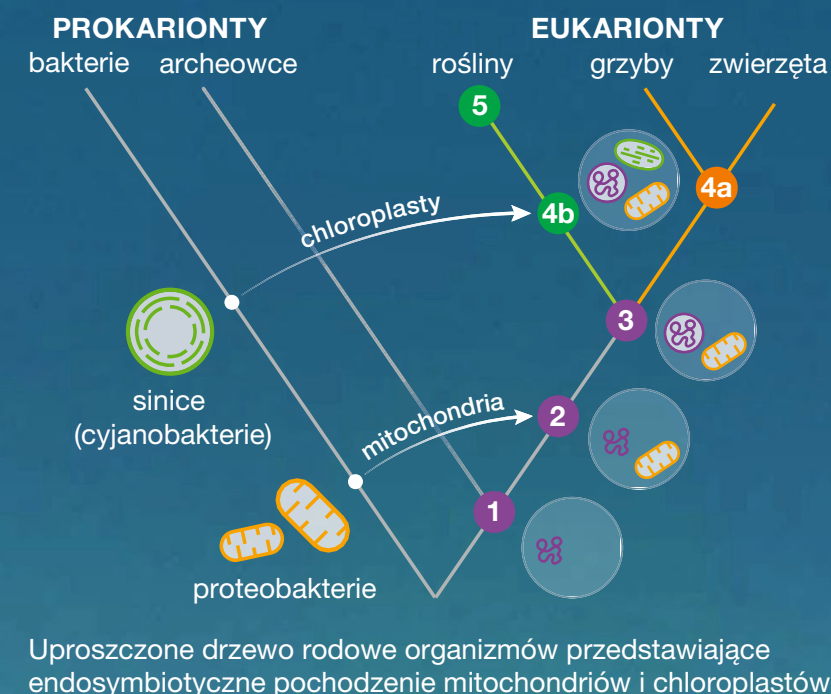
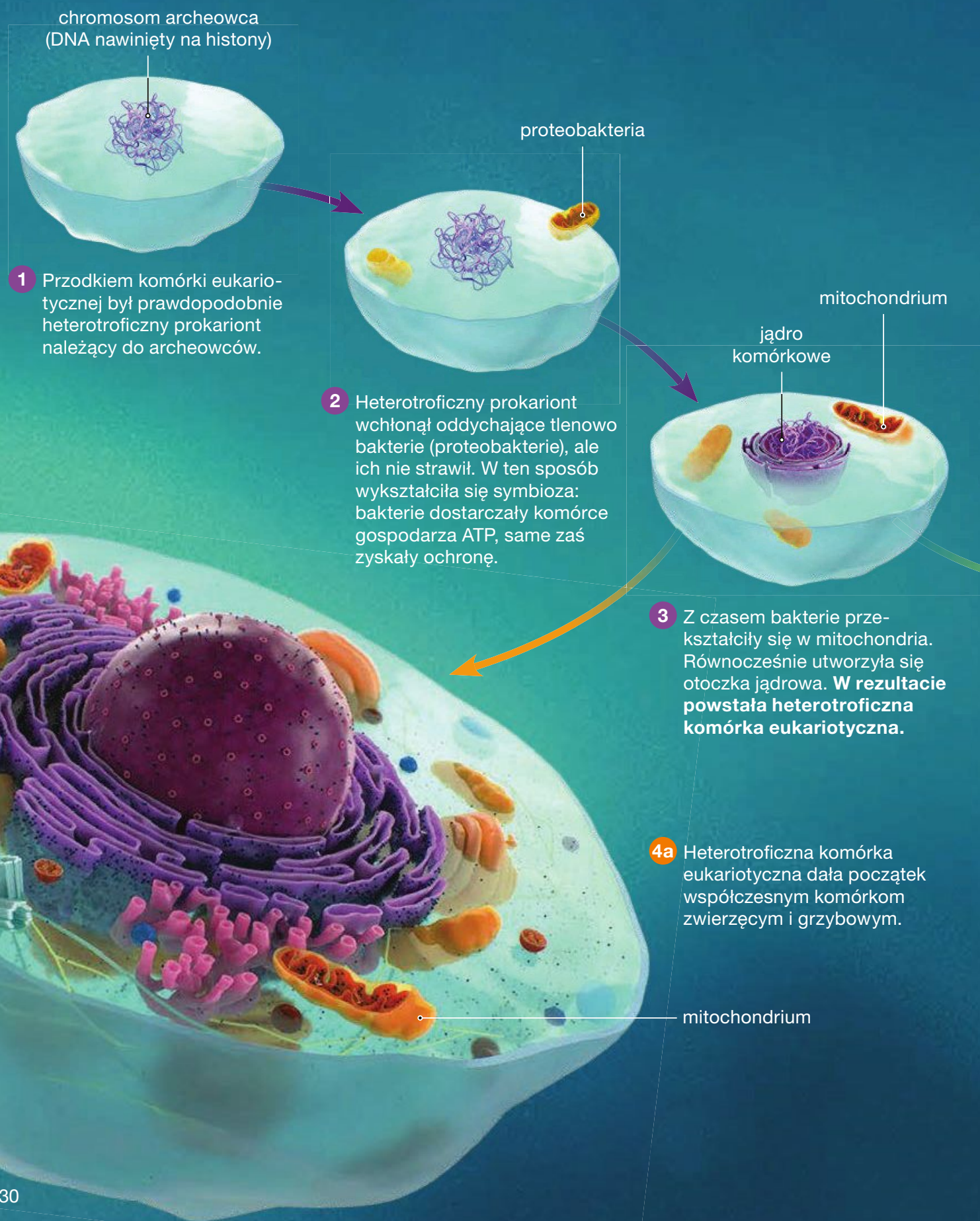
2. Obserwacja chromoplastów w komórkach miąższu owocu jarzębiny

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



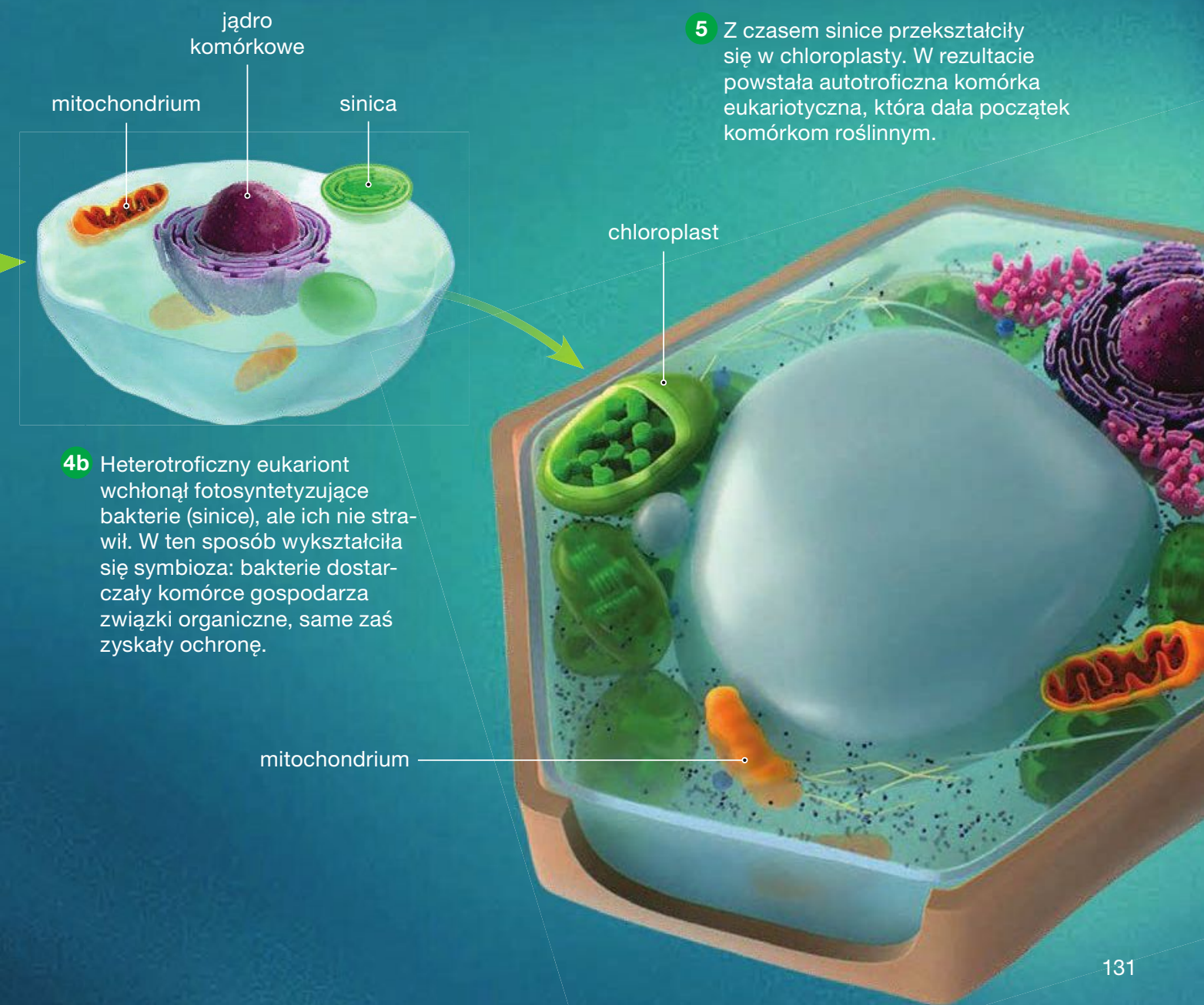
TEORIA ENDOSYMBIOZY

Zgodnie z jedną z teorii endosymbiozy mitochondria, a także chloroplasty roślinne pochodzą od wolno żyjących bakterii. Około 1,5 mld lat temu zostały one wchłonięte przez heterotroficzną komórkę, która odżywiała się na drodze fagocytozy. Bakterie te nie uległy strawieniu, lecz stały się symbiontami komórki gospodarza, a później – organelami.



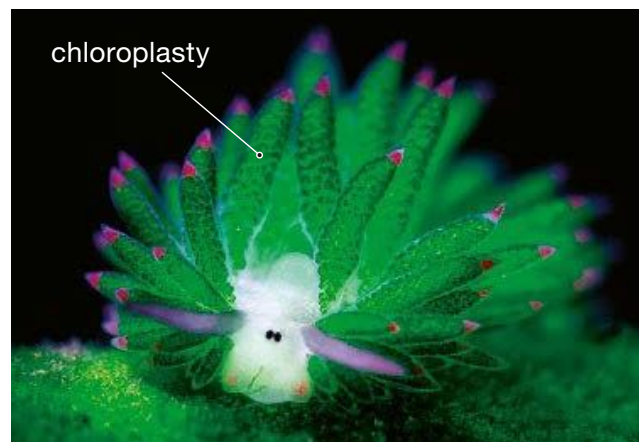
Argumenty przemawiające za endosymbiotycznym pochodzeniem mitochondriów i chloroplastów:

- ▶ obecność kolistego DNA niezwiązanego z histonami,
- ▶ obecność rybosomów o budowie podobnej do rybosomów prokariotycznych,
- ▶ obecność błon otaczających organelle, przypominających budowę błony komórek bakteryjnych,
- ▶ namnażanie się nowych mitochondriów i chloroplastów przez podział.



Czy wiesz, że...

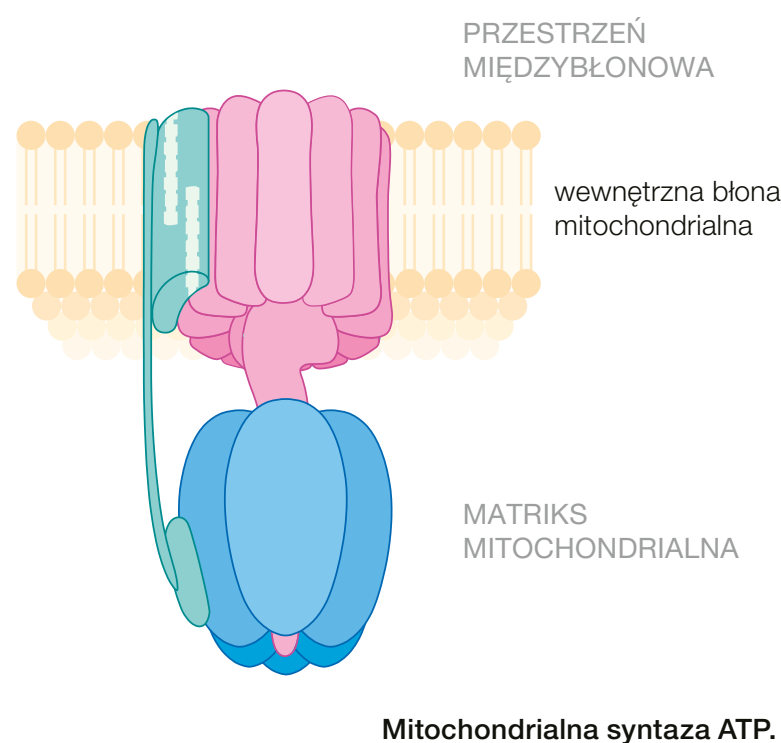
Przykładem współcześnie zachodzącej endosymbiozy jest oddziaływanie między morskimi ślimakami z gatunku *Costasiella kuroshimae* a glonami, które stanowią ich pożywienie. Ślimaki nie trawią chloroplastów, ale wbudowują je w komórki ciała – dzięki temu przez jakiś czas mogą przeprowadzać fotosyntezę.

**Organelle półautonomiczne**

Mitochondria i chloroplasty są **organelami 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, a pozostała część jest kodowana przez geny jądrowe. Białka kodowane przez geny organelowe są wytwarzane na rybosomach, które znajdują się w matriks mitochondrialnej oraz w stromie chloroplastów. Z kolei białka kodowane przez geny jądrowe są wytwarzane na rybosomach cytoplazmatycznych, a następnie transportowane do odpowiednich organelli. Półautonomia mitochondriów i chloroplastów przejawia się również w ich podziałach, które są niezależne od podziałów jądra komórkowego.

Syntaza ATP

Enzym błonowy – syntaza ATP – występuje zarówno w mitochondriach, gdzie bierze udział w oddychaniu tlenowym, jak i w chloroplastach, gdzie uczestniczy w fotosyntezie (→ s. 186). 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. Wykaż związek 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 chloroplastów.
4. Wyjaśnij, dlaczego mitochondria i chloroplasty nazywa się organelami półautonomicznymi.

3.6. Struktury komórkowe otoczone jedną błoną i rybosomy

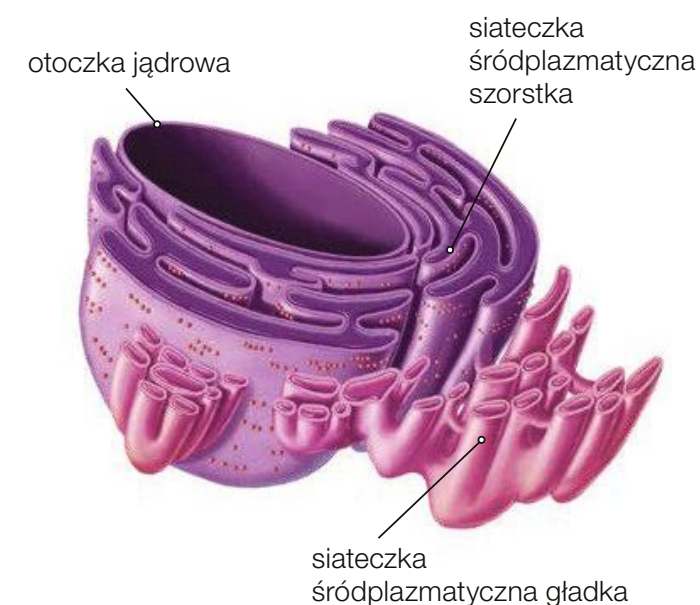
Ważne w tym temacie!

- związek między budową a funkcją struktur komórkowych
- rola tonoplastu w procesach osmotycznych

Większość struktur komórkowych otoczonych jedną błoną tworzy w komórce system współpracujących 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. *endoplasmic reticulum*, ER) to system błon biologicznych przyjmujących postać spłaszczonych cystern (woreczków) i rozgałęziających się kanalików. Powstają one z zewnętrznej błony otoczki jądrowej i rozciągają się na cały obszar komórki. Wyróżnia się **siateczkę śródplazmatyczną szorstką** (ang. *rough endoplasmic reticulum*, RER), na której powierzchni znajdują się **rybosomy**, oraz **siateczkę śródplazmatyczną gładką** (ang. *smooth endoplasmic reticulum*, SER), która nie zawiera rybosomów.



Siateczka śródplazmatyczna.

Siateczka śródplazmatyczna szorstka

Siateczka śródplazmatyczna szorstka odpowiada za syntezę niektórych białek w komórce. Rybosomy znajdujące się na jej zewnętrznej (cytozolowej) powierzchni wytwarzają łańcuchy białkowe, które fałdują się w ostateczne struktury przestrzenne. Część wytworzonych białek wnika do wnętrza siateczki, a część pozostaje w jej błonie, tworząc integralne białka błonowe. W siateczce śródplazmatycznej szorstkiej odbywają się również niektóre **modyfikacje białek**, np. dołączanie do nich reszt kwasów tłuszczowych, grup hydroksyloowych lub cząsteczek cukrów.

Większość białek syntetyzowanych na rybosomach siateczki śródplazmatycznej szorstkiej jest przenoszona pęcherzykami transportującymi do aparatu Golgiego – należą do nich m.in. białka wydzielnicze, które są kierowane poza komórkę. Z tego powodu siateczka śródplazmatyczna szorstka występuje obficie w komórkach wydzielniczych, np. w komórkach trzustki wytwarzających enzymy trawienne lub hormony.

Siateczka śródplazmatyczna gładka

Siateczka śródplazmatyczna gładka jest zaangażowana głównie w syntezę lipidów. Powstają w niej triglicerydy, fosfolipidy oraz cholesterol i jego pochodne (m.in. hormony steroidowe, sole żółciowe, witamina D₃).

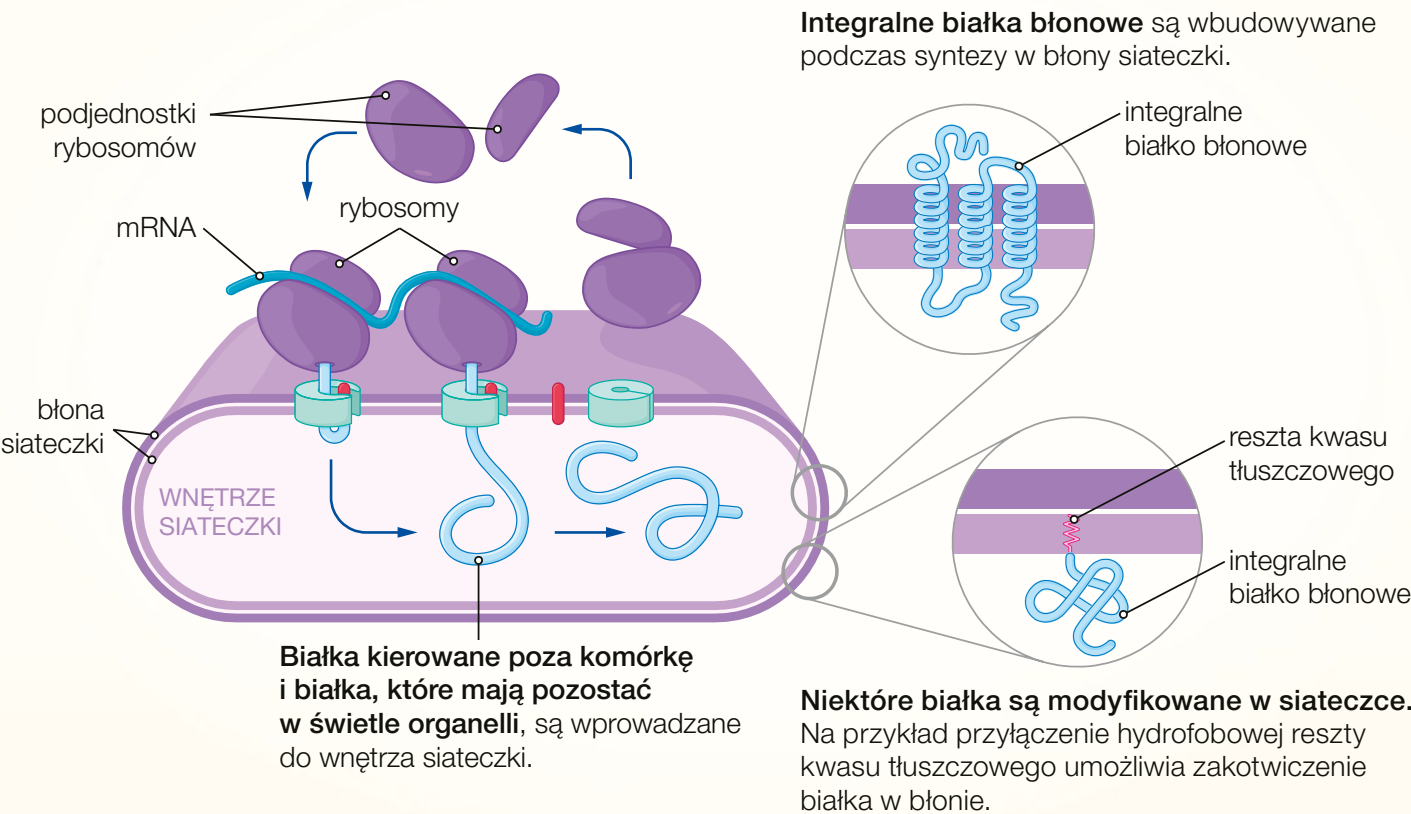
Siateczka śródplazmatyczna gładka pełni też inne funkcje. W komórkach wątroby uczestniczy w neutralizowaniu i usuwaniu szkodliwych substancji (np. alkoholu etylowego). Z kolei we włóknach mięśniowych magazynuje jony wapnia niezbędne do skurczu mięśni.

Główne funkcje siateczki śródplazmatycznej

W siateczce śródplazmatycznej są wytwarzane podstawowe składniki błony komórkowej oraz większości błon śródplazmatycznych. Ponadto powstają w niej liczne białka i tłuszcze właściwe.

■ Siateczka śródplazmatyczna szorstka

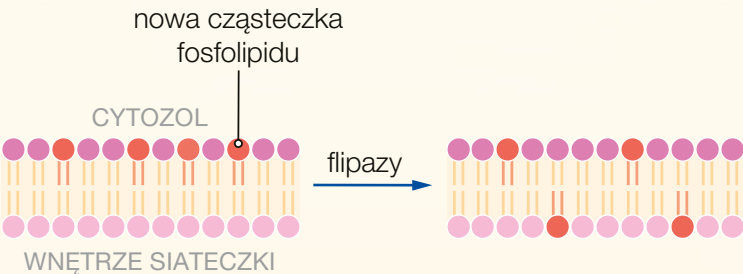
Na rybosomach związanych z błonami siateczki śródplazmatycznej szorstkiej są syntetyzowane integralne białka błonowe, białka kierowane poza komórkę i białka, które mają pozostać w świetle organelli.



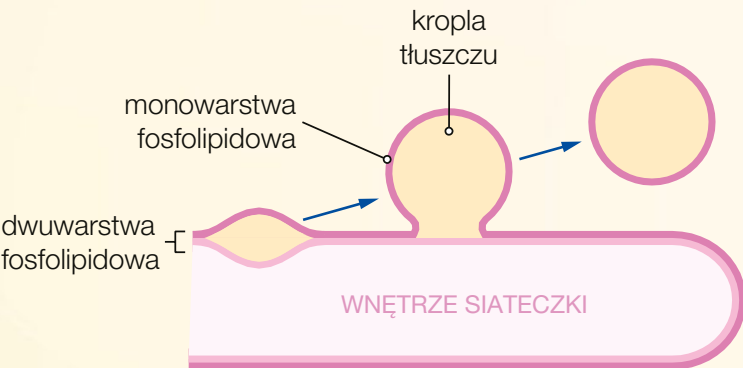
■ Siateczka śródplazmatyczna gładka

W tej siateczce zachodzi m.in. synteza fosfolipidów – podstawowych składników dwuwarstwy lipidowej – oraz tłuszczów właściwych, magazynowanych w komórkach organizmów.

Fosfolipidy są syntetyzowane w zewnętrznej (cytozolowej) monowarstwie błony siateczki. Część nowo powstałych cząsteczek fosfolipidów jest następnie przenoszona do wewnętrznej monowarstwy. Proces ten odbywa się z udziałem enzymów zwanych flipazami.

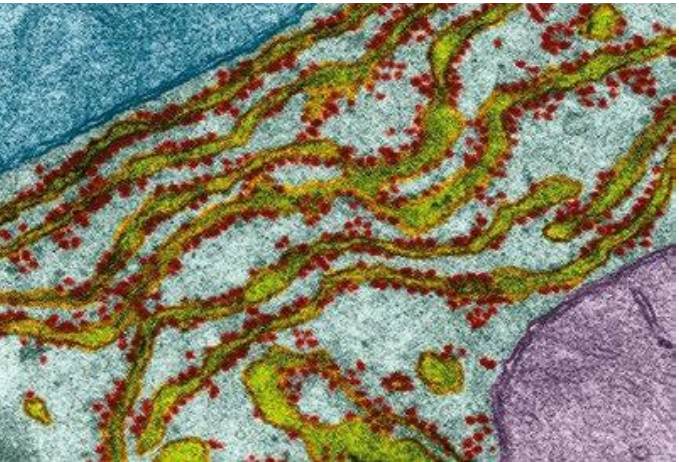


Tłuszcze właściwe są syntetyzowane między dwiema monowarstwami błon siateczki. Kropla tłuszczu zwiększa swoje rozmiary, po czym odrywa się od błony. Kropla – ze względu na właściwości hydrofobowe – jest otoczona monowarstwą fosfolipidową.

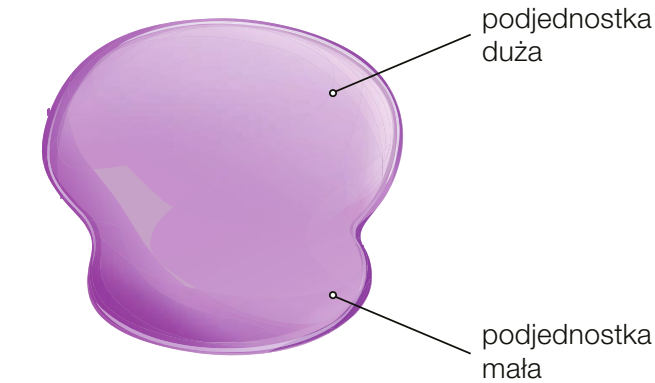


■ Rybosomy

Rybosomy to nieobłonione struktury, które przeprowadzają syntezę białek w komórce. Składają się z dwóch podjednostek – dużej i małej. Pod względem chemicznym podjednostki rybosomów są kompleksami nukleoproteinowymi zbudowanymi z rybosomowego RNA (rRNA) i białek. Podjednostki rybosomów łączą się tylko na czas syntezy białka, po czym ponownie się rozdzielają.



Rybosomy związane z siateczką śródplazmatyczną (obraz spod TEM, barwiony komputerowo).



Budowa rybosomu.

Rybosomy występują w komórkach prokariotycznych (w cytozolu) oraz w komórkach eukariotycznych (w cytozolu, mitochondriach i chloroplastach). W zależności od lokalizacji rybosomy różnią się wielkością. Do porównywania wielkości rybosomów stosuje się współczynnik sedymentacji, który określa szybkość opadania cząstek w roztworze podczas wirowania. Jednostką współczynnika sedymentacji jest svedberg (S). Ze względu na współczynnik sedymentacji wyróżnia się m.in. rybosomy: 80 S, 70 S i 55 S.

Rybosomy 80 S występują tylko w komórkach eukariotycznych i noszą nazwę rybosomów cytoplazmatycznych. Do rybosomów cytoplazma-

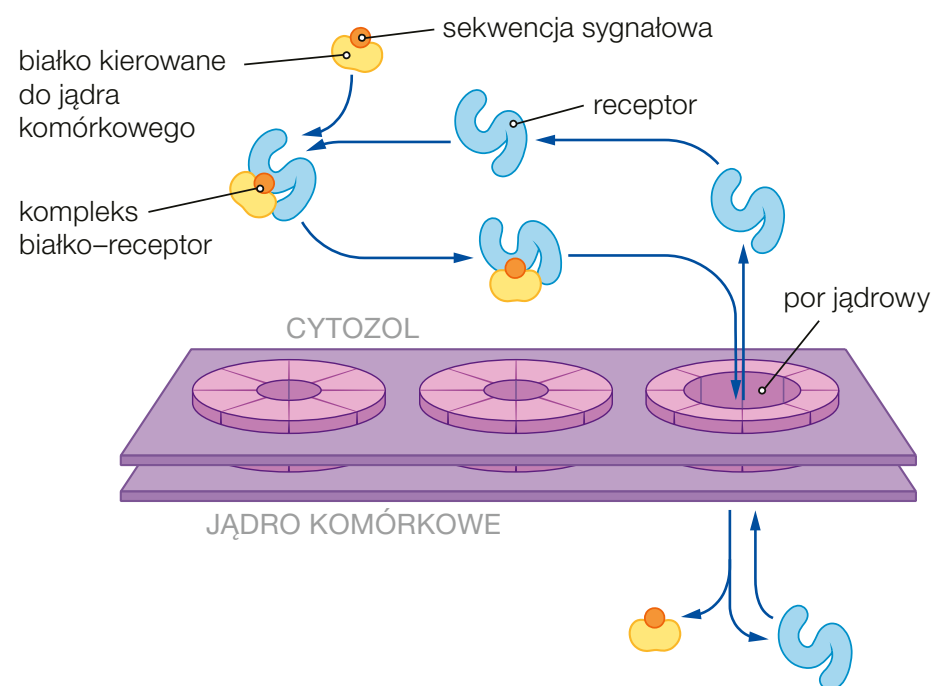
tycznych należą **rybosomy wolne (cytozolowe)** oraz **rybosomy związane z błonami siateczki śródplazmatycznej**. Związek rybosomów z siateczką nie jest trwały – tworzy się tylko na czas syntezy białka. Na rybosomach związanych z siateczką śródplazmatyczną odbywa się synteza białek kierowanych poza komórkę, większości białek błonowych oraz białek zawartych w siateczce śródplazmatycznej, aparacie Golgiego, lizosomach i wakuolach. Pozostałe białka są wytwarzane na rybosomach wolnych.

Rybosomy 70 S występują w komórkach prokariotycznych i chloroplastach. Z kolei współczynnik sedymentacji rybosomów mitochondrialnych waha się w przedziale 55–80 S. Rybosomy mitochondrialne i chloroplastowe określa się mianem **rybosomów organelowych**. Przeprowadzają one syntezę białek kodowanych przez DNA mitochondrialny i DNA chloroplastowy. Rybosomy organelowe przypominają budową rybosomy prokariotyczne, co jest jednym z argumentów przemawiających za słusznością teorii endosymbiozy.

Białka syntetyzowane na rybosomach eukariotycznych		
cytoplazmatycznych		organelowych
wolnych (cytozolowych)	związanych z siateczką śródplazmatyczną	wolnych
• białka cytozolowe • białka jądrowe • białka peroksysomów • niektóre białka mitochondrialne i chloroplastowe	• białka kierowane poza komórkę • białka większości błon biologicznych • białka siateczki śródplazmatycznej, aparatu Golgiego, lizosomów oraz wakuol	• niektóre białka mitochondrialne i chloroplastowe

Skąd białko wie, dokąd ma iść?

Na rybosomach cytozolowych powstaje olbrzymia liczba różnych białek. Część z nich pozostaje w cytozolu komórki, a część jest kierowana do organelli komórkowych: jądra komórkowego, mitochondriów, chloroplastów i peroksysomów. Za kierowanie białek do poszczególnych organelli odpowiadają sekwencje sygnałowe, czyli krótkie końcowe fragmenty tych białek. Białka kierowane do jądra komórkowego mają inne sekwencje sygnałowe niż białka kierowane do mitochondriów czy chloroplastów. Brak sekwencji sygnałowej powoduje, że białko pozostaje w cytozolu komórki.



Jeśli białko ma trafić do jądra komórkowego, to jego sekwencja sygnałowa zostaje rozpoznana przez odpowiedni receptor znajdujący się w cytozolu. W efekcie tworzy się kompleks białko–receptor, który przechodzi przez por jądrowy do wnętrza jądra. Tam białko się odłącza, a receptor wraca do cytozolu, gdzie może przyłączyć kolejną cząsteczkę białka kierowanego do jądra komórkowego.

Dowiedz się więcej

Aparat Golgiego

Aparat Golgiego (AG) powstaje z siateczki śródplazmatycznej. Składa się z wielu płaskich, rozszerzonych na końcach cystern (woreczków), które układają się w stos. Na brzegach stosu tworzą się różnej wielkości pęcherzyki.

Funkcjonowanie aparatu Golgiego wiąże się ściśle z działaniem siateczki śródplazmatycznej. Od cystern i kanalików siateczki odrywają się bowiem pęcherzyki transportujące, które przenoszą białka, fosfolipidy i cholesterol do aparatu Golgiego. W cysternach aparatu Golgiego niektóre z tych związków ulegają modyfikacjom – w ten sposób powstają m.in. glikoproteiny i glikolipidy. Gotowe substancje są następnie sortowane i pakowane do pęcherzyków transportujących, które przenoszą je do miejsca przeznaczenia, czyli:

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

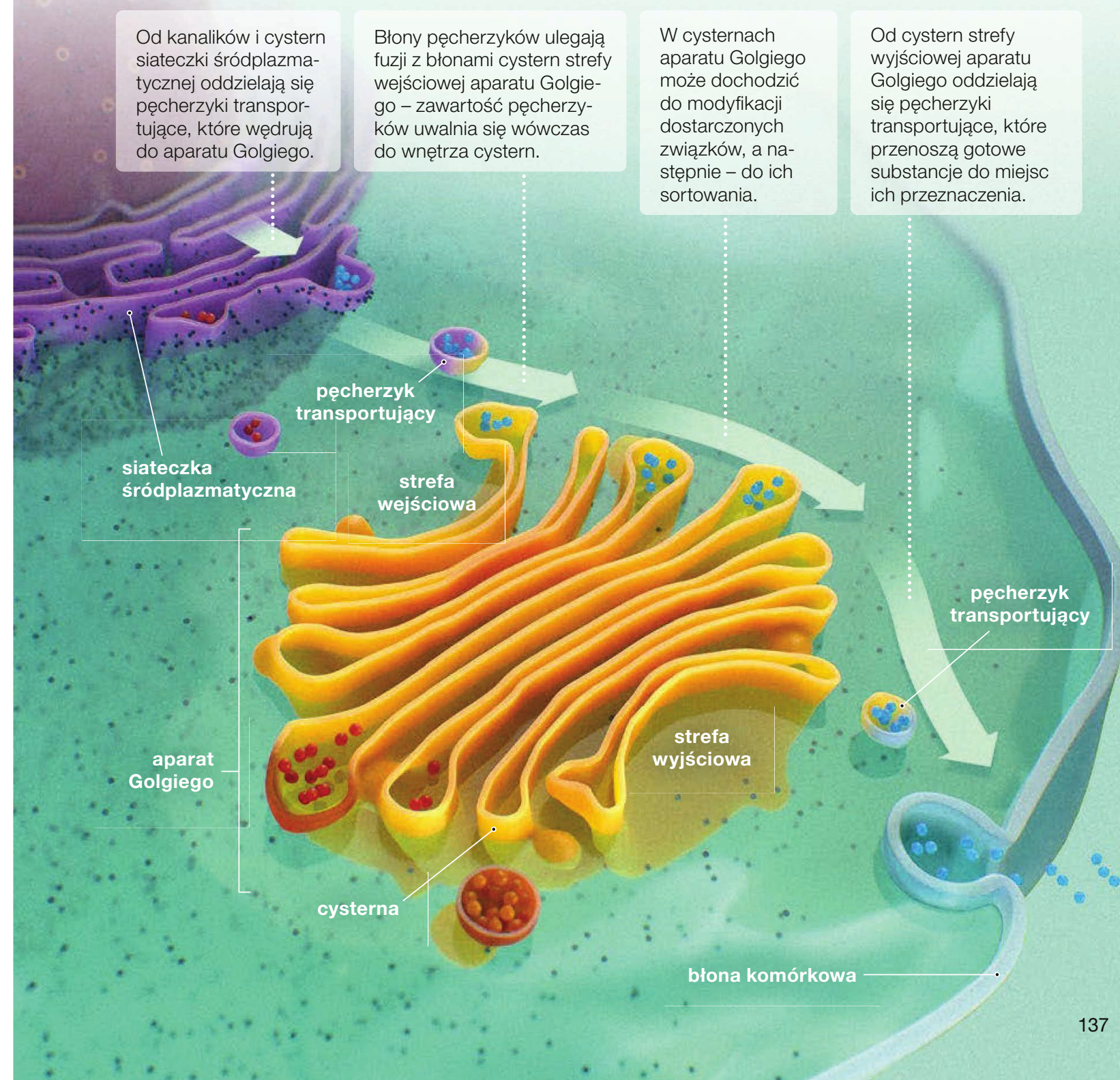
U roślin w cysternach aparatu Golgiego są syntetyzowane polisacharydy (pektyny i hemicelulozy), wykorzystywane do budowy ściany komórkowej.

U zwierząt aparat Golgiego jest szczególnie dobrze rozwinięty w komórkach wydzielniczych, m.in. w komórkach gruczołów dokrewnych (np. tarczycy) oraz w komórkach gruczołów wydzielania zewnętrznego (np. ślinianek).

Budowa aparatu Golgiego i jego rola w transporcie pęcherzykowym

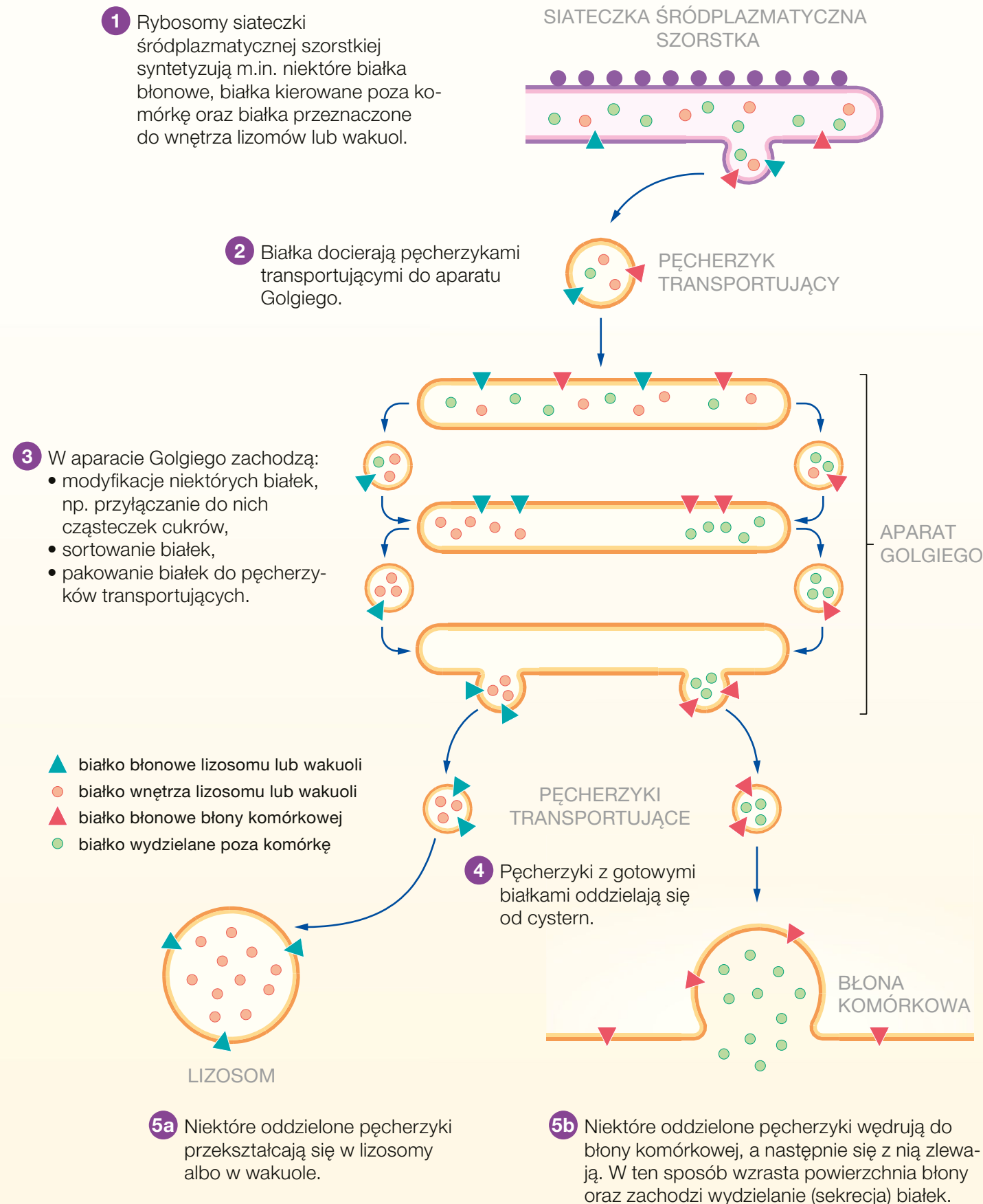
Aparat Golgiego jest zbiorem od 3 do 20 błoniastych cystern ułożonych w stos. Poszczególne cysterny komunikują się ze sobą za pośrednictwem pęcherzyków transportujących. W aparacie Golgiego wyróżnia się dwie strefy:

- ▶ **strefę wejściową** (*cis*), zwróconą w kierunku siateczki śródplazmatycznej; cysterny tej strefy odbierają pęcherzyki transportujące, które oddzieliły się od siateczki śródplazmatycznej,
- ▶ **strefę wyjściową** (*trans*), zwróconą w kierunku błony komórkowej; od cystern tej strefy oddzielają się pęcherzyki transportujące, które wędrują do błony komórkowej lub tworzą lizosomy (u zwierząt) bądź wakuole (u roślin).



Udział aparatu Golgiego w modyfikacjach i transporcie białek

Aparat Golgiego stanowi w komórce główny szlak, którym nowo zsyntetyzowane białka są transportowane od siateczki śródplazmatycznej szorstkiej do miejsc ich przeznaczenia.



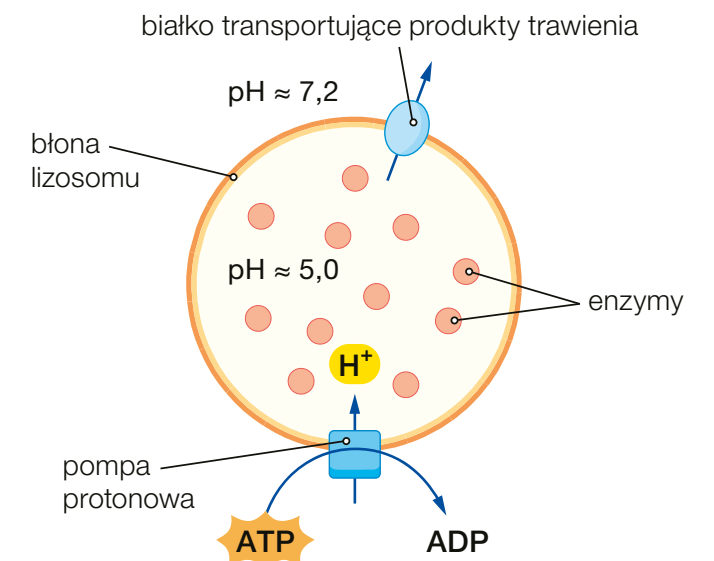
Lizosomy

Lizosomy to niewielkie pęcherzyki otoczone jedną błoną, występujące w komórkach zwierząt i wielu protistów. Zawierają one enzymy, które rozkładają złożone związki organiczne na związki prostsze.

Enzymy lizosomalne wykazują aktywność tylko w środowisku kwasowym ($\text{pH} \approx 5$). Z tego względu w błonach lizosomów znajdują się **pompy protonowe** transportujące jony H^+ z cytozolu do wnętrza tych organelli. Wśród enzymów trawiennych lizosomów znajdują się enzymy rozkładające białka oraz enzymy rozkładające lipidy. W związku z tym zarówno błona lizosomu, jak i cytoplazma komórki muszą być zabezpieczone przed strawieniem. Błone lizosomu pokrywa od wewnątrz warstwa cukrów, które są odporne na działanie enzymów trawiennych, a cytoplazmę komórki chroni obojętny odczyn cytozolu – enzymy lizosomalne tracą w nim swoją aktywność.

W lizosomach zachodzi **trawienie wewnątrzkomórkowe** m.in. uszkodzonych organelli oraz składników pobranych przez komórkę na drodze endocytozy. Końcowe produkty trawienia, takie jak aminokwasy, cukry proste i nukleotydy, są transportowane przez błonę lizosomu do cytozolu. Tam mogą zostać wykorzystane do nowych syntez lub przetransportowane dalej, poza komórkę. Jeśli trawienie jest niekompletne, to w lizosomie pozostają niestrawione resztki pobranych substancji, które są usuwane z komórki na drodze egzocytozy.

Lizosomy są szczególnie liczne w komórkach organizmów, które charakteryzują się wewnątrzkomórkowym trawieniem pokarmu. Należą do nich niektóre bezkręgowce, a także wiele gatunków protistów odżywiających się na drodze fagocytozy lub pinocytozy. U kręgowców (w tym człowieka) duża liczba lizosomów występuje w wyspecjalizowanych komórkach fagocytujących (żernych). Do takich komórek należą niektóre leukocyty uczestniczące w reakcjach odpornościowych – fagocytują one mikroorganizmy chorobotwórcze oraz inne obce cząstki.



Budowa lizosomu.

Peroksosomy

Peroksosomy to drobne pęcherzyki otoczone jedną błoną, które występują we wszystkich komórkach eukariotycznych. Peroksosomy powstają z gładkiej siateczki śródplazmatycznej i zawierają enzymy syntetyzowane na wolnych rybosomach cytoplazmatycznych. Enzymy te katalizują różnorodne reakcje zachodzące z udziałem tlenu, m.in.:

- ▶ wytwarzanie mieliny, która buduje otoczki komórek nerwowych,
- ▶ neutralizowanie substancji szkodliwych i obcych dla organizmu (np. alkoholu etylowego, leków).

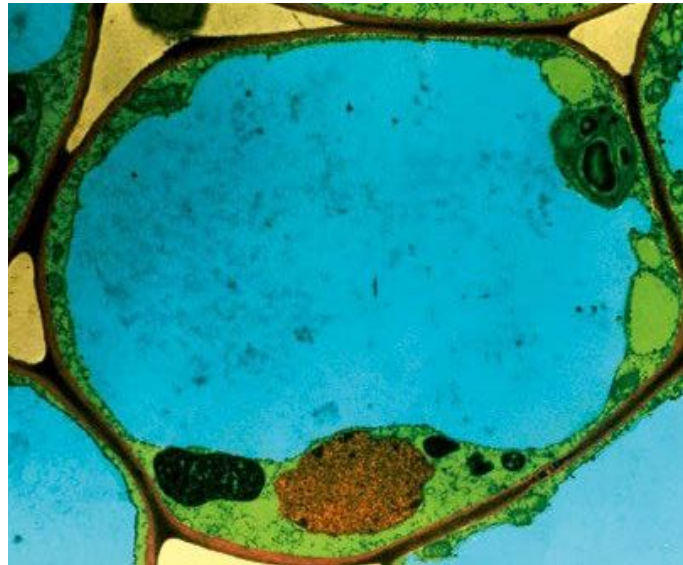
Ubocznym produktem niektórych procesów zachodzących w peroksosomach jest nadtlenek wodoru (H_2O_2). Związek ten należy do reaktywnych form tlenu, które są bardzo szkodliwe dla komórek. Powodują one uszkodzenia lipidów błonowych, białek i kwasów nukleinowych, co może prowadzić do rozwoju poważnych chorób. Z tego powodu peroksosomy zawierają enzym – **katalazę** – rozkładający nadutlenek wodoru do wody i tlenu zgodnie z równaniem reakcji chemicznej: $2 \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \uparrow$.

Czy wiesz, że...

Katalaza jest enzymem o bardzo dużej aktywności – w ciągu jednej minuty rozkłada do wody i tlenu ok. sześciu milionów cząsteczek nadutlenku wodoru.

Wakuole roślinne

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



Wakuola dojrzałej komórki roślinnej (obraz spod TEM, barwiony komputerowo).

Podstawowe funkcje wakuol roślinnych:

- ▶ utrzymywanie jędrności (turgoru) komórek, czyli odpowiedniego stopnia ich uwodnienia,

- ▶ magazynowanie jonów (np. K^+ , Ca^{2+} , Na^+ , Cl^- , NO_3^-) oraz substancji zapasowych (np. cukrów i białek),
- ▶ magazynowanie ubocznych produktów przemiany materii (np. kryształów szczawianu wapnia),
- ▶ gromadzenie flawonoidów, alkaloidów oraz garbników.

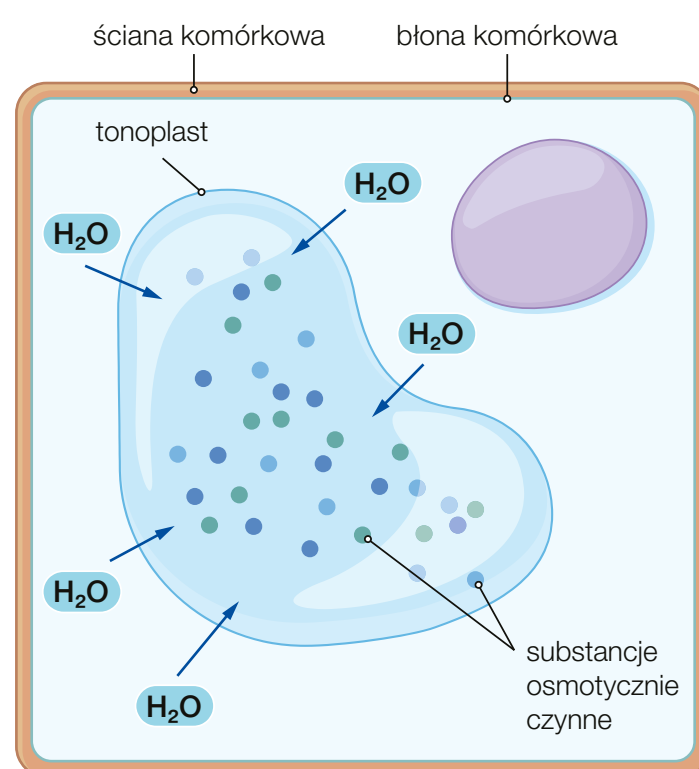
Flawonoidy nadają kwiatom i owocom jaskrawe barwy (m.in. żółtą, czerwoną, niebieską lub fioletową). Zwiększają w ten sposób atrakcyjność roślin dla zwierząt zapylających kwiaty lub rozsiewających nasiona.

Alkaloidy i garbniki pełnią funkcje obronne – są silnie trujące, odstraszają zapachem lub pogarszają smak roślin. W ten sposób chronią rośliny przed roślinożercami oraz drobnoustrojami chorobotwórczymi.

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.

Dlaczego w wakuoli roślinnej mogą być magazynowane substancje osmotycznie czynne?

W skład soku komórkowego wchodzi wiele substancji osmotycznie czynnych, m.in. glukoza, fruktoza i sacharoza. Duże stężenie tych substancji powoduje napływ wody do wnętrza wakuoli. W wyniku napływu wody wakuola pęcznieje, a turgor komórki rośnie. Przemieszczaniu się zbyt dużej ilości wody przeciwdziała sztywna ściana komórkowa, która zabezpiecza komórkę przed pęknięciem. Dzięki temu komórki roślinne, w odróżnieniu od komórek zwierzęcych, mogą magazynować substancje osmotycznie czynne.

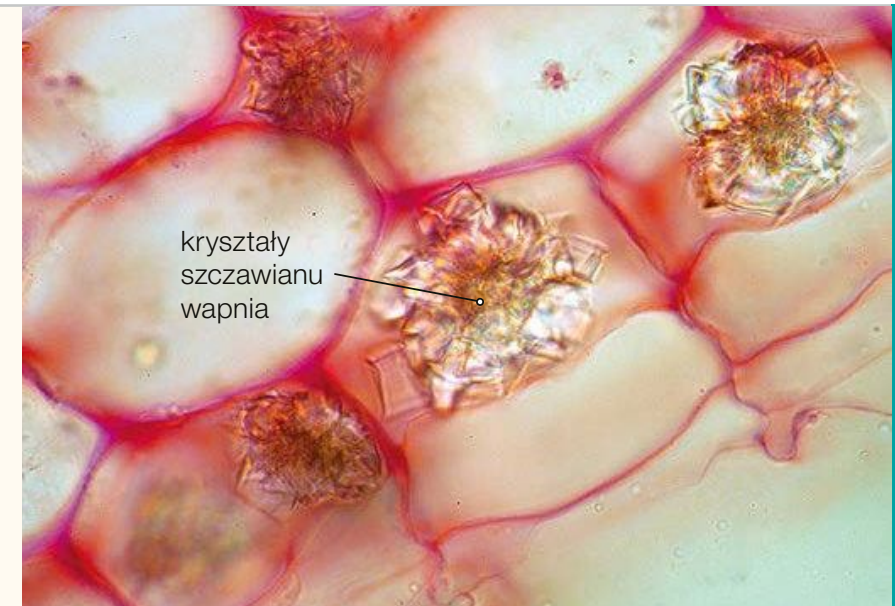


Napływ wody do wakuoli zwiększa stopień uwodnienia komórek roślinnych oraz powoduje ich wzrost.



Obserwacja mikroskopowa kryształów szczawianu wapnia w wakuolach komórek roślinnych

Wykonaj preparaty zewnętrznego (suchego) liścia cebuli oraz liścia bluszczu. Następnie obserwuj je pod mikroskopem. Zwróć uwagę na to, w jakiej formie występują kryształy szczawianu wapnia w wakuolach obserwowanych komórek roślinnych.



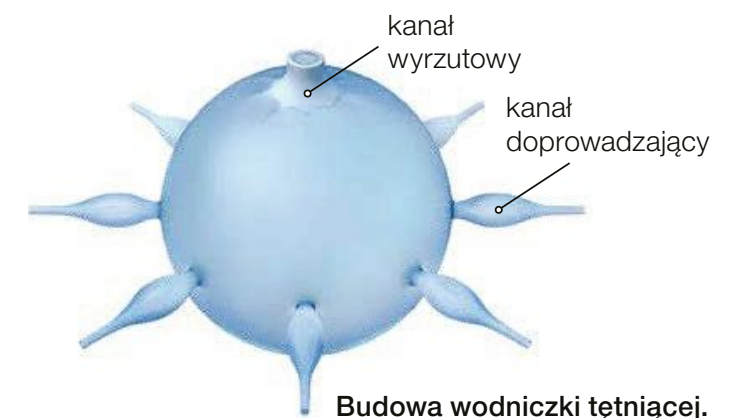
Obserwacja

Wodniczki protistów

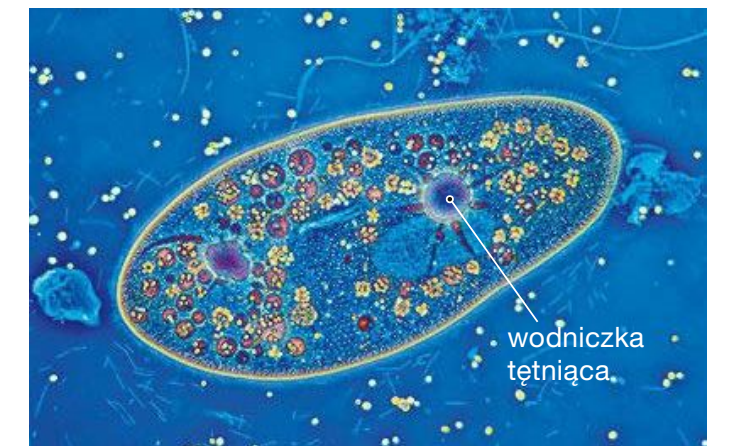
Wakuole protistów określa się mianem wodniczek. Wyróżnia się dwa rodzaje tych struktur:

- ▶ **wodniczki pokarmowe** odpowiedzialne za trawienie pokarmu,
- ▶ **wodniczki tętniące** odpowiedzialne za osmoregulację, czyli usuwanie nadmiaru wody z komórki.

Wodniczki tętniące występują niemal wyłącznie u protistów słodkowodnych, których komórki nie są otoczone ścianą komórkową. Organizmy te żyją w środowisku hipotonicznym, dlatego woda napływa osmotycznie do ich wnętrza. Zbyt duża ilość wody może powodować pęknięcie komórek – z tego względu jej nadmiar jest zbierany i usuwany na zewnątrz przez krążące w cytozolu wodniczki tętniące. Najprostsze wodniczki mają postać zwykłych pęcherzyków. U wielu gatunków struktury te są jednak bardziej skomplikowane – zawierają kanały doprowadzające wodę oraz kanały wyrzutowe, które otwierają się na zewnątrz komórki.



Budowa wodniczki tętniącej.



Wodniczki tętniące w komórce pantofelka – *Paramecium caudatum* (obraz spod mikroskopu optycznego, barwiony komputerowo).

Polecenia kontrolne

1. Wykaż związek między budową a funkcją siateczki śródplazmatycznej szorstkiej.
2. Wyjaśnij, na czym polegają funkcjonalne powiązania między siateczką śródplazmatyczną, aparatem Golgiego i błoną komórkową.
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

Ważne w tym temacie!

- związek między budową a funkcjami ściany komórkowej
- funkcje połączeń międzykomórkowych u roślin

Komórki większości organizmów otacza od zewnątrz ściana komórkowa, której głównym składnikiem są zwykle polisacharydy. Ściana komórkowa jest jednocześnie wytrzymała i elastyczna – dzięki temu nie tylko chroni komórkę, lecz także pozwala na jej wzrost i rozwój. Bezpośrednio pod ścianą komórkową znajduje się **protoplast**, czyli część komórki ograniczona błoną komórkową.

■ Ściana komórkowa

Ściana komórkowa stanowi zewnętrzną warstwę komórek bakterii, grzybów, roślin oraz niektórych protistów. Jej podstawowy 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 drobnoustrojów chorobotwórczych.

Ściana komórkowa komórek roślinnych

Głównym składnikiem ściany komórkowej komórek roślinnych jest **celuloza**. Łańcuchy tego polisacharydu są nierozgałęzione i zawierają od kilku do kilkunastu tysięcy reszt glukozy połączonych wiązaniami 1,4-β-glikozydowymi. Za ich syntezę odpowiada enzym zlokalizowany w błonie komórkowej. Poszczególne łańcuchy celulozy łączą się ze sobą **wiązaniami wodorowymi** i układają w równoległe wiązki zwane **mikrofibrilami celulozowymi**. Mikrofibryle

tworzą włóknisty szkielet ściany komórkowej, a przestrzenie między włóknami wypełnia macierz zbudowana z **hemiceluloz**, **pektyn**, **białek** oraz **wody**.

Hemicelulozy i pektyny to polisacharydy o rozgałęzionych łańcuchach, które są krótsze od łańcuchów celulozy. Ich synteza odbywa się w aparacie Golgiego. Gotowe związki są przenoszone z cystern aparatu Golgiego do ściany komórkowej w pęcherzykach transportujących.

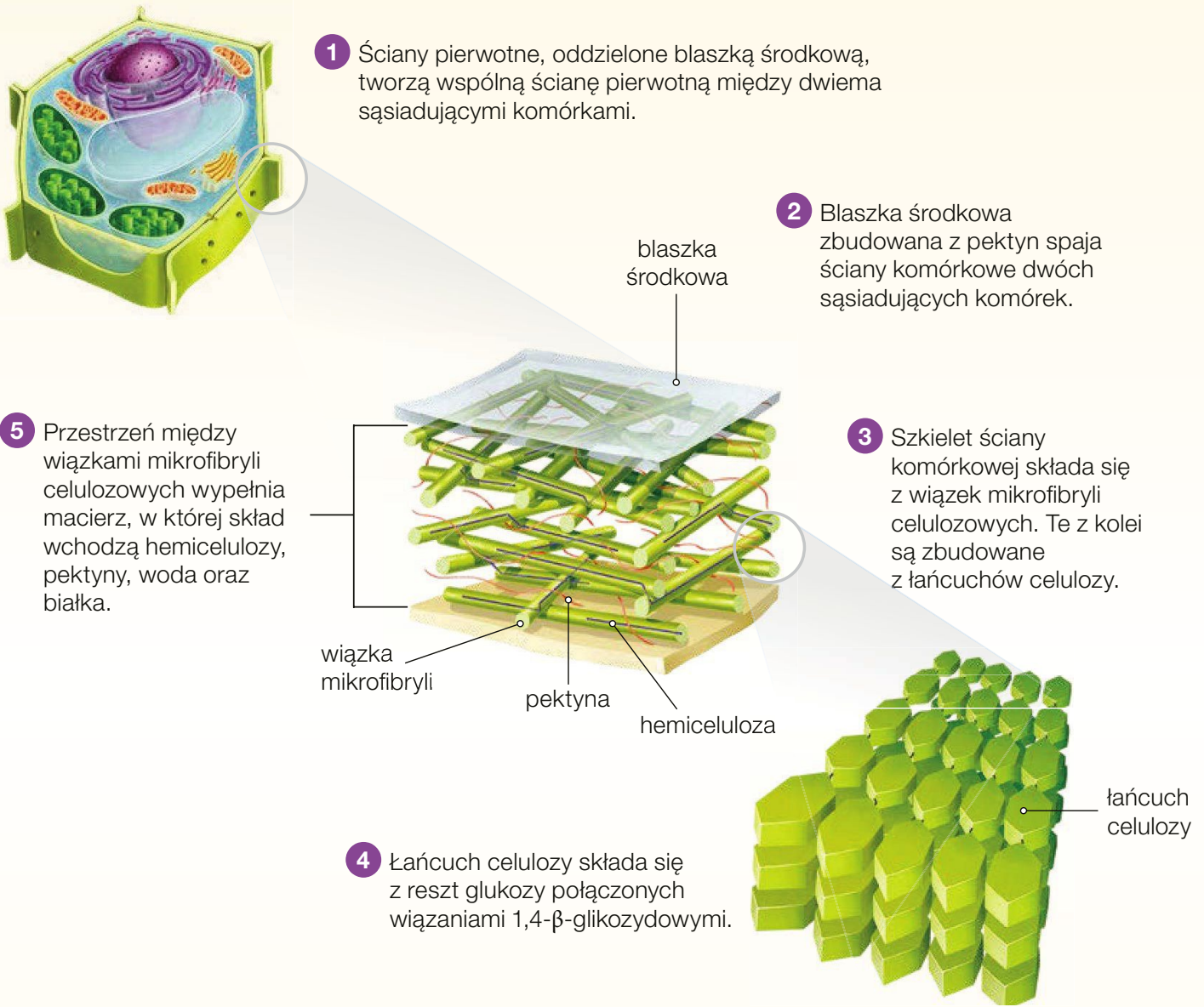
Zawartość białek w ścianach komórkowych komórek roślinnych jest znacznie mniejsza niż zawartość polisacharydów. Białka te pełnią jednak ważne funkcje budulcowe i enzymatyczne. Na szczególną uwagę zasługują enzymy uczestniczące w wytwarzaniu **kutyny**, **ligniny** i **suberyny**, czyli związków chemicznych, które modyfikują ściany komórkowe i nadają im specyficzne właściwości. Do modyfikacji ścian komórkowych zalicza się **powlekanie** (adkrustację) oraz **wysycanie** (inkrustację).

Wyróżnia się dwa rodzaje ścian komórkowych: ściany pierwotne i ściany wtórne.

▶ **Ściany pierwotne** są cienkie i delikatne, dlatego występują głównie w młodych komórkach roślinnych, które intensywnie rosną. W przeliczeniu na jednostkę biomasy ściany te zawierają ok. 5% celulozy, 30% hemiceluloz i pektyn, 5% białek oraz 60% wody. W komórkach skórki pędu ściany zewnętrzne (kontaktujące się ze środowiskiem) są powleczone kutyną.

▶ **Ściany wtórne** są grube i wytrzymałe. Zawierają więcej celulozy oraz mniej białek i wody niż ściany pierwotne. W komórkach niektórych tkanek roślinnych (np. drewna i korkowicy) są one wysycane ligniną lub powleczone suberyną.

Budowa ściany komórkowej komórek roślinnych

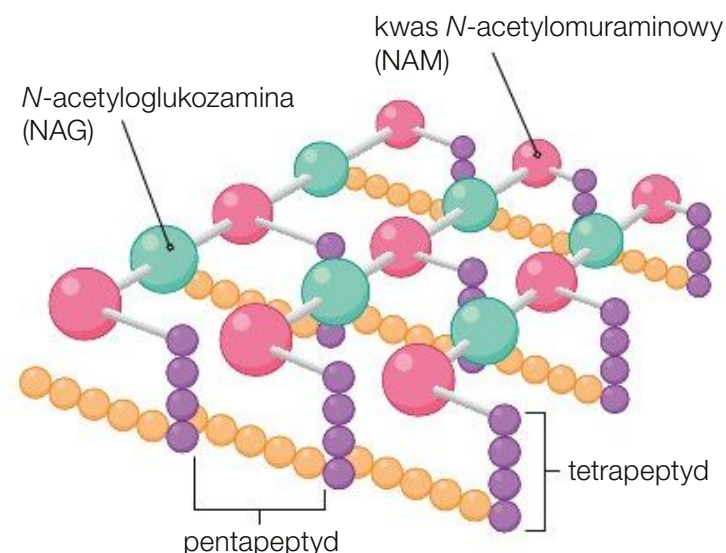


Główne substancje modyfikujące ściany komórkowe komórek roślinnych		
kutyna	lignina	suberyna
Wchodzi w skład kutykuli – lipidowej warstwy, która pokrywa komórki skórki pędu. Zabezpiecza organy roślinne przed nadmierną utratą wody.	Występuje m.in. w komórkach drewna. Pełni funkcję wzmacniającą oraz umożliwia pionowy transport wody w roślinie.	Występuje w komórkach korkowicy, która okrywa łodygi i korzenie roślin drzewiastych. Chroni organy roślinne przed niekorzystną temperaturą, nadmierną utratą wody i urazami mechanicznymi.



Budowa ściany komórkowej komórek bakterii

Najważniejszym składnikiem ściany komórkowej komórek bakterii jest **mureina** – peptydoglikan zbudowany z sacharydów i krótkich peptydów. Do sacharydów mureiny należą: *N*-acetyloglukozamina (NAG) oraz kwas *N*-acetylmuraminowy (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 za pomocą peptydów. Ściana komórkowa bakterii jest sztywna i mocna – m.in. chroni komórki przed pęknięciem w środowisku hipotonicznym.



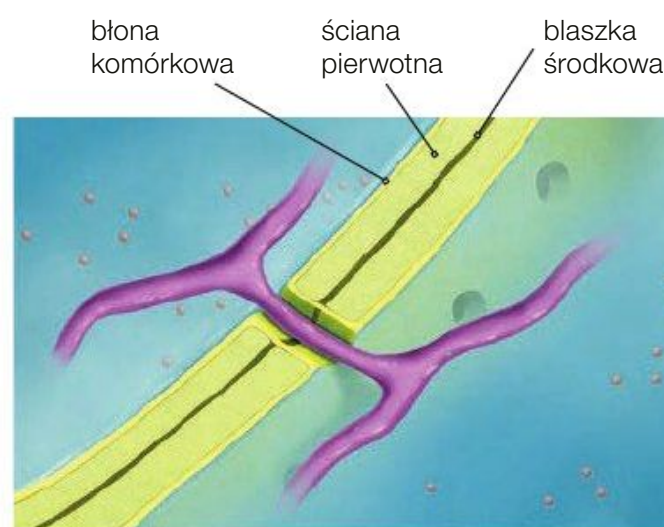
Połączenia międzykomórkowe

Komórki wchodzące w skład tkanek stanowią funkcjonalną całość dzięki występowaniu połączeń międzykomórkowych. Połączenia te zapewniają integralność (spójność) tkanek, a także umożliwiają kontakt między poszczególnymi komórkami.

Za integralność tkanek roślinnych odpowiada **blaszka środkowa**, która spaja ze sobą ściany pierwotne sąsiadujących komórek. Blaszka środkowa jest zbudowana z pektyn – kiedy ulega ona rozpuczeniu, komórki się rozsuwają. Proces taki zachodzi m.in. w dojrzewających owocach mięsistych, których tkanki stopniowo mięknią i kruszeją.

Za kontakt sąsiadujących komórek roślinnych odpowiadają **plazmodesmy**. Są to cienkie pasma cytoplazmy, przenikające z komórki do komórki przez jamki zlokalizowane w ścianach komórkowych. Przez plazmodesmy zachodzi

transport wielu substancji, m.in. jonów i niewielkich cząsteczek. Tą drogą mogą również przenikać wirusy powodujące choroby roślin.

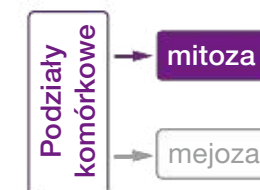


Plazmodesmy są otoczone błoną komórkową. Łączą one zarówno cytozol, jak i siateczki śródplazmatyczne sąsiadujących komórek roślinnych.

Polecenia kontrolne

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

3.8. Cykl komórkowy. Mitoza



Ważne w tym temacie!

- fazy cyklu komórkowego oraz zachodzące w ich trakcie zmiany ilości DNA
- organizacja materiału genetycznego w komórce
- procesy zachodzące w poszczególnych etapach mitozy oraz znaczenie mitozy w zachowaniu ciągłości życia na Ziemi
- ✂ • przebieg cytokinezy w komórkach roślinnych i zwierzęcych
- znaczenie apoptozy dla prawidłowego rozwoju i funkcjonowania organizmu wielokomórkowego

Nowe komórki powstają wskutek podziału już istniejących komórek. Jednak zanim komórka zacznie się dzielić, musi zwiększyć ilość cytoplazmy i liczbę organelli, a także podwoić materiał genetyczny. U organizmów eukariotycznych ogół procesów polegających na wzroście i podziale komórki nazywa się **cyklem komórkowym**.

Cykl komórkowy

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

W cyklu komórkowym wyróżnia się dwa główne etapy:

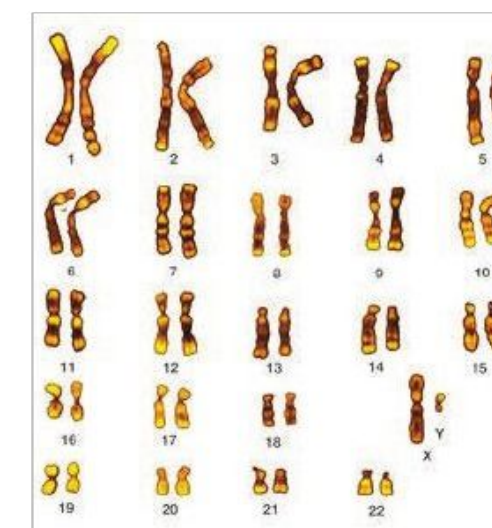
- ▶ **interfazę**, czyli okres między podziałami, podczas którego komórka zwiększa swoje rozmiary, powiela organelle komórkowe oraz podwaja materiał genetyczny,
- ▶ **fazę M**, czyli podział komórki, na który składają się podział jądra komórkowego – **kariokineza** – oraz podział cytoplazmy – **cytokineza**.

Kariokinezę zachodzącą w cyklu komórkowym nazywa się **mitozą**. Innym znanym rodzajem kariokinezy jest **mejoza**.

Uwaga: Terminami *mitoza* i *mejoza* określa się często cały proces podziału komórki (kariokinezę i cytokinezę).

Ile chromosomów znajduje się w komórkach człowieka?

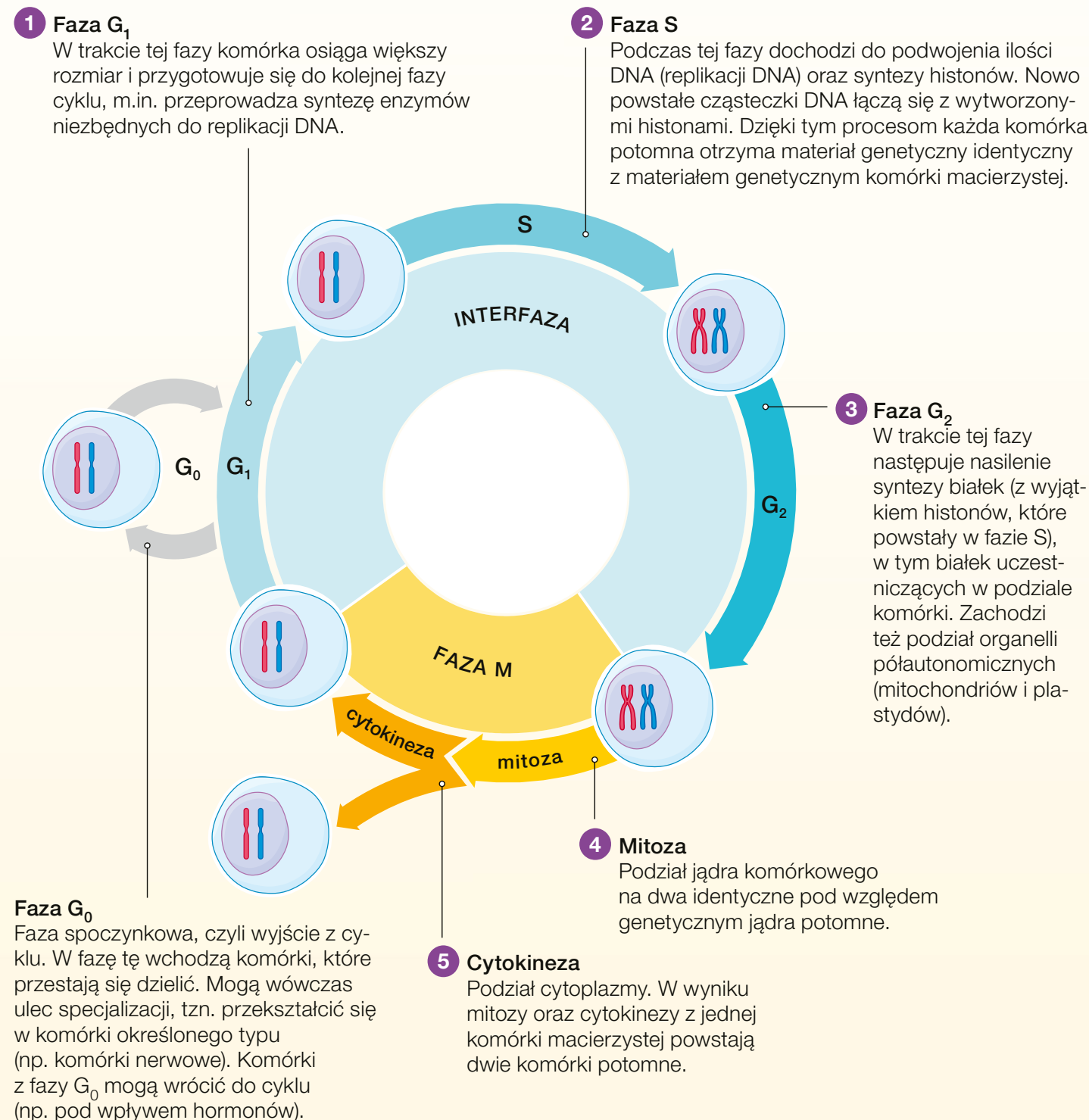
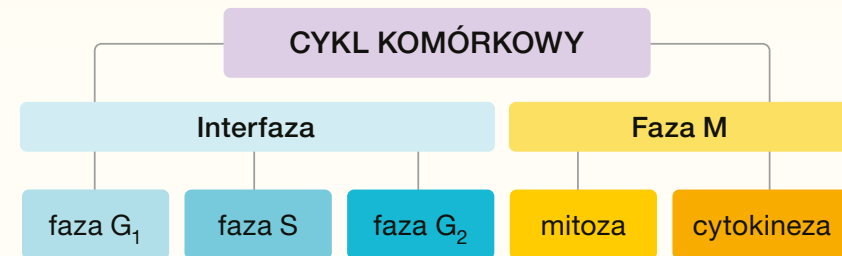
Komórki ciała człowieka (poza gametami) zawierają 46 chromosomów. Komórki te są diploidalne, czyli mają podwójny zestaw chromosomów – jeden odziedziczony po matce, a drugi po ojcu. W każdym zestawie występują chromosomy, które mają swoje odpowiedniki w drugim zestawie. Nazywa się je **chromosomami homologicznymi**, ponieważ zwykle mają one taką samą wielkość i zawierają geny warunkujące te same cechy. Wyjątkiem są chromosomy płci (X i Y), które różnią się długością i zawierają różne zestawy genów.



Kariotyp (zestaw chromosomów) komórki ciała mężczyzny.

Etapy cyklu komórkowego

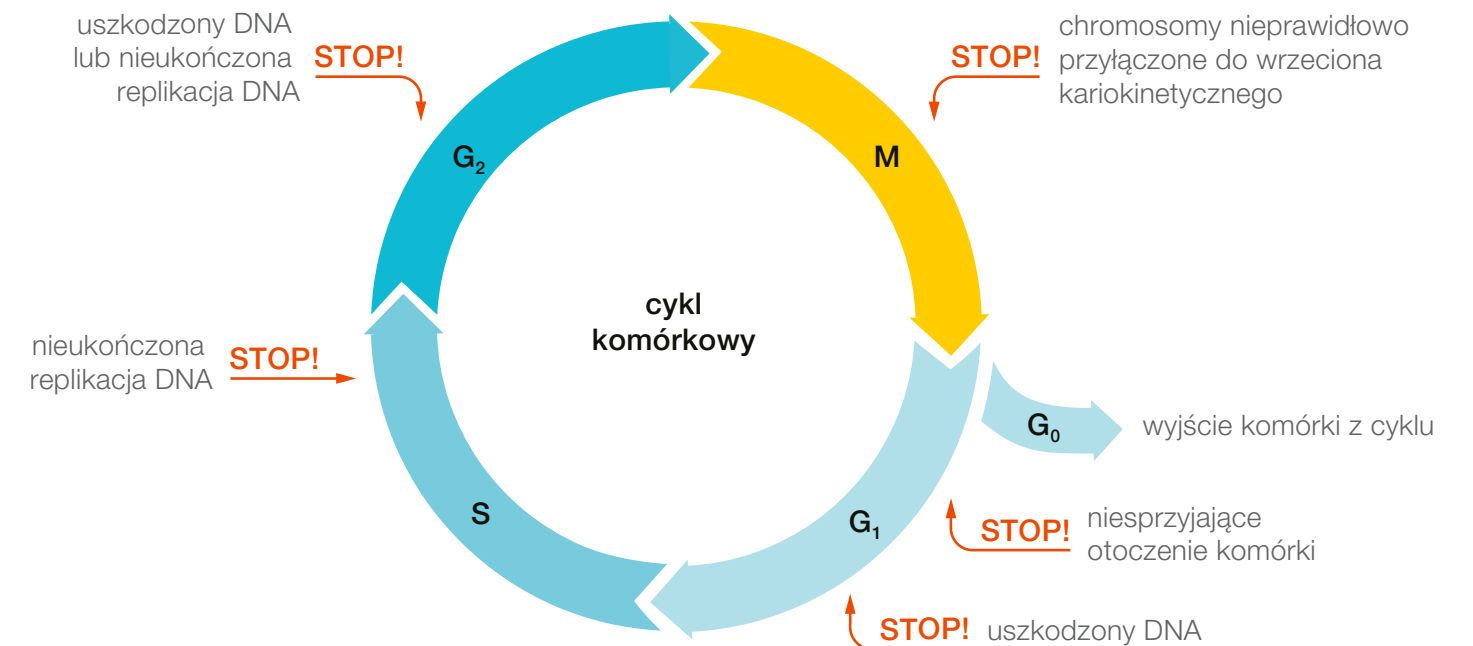
Cykl komórkowy składa się z interfazy i fazy M. Interfaza dzieli się na trzy fazy: G_1 , S i G_2 – w ich trakcie komórka przygotowuje się do podziału. Faza M to podział komórki, podczas którego zachodzą kariokineza (mitoza) i cytokineza.



Kontrola cyklu komórkowego

Cykl komórkowy jest ściśle regulowany. Występują w nim tzw. **punkty kontrolne cyklu komórkowego** (na poniższej ilustracji oznaczono je jako miejsca STOP!). Są to momenty, w których komórka sprawdza, czy cały proces przebiega prawidłowo. W regulacji cyklu komórkowego biorą udział liczne białka regulatorowe, m.in. białko p53. W przypadku gdy

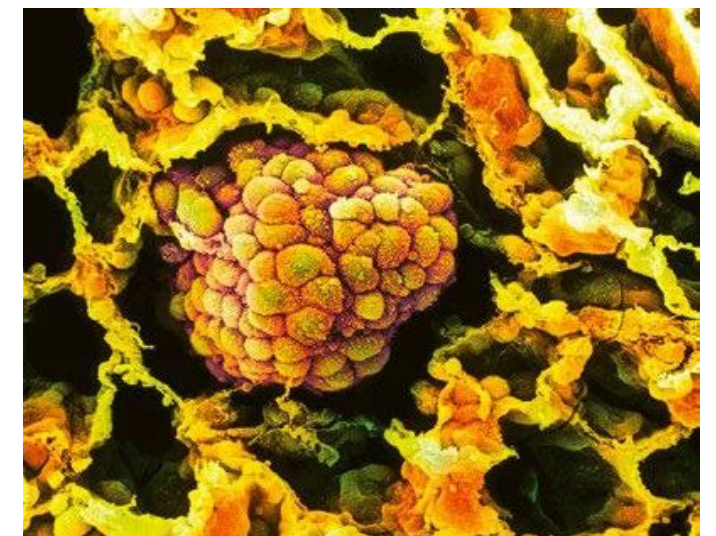
cykl komórkowy przebiega nieprawidłowo, może on zostać zatrzymany w jednym z punktów kontrolnych. Dzięki temu komórka ma czas na naprawę nieprawidłowości, np. w sytuacji uszkodzenia DNA uruchamiane są procesy naprawcze. Jeśli naprawa DNA się nie powiedzie, to komórka może zostać zniszczona na drodze programowanej śmierci (apoptoza → s. 153).



Punkty kontrolne cyklu komórkowego.

Zaburzenia cyklu komórkowego

Do zaburzeń cyklu komórkowego może dojść m.in. w sytuacji, gdy w komórce brakuje białka p53 lub gdy występuje w niej jego nieprawidłowa wersja. Komórka kontynuuje wówczas cykl komórkowy – mimo obecności w niej uszkodzonego DNA. To z kolei może prowadzić do **transformacji nowotworowej**, czyli przemiany prawidłowej komórki w komórkę nowotworową. Komórka nowotworowa dzieli się nadmiernie i w sposób niekontrolowany. Skutkuje to wytworzeniem tkanki nowotworowej, co ostatecznie może doprowadzić do rozwoju choroby nowotworowej.

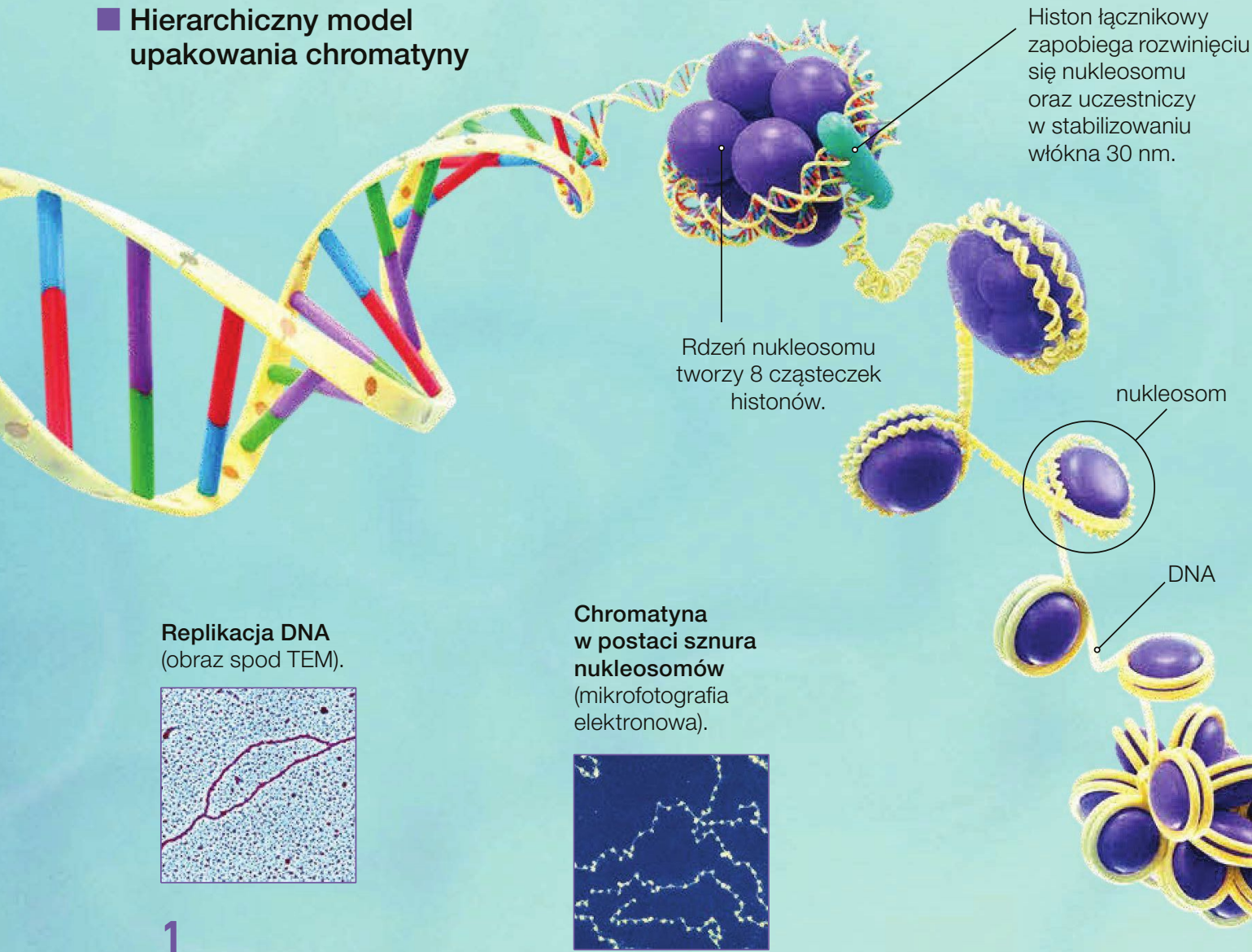


Komórki nowotworowe (obraz spod SEM) nadmiernie się dzielą i nie tworzą prawidłowej tkanki.

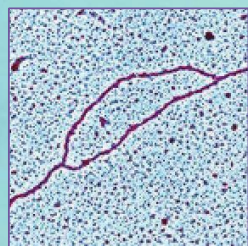
ORGANIZACJA MATERIAŁU GENETYCZNEGO W KOMÓRCIE EUKARIOTYCZNEJ

W komórkach eukariotycznych cząsteczki DNA łączą się z z histonami, tworząc kompleks nazywany chromatyną. W zależności m.in. od fazy cyklu komórkowego chromatyna może mieć różny stopień kondensacji (upakowania). Największy stopień kondensacji osiąga podczas podziału komórki – dzięki temu materiał genetyczny jest precyzyjnie rozdzielany do dwóch komórek potomnych.

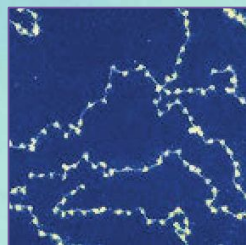
Hierarchiczny model upakowania chromatyny



Replikacja DNA (obraz spod TEM).



Chromatyna w postaci sznura nukleosomów (mikrofotografia elektronowa).



1. Fragmenty DNA występują w postaci wolnej (czyli bez histonów) podczas:
- replikacji (faza S),
 - odczytywania informacji genetycznej (fazy G₁, G₂ i G₀).

2. Po replikacji lub odczytaniu informacji genetycznej DNA łączy się z histonami, tworząc sznur nukleosomów.

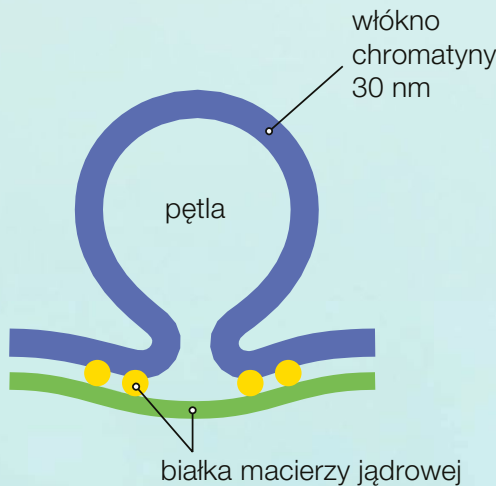
3. Sznur nukleosomów zwiija się helikalnie we włókno chromatyny 30 nm.

4. Włókno chromatyny 30 nm układa się w pętle połączone u podstawy z macierzą jądrową. Taki poziom upakowania chromatyny występuje w jądrze interfazowym.

5. W trakcie podziałów komórkowych pętle chromatynowe układają się promieniście wokół rdzenia utworzonego z białek macierzy jądrowej. Tworzy się wówczas najbardziej skondensowana postać chromatyny – chromosom metafazowy (→ s. 150).

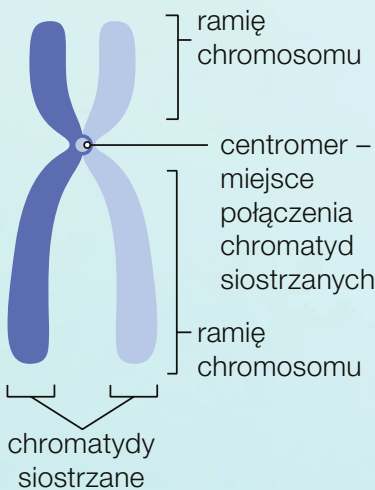
Macierz jądrowa

Macierz jądrowa jest zbudowana z białek, które tworzą wewnętrzny szkielet jądra komórkowego. Białka te stabilizują pętle chromatynowe.

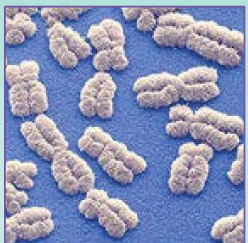


Chromosom metafazowy

W skład chromosomu metafazowego wchodzi dwie chromatydy siostrzane – każda z nich zawiera pojedynczą cząsteczkę DNA. Obie cząsteczki DNA są identyczne, ponieważ powstały w wyniku replikacji jednej macierzystej cząsteczki DNA.



Chromosomy metafazowe (obraz spod SEM).



kondensacja

dekondensacja

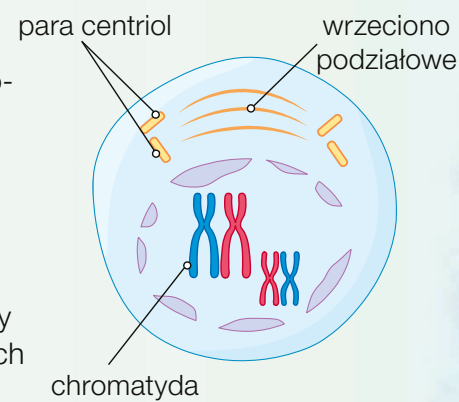


Mitoza

Mitoza zachodzi podczas fazy M cyklu komórkowego. Dzieli się ją na cztery fazy: **profazę**, **metafazę**, **anafazę** i **telofazę**. Mitoza zachodzi m.in. w komórkach somatycznych (komórkach ciała) zwierząt oraz roślin, co umożliwia wzrost tych organizmów. Prowadzi ona do powstania dwóch komórek potomnych o niezmienionej liczbie chromosomów.

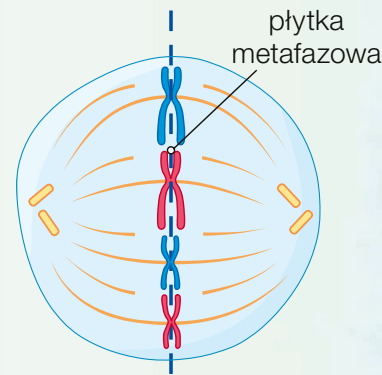
Profaza

- Zachodzi kondensacja chromosomów – każdy chromosom jest zbudowany z dwóch chromatyd.
- Zanikają otoczka jądrowa i jąderko.
- Powstaje **wrzeciono kariokinetyczne (wrzeciono podziałowe)** zbudowane z mikrotubul. Wrzeciono umożliwia kontrolowane przemieszczanie się chromosomów podczas podziału komórki. Chromosomy przytwierdzają się do włókien wrzeciona w miejscach zwanych centromerami.



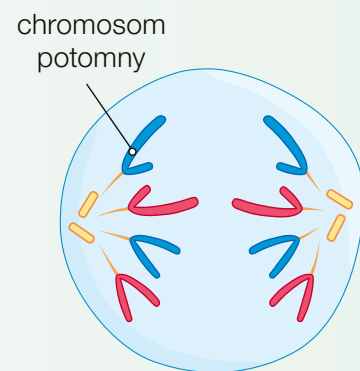
Metafaza

- Chromosomy osiągają maksymalny poziom kondensacji – są krótkie, grube i dobrze widoczne pod mikroskopem optycznym.
- Chromosomy połączone z włóknami wrzeciona kariokinetycznego układają się w płaszczyźnie równikowej komórki i tworzą tzw. płytkę metafazową.



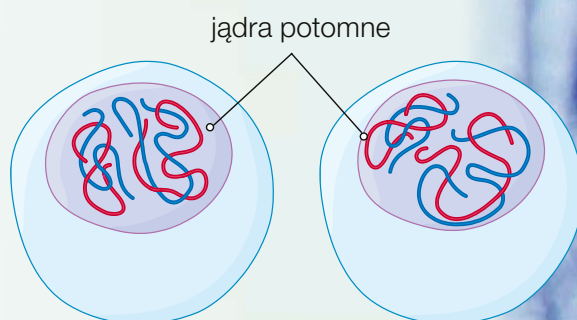
Anafaza

- Następuje podział centromerów, który pozwala na rozdzielenie każdego chromosomu na dwie chromatyd. Od tego momentu każda chromatyda staje się odrębnym chromosomem – tzw. chromosomem potomnym.
- Dzięki skracaniu się włókien wrzeciona kariokinetycznego chromosomy potomne przemieszczają się w kierunku przeciwnych biegunów komórki.



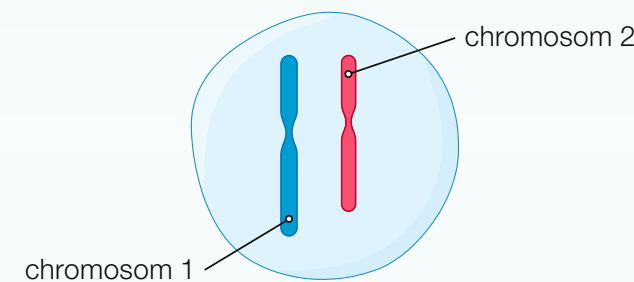
Telofaza

- Struktura chromosomów potomnych ulega stopniowemu rozluźnieniu (dekondensacji).
- Wokół chromosomów potomnych tworzy się otoczka jądrowa i zaczyna formować się jąderko.
- Zanika wrzeciono kariokinetyczne.
- Na przeciwnych biegunach komórki zaczynają tworzyć się dwa jądra potomne.

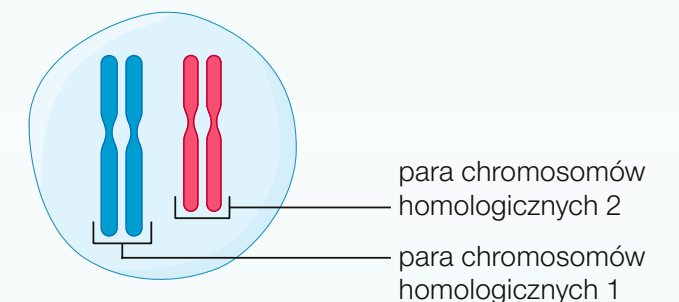


Zmiany zawartości DNA w komórce ulegającej mitozie

W pojedynczym zestawie chromosomów liczbę chromosomów oznacza się symbolem n ($1n$), a ilość DNA – symbolem c ($1c$). Niedzielące się komórki haploidalne zawierają pojedynczy zestaw chromosomów, dlatego ich liczbę chromosomów i ilość DNA zapisuje się jako $1n$, $1c$. Z kolei dzielące się komórki diploidalne mają podwójny zestaw chromosomów, dlatego ich liczbę chromosomów i ilość DNA zapisuje się jako $2n$, $2c$.



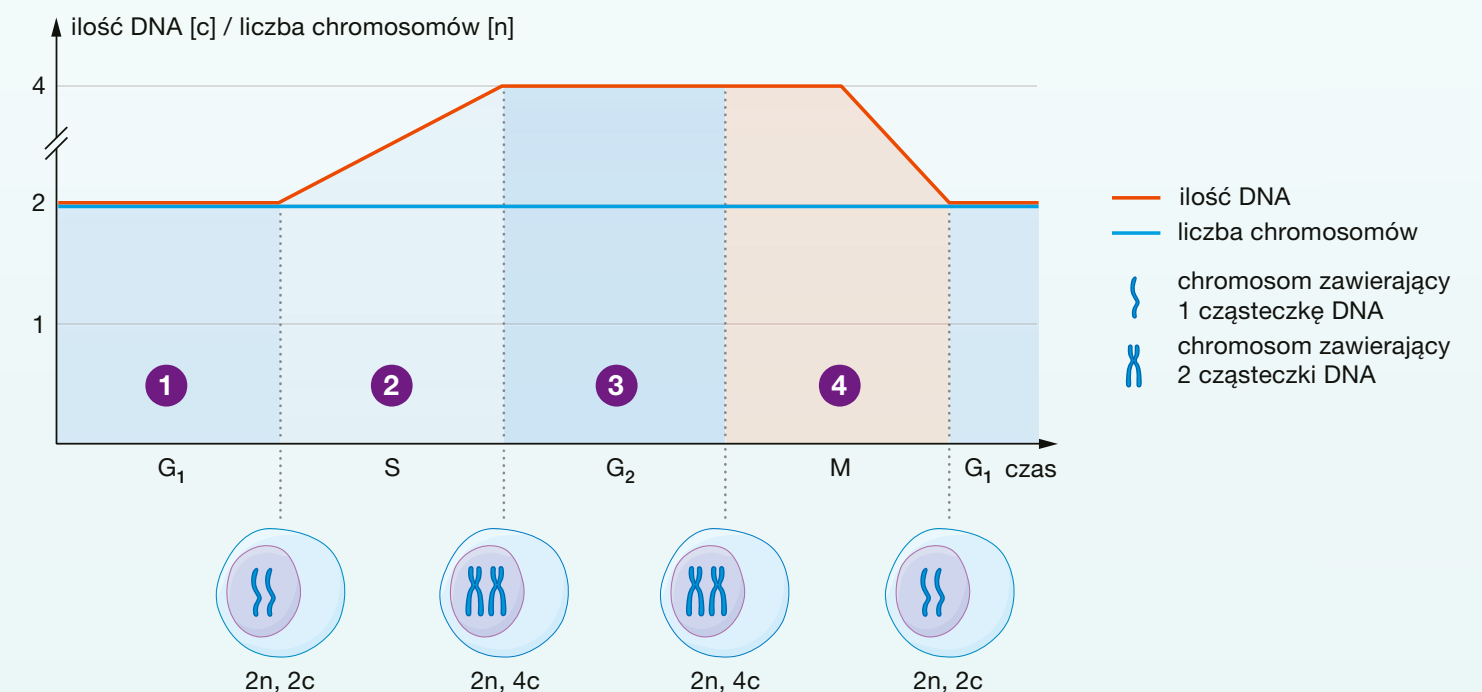
W dzielącej się komórce haploidalnej występuje tylko jeden zestaw chromosomów, dlatego liczbę chromosomów i ilość DNA zapisuje się jako $1n$, $1c$.



W dzielącej się komórce diploidalnej występują dwa zestawy chromosomów, dlatego liczbę chromosomów i ilość DNA zapisuje się jako $2n$, $2c$.

Zmiany liczby chromosomów (n) i ilości DNA (c) w komórce diploidalnej ulegającej mitozie

W przypadku dzielących się komórek liczba chromosomów i ilość DNA zmieniają się w kolejnych etapach interfazy i mitozy.

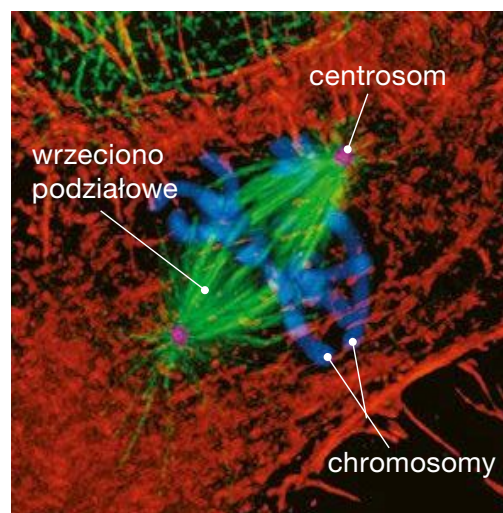


- 1 W komórce diploidalnej w fazie G_1 ilość DNA wynosi $2c$, a liczba chromosomów – $2n$.
- 2 W fazie S zachodzi replikacja DNA. W jej wyniku każdy chromosom składa się z dwóch takich samych cząsteczek DNA (chromatyd). Liczba chromosomów pozostaje bez zmian ($2n$), podwaja się za to ilość DNA (z $2c$ do $4c$).
- 3 W fazie G_2 ilość DNA i liczba chromosomów są takie same jak pod koniec fazy S ($2n$ i $4c$).
- 4 Podczas fazy M każda komórka potomna otrzymuje po jednej chromatydzie z każdego chromosomu. W związku z tym pod koniec fazy M komórki potomne mają dokładnie taką samą liczbę chromosomów i cząsteczek DNA jak komórka macierzysta ($2n$ i $2c$).



Wrzeciono kariokinetyczne

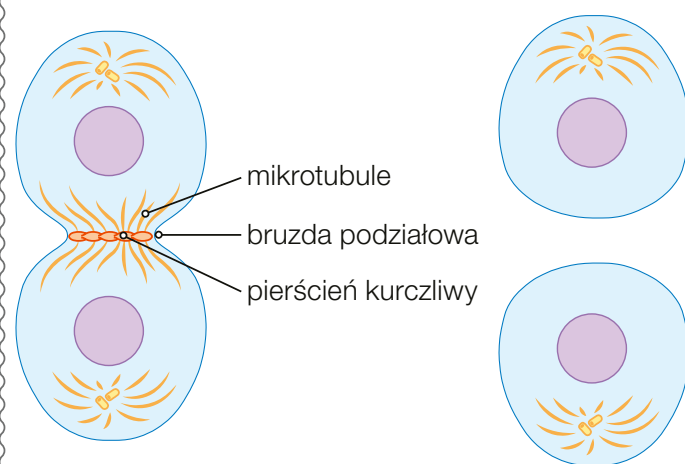
W komórkach roślin i zwierząt wrzeciono kariokinetyczne (podziałowe) formują się w odmienny sposób. Większość komórek roślinnych nie zawiera **centrosomu** (→ s. 125) – wrzeciono kariokinetyczne powstaje w nich jedynie z udziałem białek motorycznych komórki. Z kolei u zwierząt centrosom uczestniczy w powstawaniu wrzeciona podziałowego. Najpierw – w interfazie – centrosom ulega podwojeniu. Następnie – podczas mitozy – nowo powstałe centrosomy uczestniczą w formowaniu włókien wrzeciona kariokinetycznego. Na koniec – w trakcie cytokinezy – centrosomy zostają rozdzielone do komórek potomnych.



Cytokineza

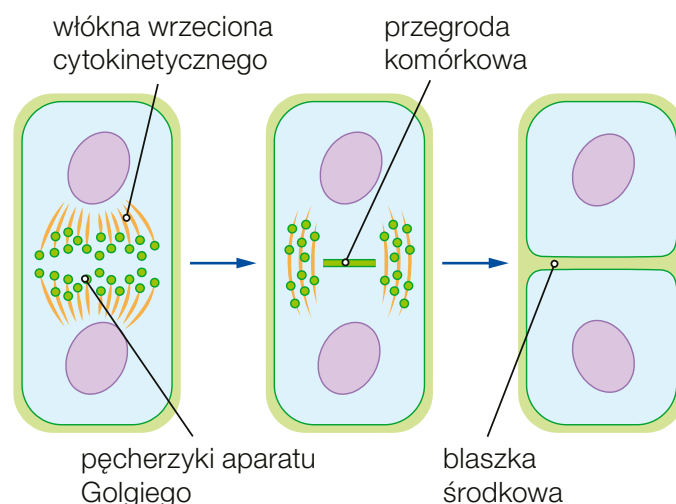
Podział cytoplazmy (cytozolu i organelli komórkowych) w komórkach zwierzęcych zaczyna się w anafazie, a w komórkach roślinnych – na początku telofazy.

W **komórkach zwierzęcych** cytokineza rozpoczyna się w momencie, gdy filamenty aktynowe (mikrofilamenty → s. 124) i miozynowe tworzą w płaszczyźnie równikowej komórki specjalną strukturę – **pierścień kurczliwy**, przylegający do wewnętrznej strony błony komórkowej. Kurcząc się, pierścień powoduje powstanie niewielkiego przewężenia, tzw. **bruzdy podziałowej**. Zaciskający się pierścień kurczliwy prowadzi do całkowitego rozdziału cytozolu i zanurzonych w nim organelli do obu komórek potomnych.



Cytokineza w komórce zwierzęcej odbywa się dzięki obecności pierścienia kurczliwego.

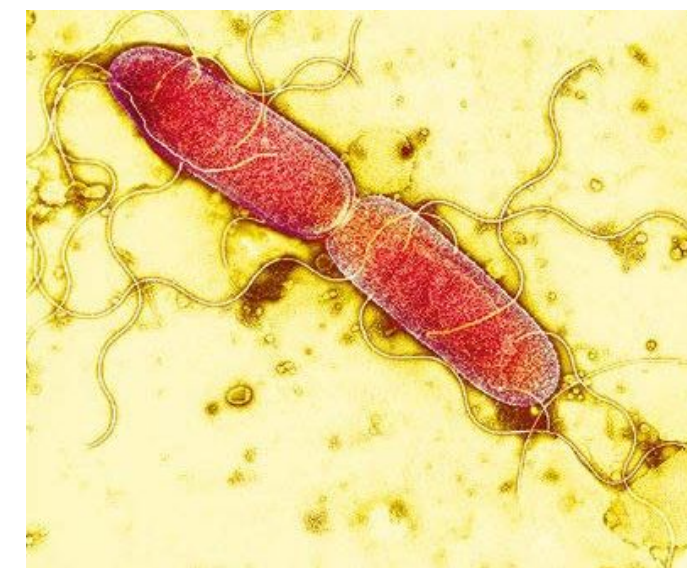
W **komórkach roślinnych** z pozostałości wrzeciona kariokinetycznego formuje się struktura nazywana **wrzecionem cytokinetycznym**. W płaszczyźnie równikowej wrzeciona cytokinetycznego układają się pęcherzyki aparatu Golgiego. Są one wypełnione pektynami i hemicelulozami – związkami niezbędnymi do budowy blaszki środkowej i pierwotnej ściany komórkowej (→ s. 142–143). Pęcherzyki łączą się ze sobą, tworząc błoniastą strukturę nazywaną **przegrodą komórkową**. Gdy błona przegrody komórkowej połączy się z błoną komórki macierzystej, dochodzi do podziału 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 roślinnej odbywa się dzięki obecności wrzeciona cytokinetycznego.

Jak dzielą się komórki bakterii?

Bakterie rozmnażają się przez **podział prosty komórki**. Podział ten nie jest mitozą, ponieważ bakterie nie mają jądra komórkowego, a ich DNA znajduje się bezpośrednio w cytozolu. Przed podziałem komórki bakteryjnej DNA ulega replikacji, a w trakcie podziału obie kopie materiału genetycznego są rozdzielane do powstających komórek potomnych. W komórkach bakterii nie występują centrosomy i wrzeciono kariokinetyczne – z tego względu naukowcy przypuszczają, że rozdział kopii DNA zachodzi podczas wzrostu komórki. Każda z kopii jest przyczepiona do błony komórkowej i ściany komórkowej w innym miejscu. W czasie wzrostu komórki kopie odsuwają się od siebie.



Bakteria *Escherichia coli* w trakcie podziału prostego (obraz spod TEM, barwiony komputerowo).

Znaczenie mitozy

Mitoza powoduje zwiększenie liczby komórek, które są identyczne pod względem genetycznym. Umożliwia w ten sposób:

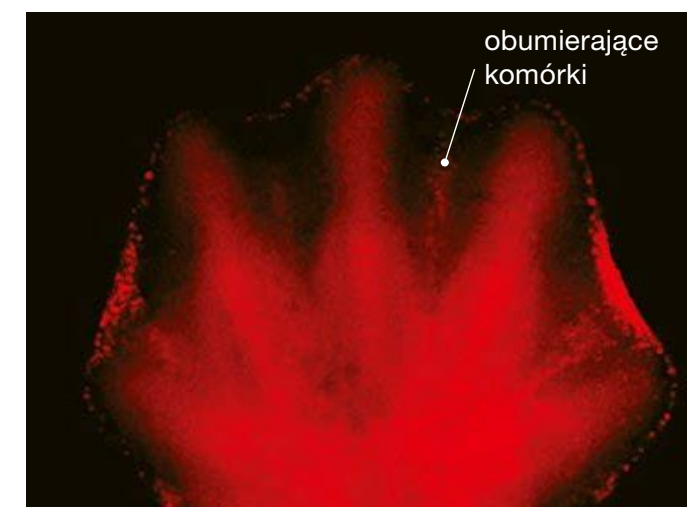
- ▶ **wzrost i rozwój** organizmów,
- ▶ **regenerację** uszkodzonych lub utraconych elementów budowy organizmu (komórek, tkanek, a nawet całych organów), np. zabliznianie się ran,
- ▶ **wymianę zużytych komórek** na nowe, np. wymianę komórek naskórka,
- ▶ **bezpłciowe rozmnażanie się** wielu organizmów, np. niektórych protistów, grzybów i roślin.

Apoptoza – programowana śmierć komórki

Apoptoza to genetycznie zaprogramowana śmierć komórki, nazywana również programowaną śmiercią komórki. Jest to naturalny proces, który umożliwia regulację liczby komórek budujących ciało organizmów wielokomórkowych.

Apoptoza pozwala m.in. na:

- ▶ **usuwanie struktur, które przestały pełnić swoją funkcję** na danym etapie rozwoju organizmu, np. zanik ogona kijanki żaby podczas przeobrażania się w dorosłego osobnika,



Formowanie się palców w łapie zarodka myszy (preparat barwiony fluorescencyjnie). Jasne punkty to komórki w trakcie apoptozy.

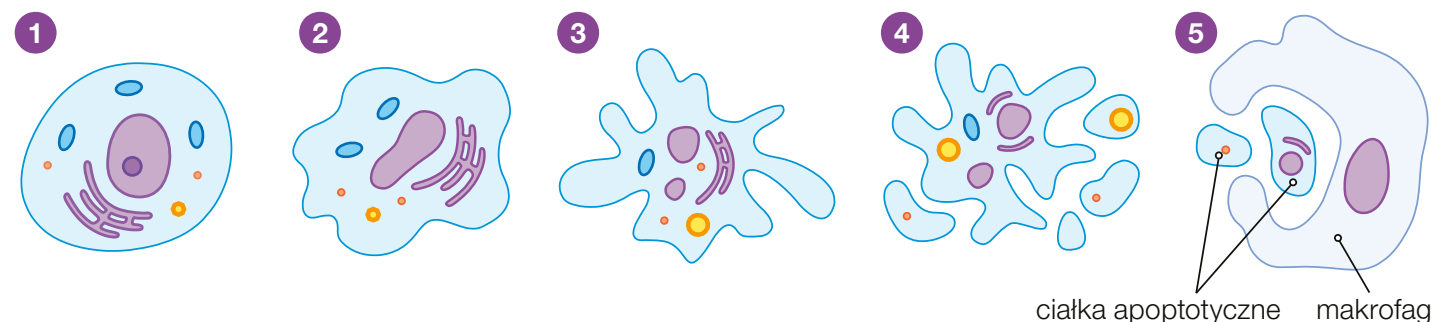
- ▶ **eliminację niepotrzebnych komórek** – np. podczas rozwoju embrionalnego znaczna część komórek nerwowych obumiera i tylko niektóre z nich uczestniczą w tworzeniu się układu nerwowego,
- ▶ **kształtowanie części ciała**, np. zanik błony pławnej między palcami podczas rozwoju embrionalnego ssaków,
- ▶ **eliminację komórek uszkodzonych**, zainfekowanych lub nieprawidłowych, np. wadliwie funkcjonujących komórek układu odpornościowego.



Przebieg apoptozy

Apoptoza przebiega w taki sposób, aby zawartość komórki nie przedostała się do przestrzeni międzykomórkowej. Dzięki temu komórki, które sąsiadują z obumierającą komórką, są chronione przed uszkodzeniami.

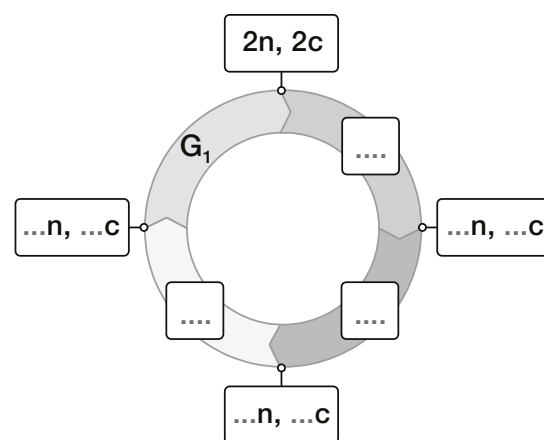
Etapy apoptozy



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

Polecenia kontrolne

1. Przerysuj poniższy schemat do zeszytu. Podpisz brakujące fazy cyklu komórkowego, a następnie określ liczbę chromosomów (n) i ilość DNA (c) w komórce w każdym ze wskazanych miejsc.

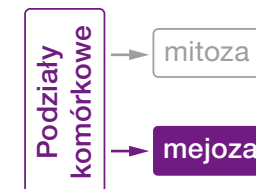


2. Uzasadnij konieczność replikacji DNA przed podziałem komórki.
3. Wykonaj w zeszycie rysunek przedstawiający metafazę mitozy w komórce, w której $2n = 6$.
4. Wyjaśnij, czym się różni cytokineza komórek zwierzęcych od cytokinezy komórek roślinnych.
5. Podaj przykłady trzech sytuacji, w których apoptoza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

3.9. Mejoza

Ważne w tym temacie!

- procesy zachodzące w poszczególnych etapach mejozy oraz znaczenie mejozy w zachowaniu ciągłości życia na Ziemi
- znaczenie *crossing-over* oraz niezależnej segregacji chromosomów jako źródeł zmienności rekombinacyjnej i różnorodności biologicznej



Większość organizmów rozmnażających się płciowo wytwarza gamety (np. plemniki i komórki jajowe), które łącząc się, tworzą zygotę – pierwszą komórkę nowego organizmu. Jednak aby powstałe potomstwo miało stałą liczbę chromosomów (charakterystyczną dla wszystkich przedstawicieli danego gatunku), liczba chromosomów w powstających gametach musi zostać zredukowana o połowę. Wytwarzanie komórek o zredukowanej liczbie chromosomów jest możliwe dzięki mejozie.

Mejoza

Mejoza jest podziałem jądra komórkowego, dzięki któremu z jednej komórki macierzystej powstają cztery komórki o zredukowanej o połowę liczbie chromosomów. Zatem z jednej komórki diploidalnej ($2n$) powstają cztery komórki haploidalne (n). Z tego względu mejoza jest również nazywana **podziałem redukcyjnym**.

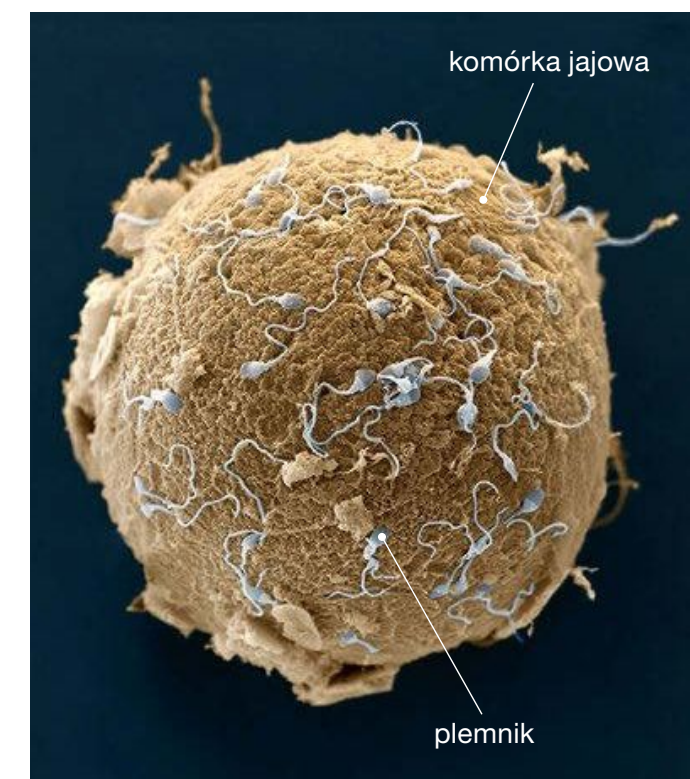
Mejoza umożliwia:

- ▶ u zwierząt – **wytwarzanie gamet** (komórek rozrodczych),
- ▶ u roślin i grzybów – **wytwarzanie mejospor** (zarodników).

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 zatrzymany na początkowym etapie, a jego kontynuacja następuje tuż przed każdą owulacją.

Uwaga: Mitoza i mejoza zachodzą wyłącznie w komórkach eukariotycznych (jądrowych). Mitoza może zachodzić w komórkach diploidalnych i haploidalnych, a mejoza – jedynie w komórkach diploidalnych. Przed mejozą – podobnie jak przed mitozą – występuje interfaza, która zwykle zawiera trzy fazy: G_1 , S i G_2 . Mejoza składa się z dwóch następujących po sobie podziałów komórkowych, między którymi nie występuje interfaza. Z tego względu rozpoczęcie przez komórkę mejozy jest równoznaczne z wyjściem komórki z cyklu komórkowego.



Komórka jajowa i plemnik, choć znacznie różnią się wielkością, zawierają dokładnie taką samą liczbę chromosomów. Fotografia przedstawia ludzkie gamety w momencie zapłodnienia (obraz spod SEM, barwiony komputerowo).

Przebieg mejozy

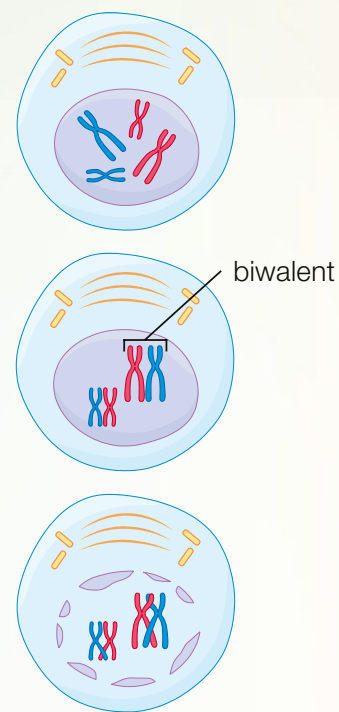
Mejoza obejmuje dwa sprzężone podziały: **I podział mejotyczny** oraz **II podział mejotyczny**. Każdy z nich – podobnie jak mitoza – składa się z czterech faz: profazy, metafazy, anafazy i telofazy.

I podział mejotyczny

Przed I podziałem mejotycznym DNA ulega replikacji – w jej efekcie każdy chromosom jest zbudowany z dwóch chromatyd połączonych centromerem. Następnie w trakcie podziału dochodzi do **redukcji ilości DNA i liczby chromosomów**.

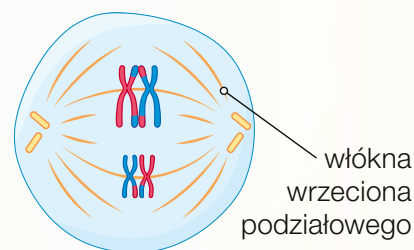
Profaza I

- ▶ Otoczka jądrowa i jąderko stopniowo zanikają.
- ▶ Zaczyna formować się wrzeciono kariokinetyczne.
- ▶ Chromosomy ulegają kondensacji.
- ▶ Chromosomy homologiczne układają się w parę – proces ten określa się mianem **koniugacji**. Pary chromosomów homologicznych nazywa się **biwalentami** lub **tetradami chromatyd** (w parze chromosomów występują łącznie cztery chromatydy).
- ▶ W biwalentach między chromosomami homologicznymi zwykle dochodzi do wymiany niektórych odcinków chromatyd. Proces ten nosi nazwę **crossing-over** [wym. krosing olwer].
- ▶ Chromosomy homologiczne poszczególnych biwalentów stopniowo zaczynają się rozdzielać.
- ▶ Pod koniec profazy I ostatecznie zanika otoczka jądrowa i tworzy się wrzeciono podziałowe.



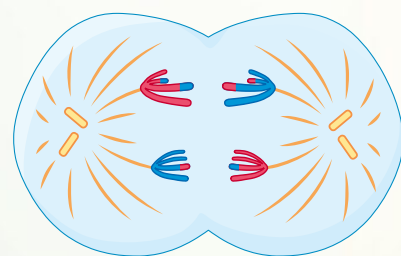
Metafaza I

- ▶ Pary chromosomów homologicznych (biwalenty) przesuwały się do płaszczyzny równikowej komórki.
- ▶ Włókna wrzeciona podziałowego łączą się z centromerami chromosomów.



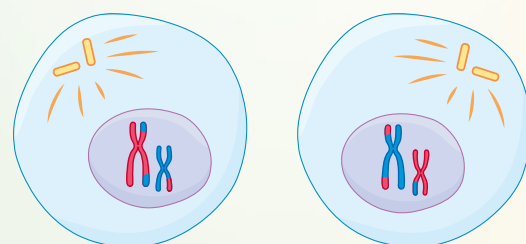
Anafaza I

- ▶ Następuje rozdzielanie chromosomów homologicznych – przemieszczają się one do biegunów komórki **losowo, po jednym z każdej pary**. Każdy z chromosomów składa się z dwóch chromatyd połączonych centromerem. W efekcie tego procesu komórki potomne odziedziczą **po jednym chromosomie z każdej pary**.



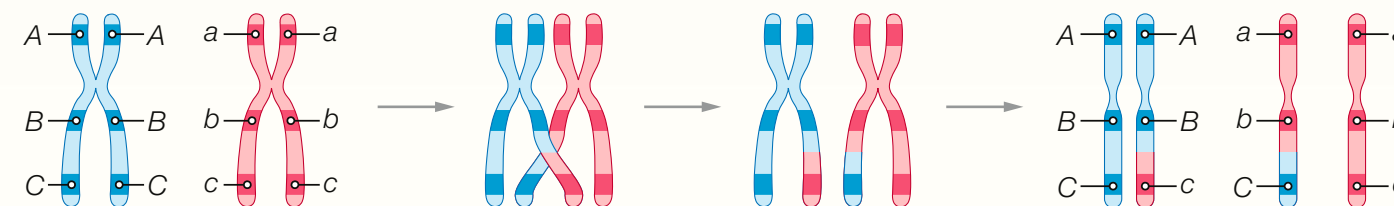
Telofaza I

- ▶ Zgrupowane na biegunach chromosomy ulegają częściowej dekondensacji.
- ▶ Odtwarzają się otoczki jądrowe i jąderka.
- ▶ Zachodzi cytokineza.



Crossing-over

Podczas *crossing-over* następuje wymiana niektórych fragmentów chromatyd między chromosomami homologicznymi. Prowadzi to do powstania chromosomów o zmodyfikowanej kombinacji alleli (wersji genów), co jest podstawą zróżnicowania genetycznego osobników w obrębie gatunku.



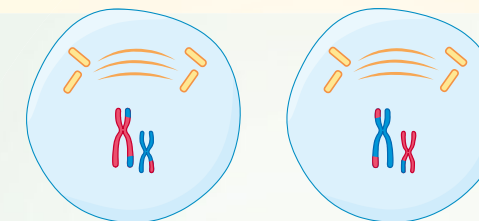
Chromosomy homologiczne zawierają te same geny, jednak ich wersje – allele – mogą się różnić, np. pierwszy chromosom może zawierać wyłącznie dominujące allele genów (A, B, C), a drugi – wyłącznie allele recesywne (a, b, c). W wyniku *crossing-over* powstają chromosomy o odmiennej kombinacji alleli.

II podział mejotyczny

Przed II podziałem mejotycznym nie dochodzi do replikacji DNA. Do II podziału mejotycznego przystępują obie komórki potomne powstałe w wyniku I podziału. W efekcie II podziału mejotycznego tworzą się **cztery komórki potomne**, z których każda zawiera **pojedynczy zestaw chromosomów (n)**.

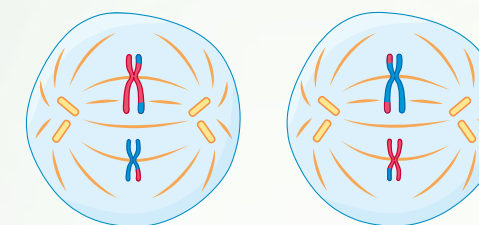
Profaza II

- ▶ Chromosomy ponownie ulegają kondensacji.
- ▶ Zanikają otoczka jądrowa i jąderko.
- ▶ Formuje się wrzeciono podziałowe.



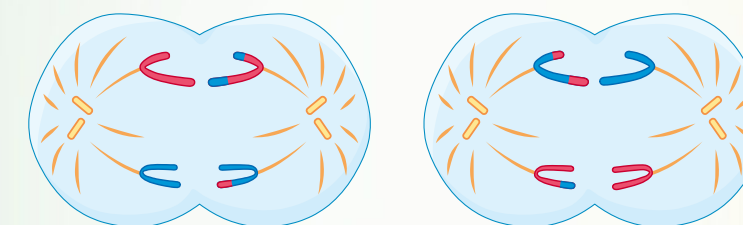
Metafaza II

- ▶ Chromosomy ustawiają się w płaszczyźnie równikowej komórki.
- ▶ Mikrotubule wrzeciona podziałowego przyczepiają się do centromerów chromosomów.



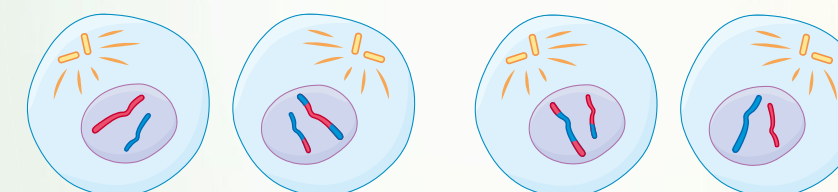
Anafaza II

- ▶ Włókna wrzeciona się skracają.
- ▶ Centromery ulegają podziałowi, a chromatydy – jako chromosomy potomne – wędrują do biegunów komórki.



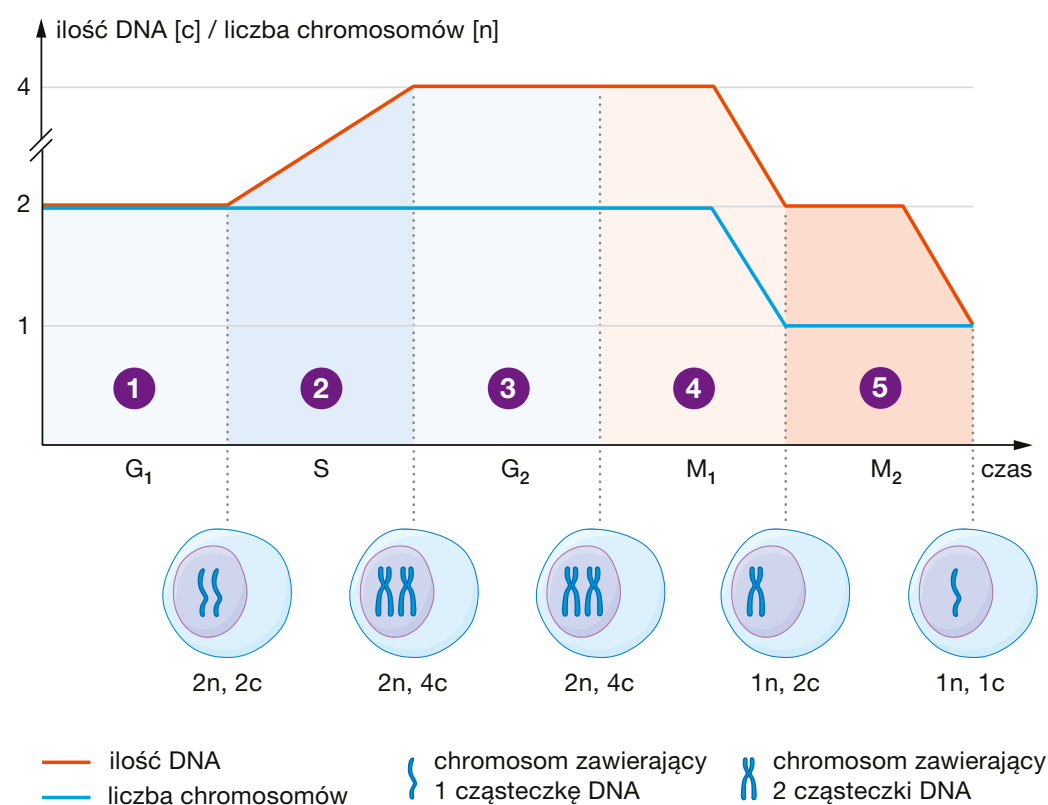
Telofaza II

- ▶ Struktura chromosomów się rozluźnia.
- ▶ Odtwarzają się otoczki jądrowe i jąderko.
- ▶ Zachodzi cytokineza.

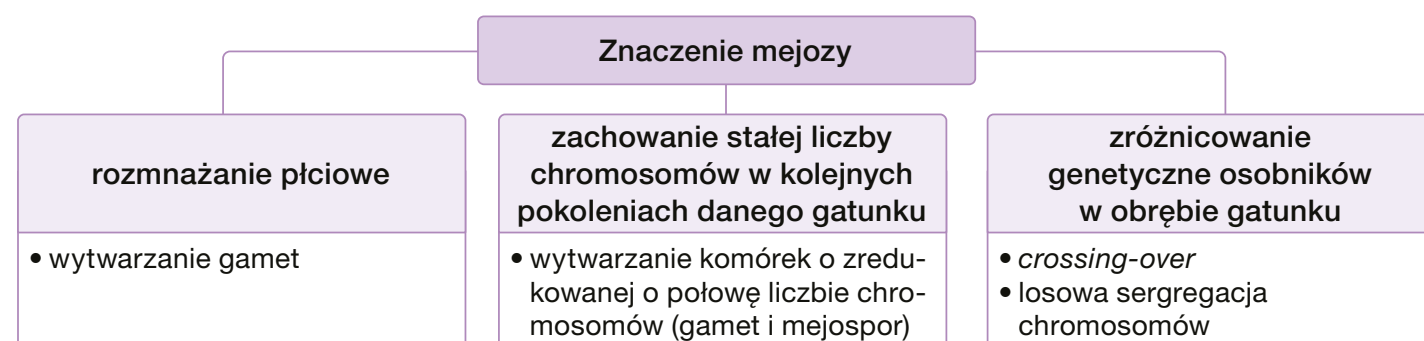


Zmiany zawartości DNA w komórce ulegającej mejozie

Zanim komórka przystąpi do podziału mejotycznego, zachodzi interfaza, podczas której następuje m.in. replikacja DNA. Podczas I podziału mejotycznego dochodzi do redukcji ilości DNA i liczby chromosomów. W trakcie II podziału mejotycznego zmniejsza się jedynie ilość DNA.



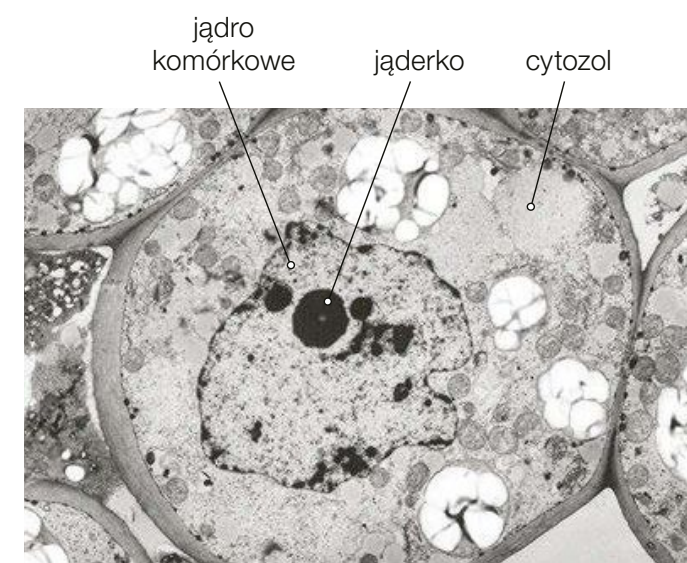
- 1 W fazie G_1 liczba chromosomów wynosi $2n$, a ilość DNA – $2c$.
- 2 Podczas fazy S następuje replikacja DNA – ilość DNA się podwaja (z $2c$ do $4c$). Liczba chromosomów się nie zmienia ($2n$).
- 3 W fazie G_2 komórka ma taką samą liczbę chromosomów i taką samą ilość DNA jak pod koniec fazy S ($2n$, $4c$).
- 4 W trakcie I podziału mejotycznego zachodzi redukcja liczby chromosomów (z $2n$ do $1n$ – do komórek potomnych trafia po jednym chromosomie homologicznym z pary) i ilości DNA (z $4c$ do $2c$).
- 5 Po II podziale mejotycznym liczba chromosomów się nie zmienia ($1n$; chromatydy stają się chromosomami potomnymi), a ilość DNA się zmniejsza (z $2c$ do $1c$).



Dlaczego podczas mitozy i mejozy zanika jąderko?

Jąderko to obszar w obrębie jądra komórkowego, który składa się z chromatyny jąderkowej, RNA i różnych białek. W jąderku odbywa się synteza rRNA na podstawie DNA, co jest możliwe dzięki rozluźnieniu chromatyny (→ s. 148–149). Podczas mitozy i mejozy jąderko zanika. Dzieje się tak, ponieważ na początku tych podziałów chromatyna ulega kondensacji i przyjmuje postać chromosomów metafazowych. Tym samym nie dochodzi do odczytywania informacji genetycznej.

Komórka tkanki miększowej rośliny
(zdjęcie spod TEM).

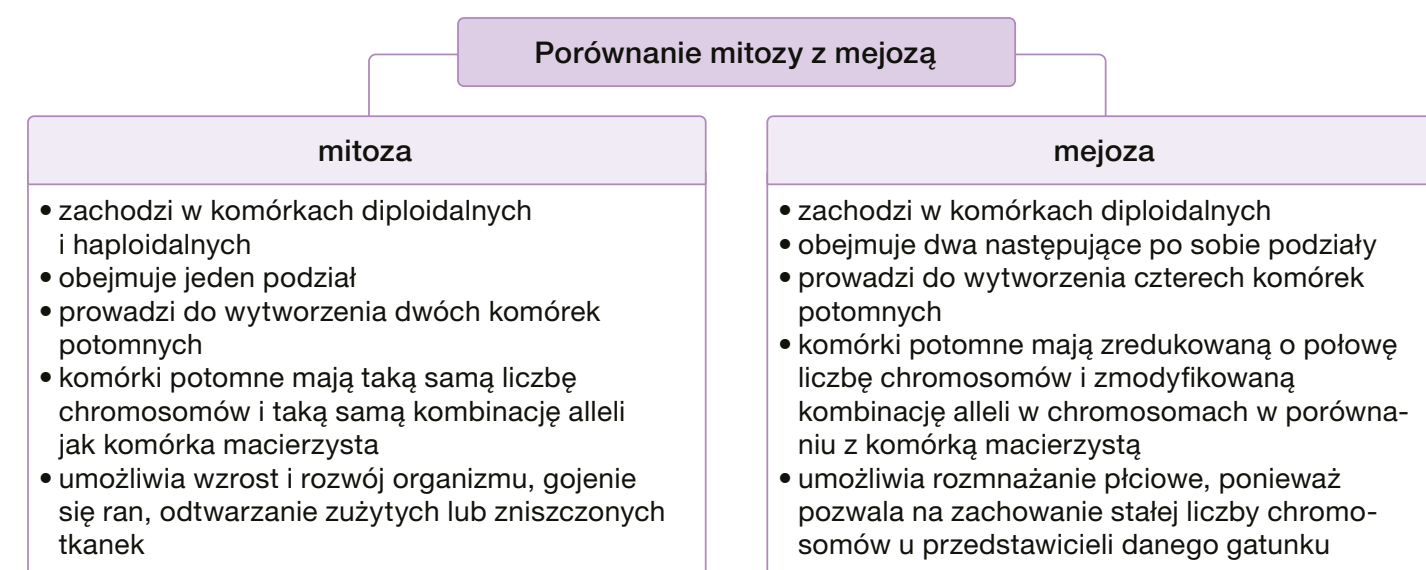


Znaczenie mejozy

Wskutek mejozy z jednej diploidalnej komórki macierzystej powstają cztery haploidalne komórki potomne. W ten sposób mejoza umożliwia:

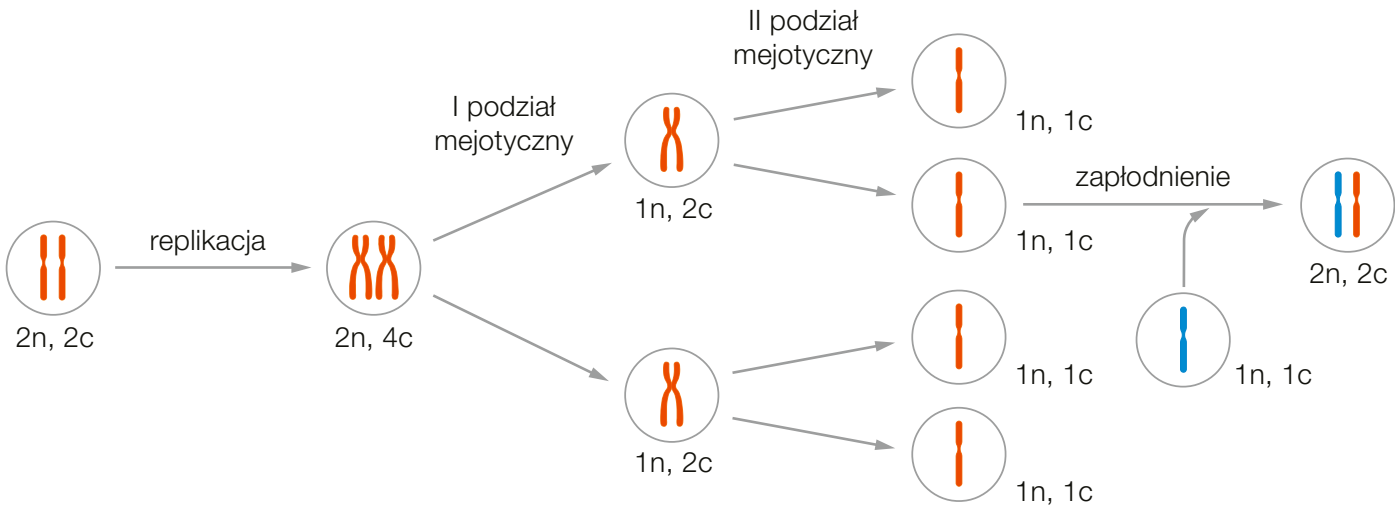
- **rozmnażanie płciowe organizmów** – np. dzięki mejozie powstają haploidalne gamety u zwierząt;
- **zachowanie stałej liczby chromosomów w kolejnych pokoleniach danego gatunku** – w wyniku mejozy powstają gamety o zredukowanej o połowę liczbie chromosomów. Dzięki temu zygota, która powstaje w procesie zapłodnienia, ma taką samą liczbę chromosomów jak organizmy rodzicielskie;

- **zróżnicowanie genetyczne osobników** tego samego gatunku – w trakcie mejozy zachodzą **crossing-over** (w profazie I) oraz **losowe rozchodzenie się chromosomów** (w anafazie 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 takie organizmy, które przetrwają zmieniające się warunki środowiska, np. spadek zawartości tlenu w zbiorniku wodnym, zmianę stężenia zasolenia podłoża lub pojawienie się nowego drapieżnika w ekosystemie.



Znaczenie mejozy w zachowaniu stałej liczby chromosomów w komórkach człowieka

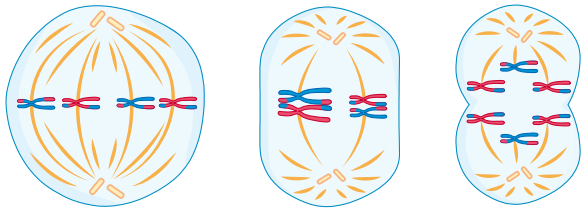
Mejoza umożliwia wytwarzanie gamet o zredukowanej o połowę liczbie chromosomów. Dzięki temu liczba chromosomów w komórkach potomstwa jest taka sama jak w komórkach rodziców.



- 1 Komórka macierzysta gamet ma taką samą liczbę chromosomów i taką samą ilość DNA jak pozostałe komórki ciała człowieka (2n, 2c).
- 2 W wyniku replikacji podwaja się ilość DNA (z 2c do 4c). Liczba chromosomów jest taka sama.
- 3 Po I podziale meiotycznym o połowę zmniejszają się liczba chromosomów i ilość DNA (1n, 2c).
- 4 W wyniku II podziału meiotycznego powstają gamety, w 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, w której liczba chromosomów wynosi 2n, a ilość DNA – 2c.

Polecenia kontrolne

1. Poniżej przedstawiono trzy komórki w trakcie podziału meiotycznego.



- a. Podaj liczbę chromosomów (n) pojedynczej komórki haploidalnej powstałej w wyniku każdego z przedstawionych podziałów.
- b. Określ, w której fazie którego podziału meiotycznego (I czy II) znajduje się każda z przedstawionych komórek.
- 2. Wiedząc, że diploidalna komórka człowieka zawiera 46 chromosomów, podaj:
 - a. liczbę chromatyd w komórce podczas profazy I podziału meiotycznego,
 - b. liczbę chromosomów w ludzkiej gamecie.

Podsumowanie

1 Komórka – podstawowa jednostka budulcowa i funkcjonalna organizmu, która jest zdolna do wykonywania czynności życiowych.

Poziomy organizacji komórkowej organizmów:

- organizmy jednokomórkowe – zbudowane tylko z jednej komórki,
- formy kolonijne – zespoły komórek, z których każda może żyć samodzielnie,
- organizmy wielokomórkowe – zbudowane z wielu zależnych od siebie komórek, które tworzą plechy lub tkanki.

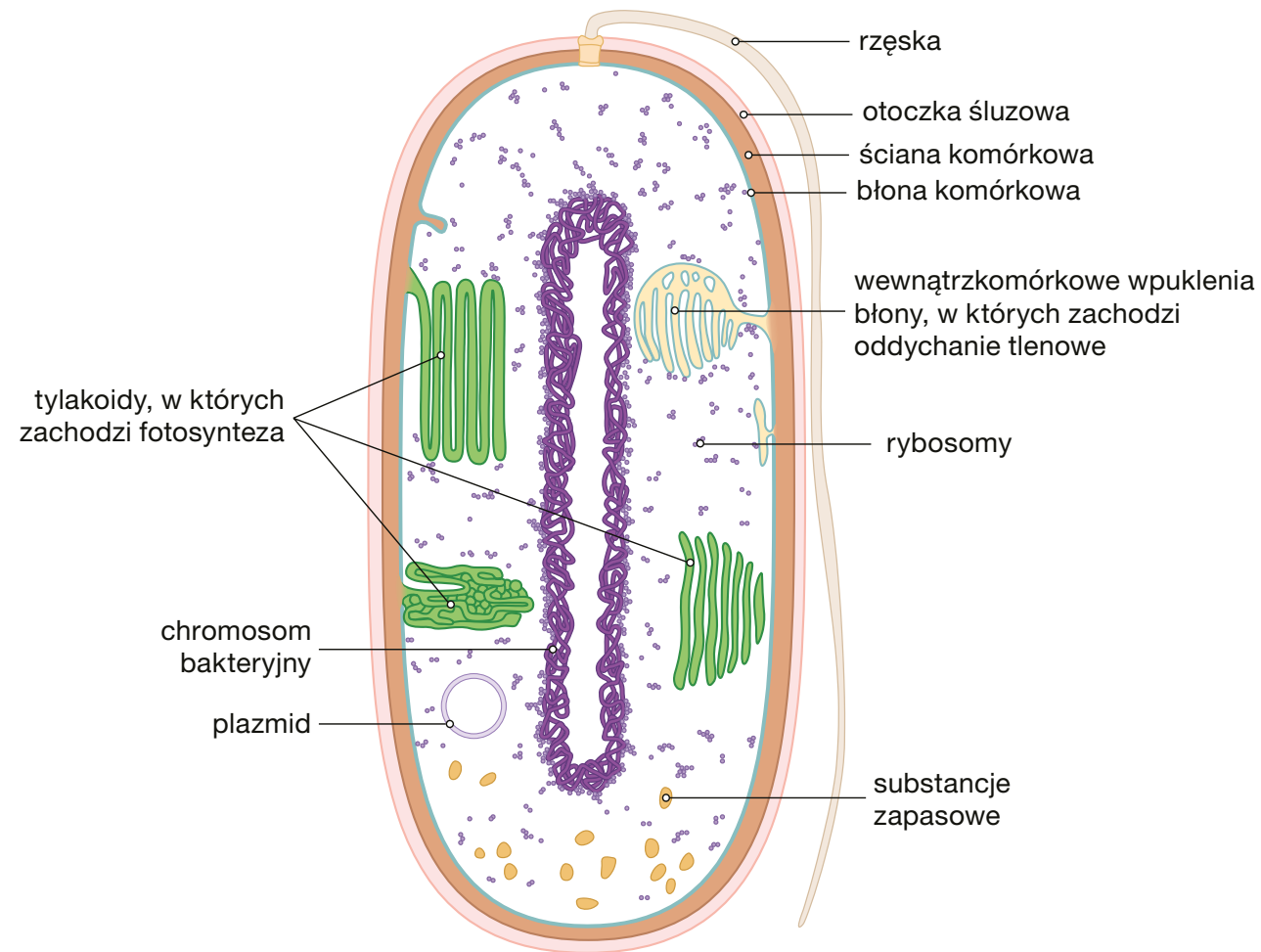
2 Rodzaje komórek ze względu na obecność lub brak jądra komórkowego

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

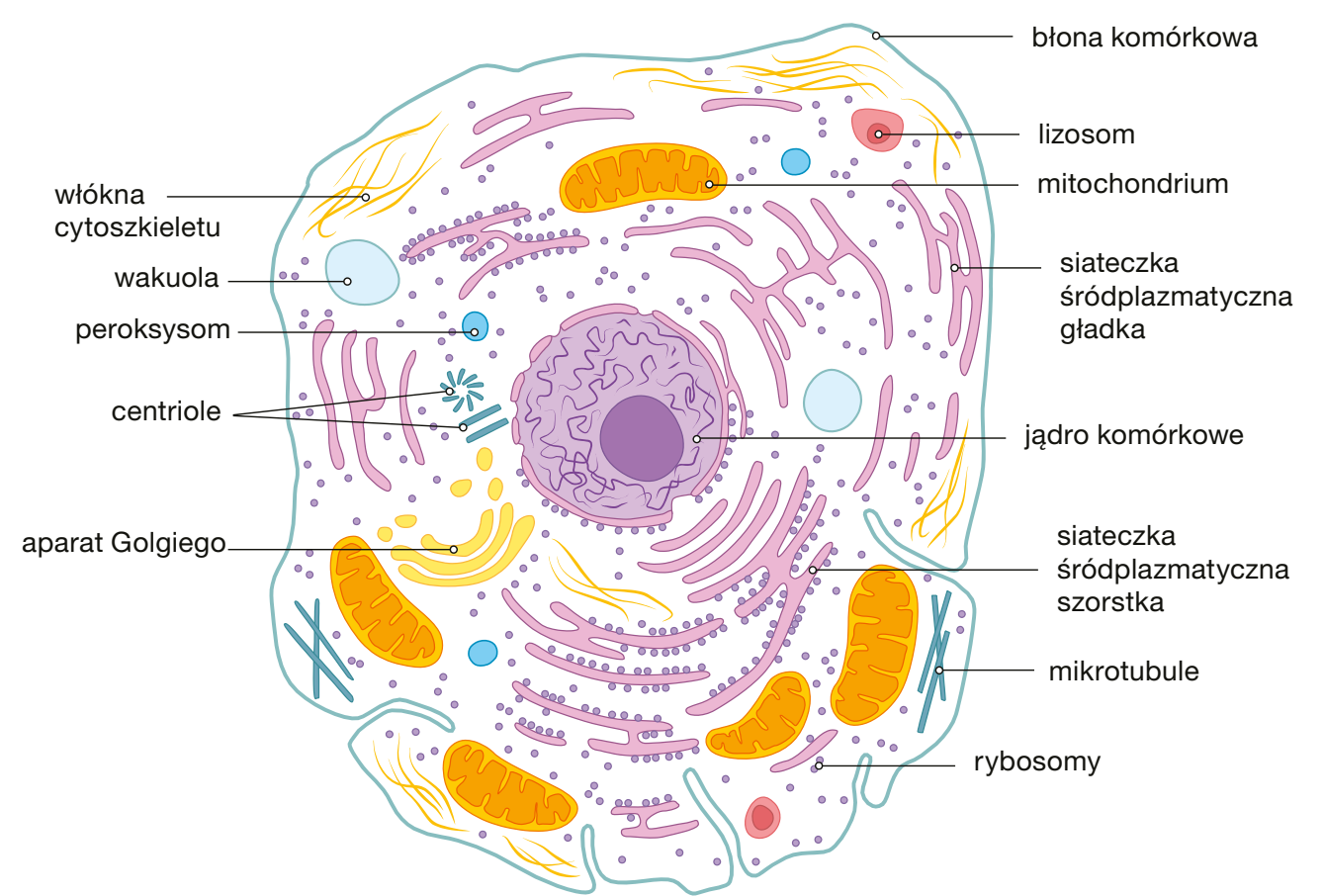
3 Porównanie komórki bakteryjnej z komórkami eukariotycznymi

Element budowy komórki	Komórka bakteryjna	Komórka eukariotyczna		
		zwierzęca	roślinna	grzybowa
Jądro komórkowe	– (jego funkcję pełni nukleoid)	+	+	+
Ściana komórkowa	zbudowana m.in. z mureiny	–	zbudowana głównie z celulozy	zbudowana głównie z chityny
Błona komórkowa	+	+	+	+
Cytozol	+	+	+	+
Cytoszkieleł	–	+	+	+
Mitochondria	– (w niektórych komórkach ich funkcje pełnią wewnątrzkomórkowe wpuklenia błony)	+	+	+
Chloroplasty	– (w niektórych komórkach ich funkcje pełnią tylakoidy)	–	+	–
Siateczka śródplazmatyczna	–	+	+	+
Rybosomy	+	+	+	+
Aparat Golgiego	–	+	+	+
Lizosomy	–	+	– (funkcję tę pełnią wakuole lityczne)	–
Peroksysomy	–	+	+	+
Wakuole	–	+ (pojawiają się okresowo)	+	+

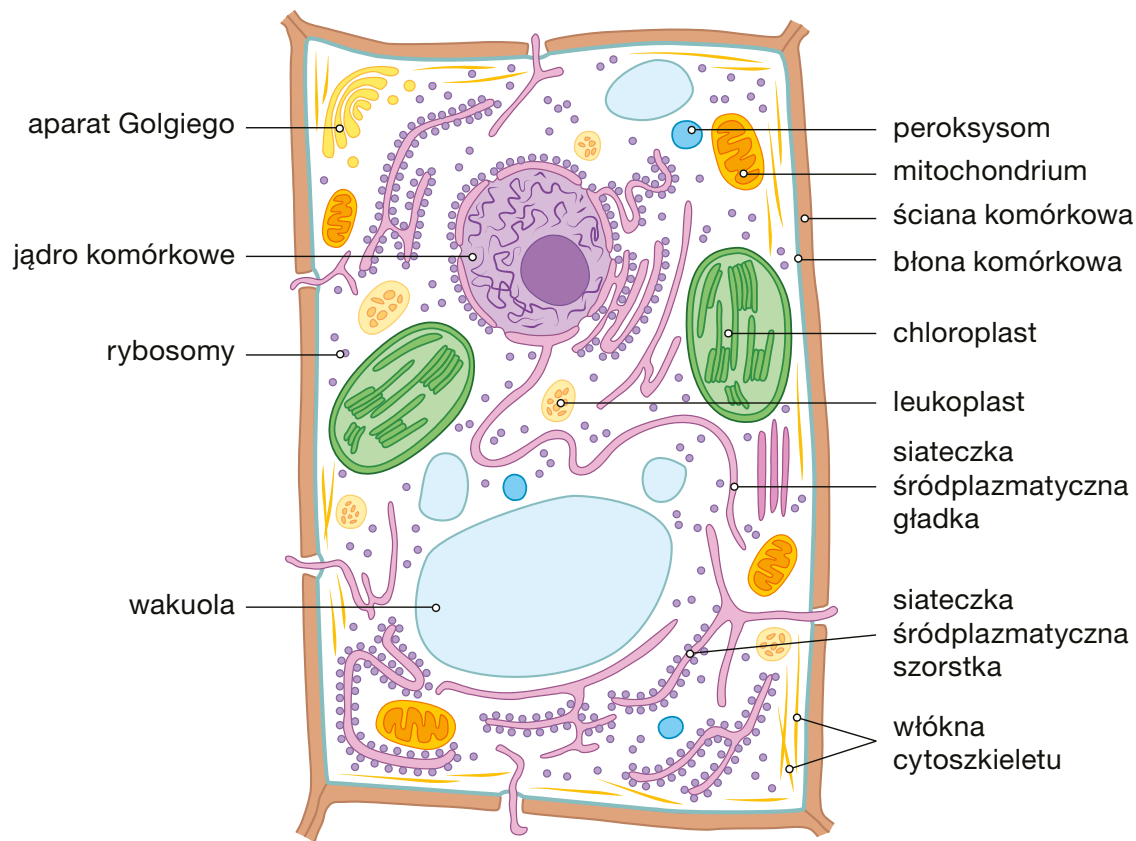
4 Porównanie budowy komórek



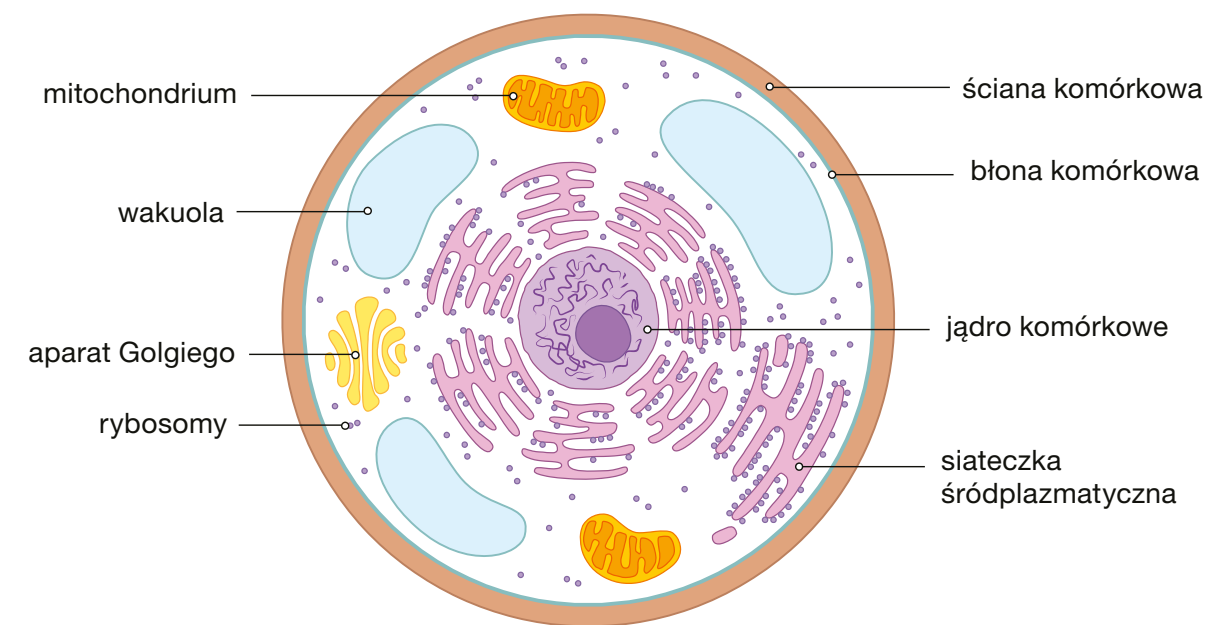
Komórka bakteryjna (prokariotyczna).



Komórka zwierzęca (eukariotyczna).



Komórka roślinna (eukariotyczna).



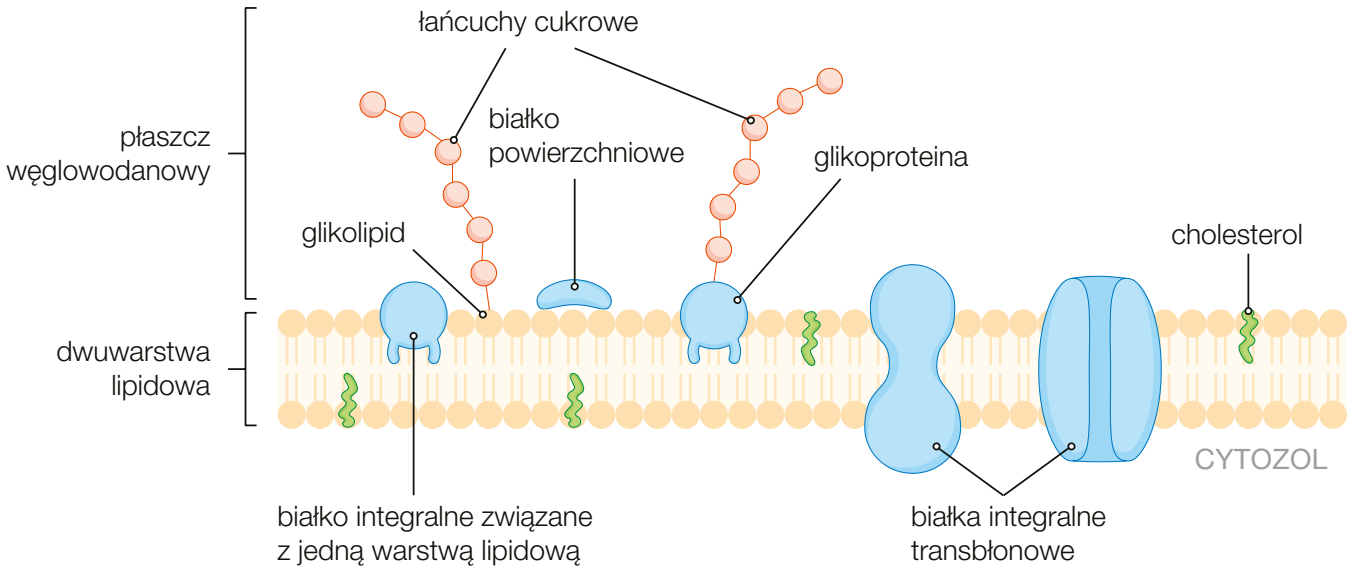
Komórka grzybowa (eukariotyczna).

5 Błony biologiczne

Błony biologiczne – błony białkowo-lipidowe. Do błon biologicznych zalicza się błonę komórkową (komórki prokariotyczne i komórki eukariotyczne) oraz błony śródplazmatyczne (komórki eukariotyczne).

Funkcje błon biologicznych:

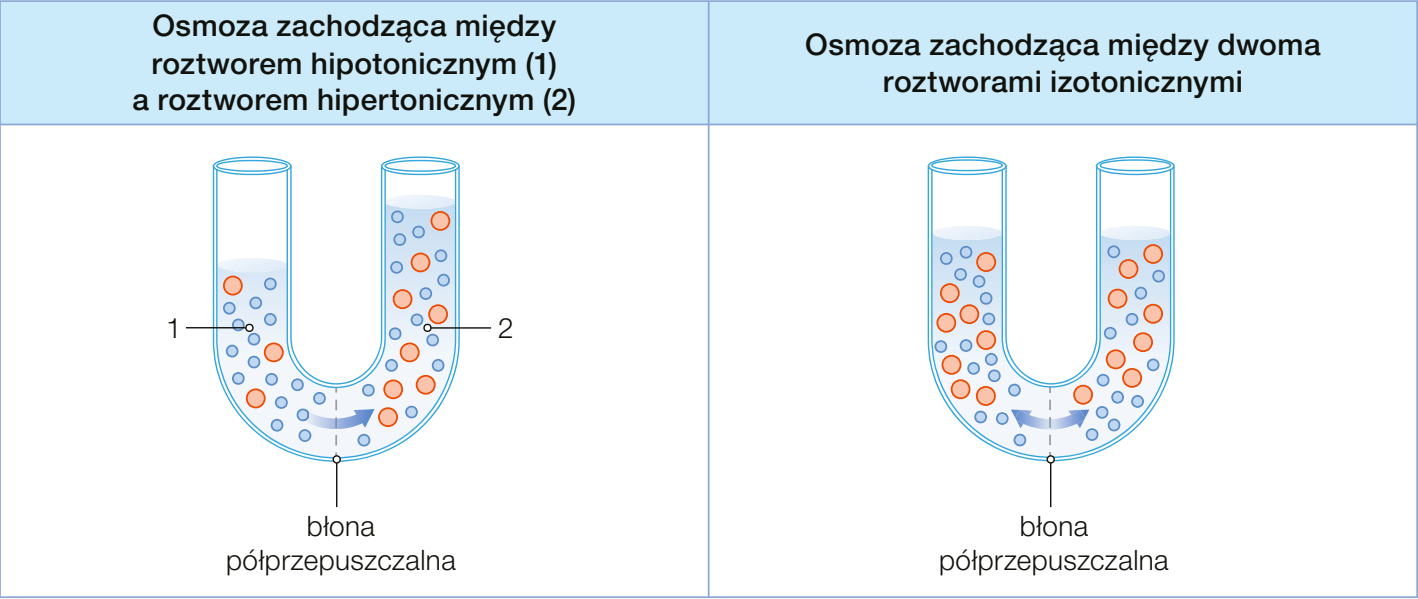
- są barierami ochronnymi, które zabezpieczają komórki i organelle przed zmianami składu chemicznego, uszkodzeniami mechanicznymi oraz wnikaniem drobnoustrojów chorobotwórczych,
- odbierają sygnały z otoczenia i przekazują je do wnętrza komórek lub organelli,
- pośredniczą w wymianie substancji między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



6 Transport przez błony biologiczne

Transport błonowy			
transport bierny – zachodzi zgodnie z gradientem stężeń substancji po obu stronach błony		transport czynny – zachodzi wbrew gradientowi stężeń substancji po obu stronach błony	transport pęcherzykowy
transport bezpośrednio przez dwuwarstwę lipidową	transport z udziałem białek błonowych		
dyfuzja prosta – transport małych cząsteczek niepolarnych i małych cząsteczek polarnych; odmianą dyfuzji prostej jest osmoza	dyfuzja ułatwiona przez: • białka kanałowe – transport jonów nieorganicznych oraz niewielkich polarnych cząsteczek związków chemicznych • białka nośnikowe – transport niewielkich polarnych cząsteczek związków chemicznych	transport czynny przez: • pompy – głównie transport jonów nieorganicznych • białka nośnikowe – transport sprzężony (symport lub antyport) jonów nieorganicznych oraz niewielkich polarnych cząsteczek związków chemicznych	transport w pęcherzykach utworzonych z fragmentów błon biologicznych: • endocytoza – transport substancji z otoczenia do wnętrza komórki • egzocytoza – transport substancji z komórki do otoczenia

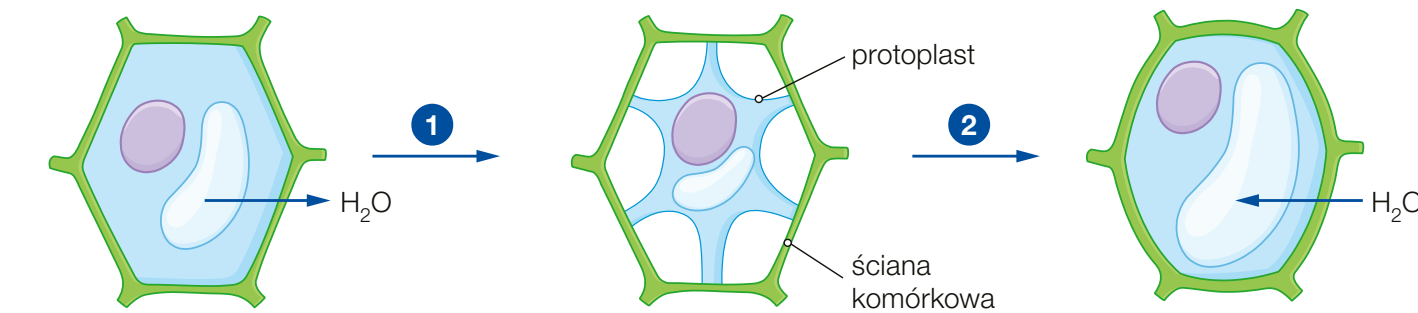
7 Osmoza – odmiana dyfuzji prostej, która polega na przenikaniu wody przez błonę biologiczną.



8 Osmoza w komórkach zwierzęcych i roślinnych

Rodzaj komórki	Rodzaj roztworu		
	roztwór izotoniczny	roztwór hipertoniczny	roztwór hipotoniczny
Komórka zwierzęca	Wymienia osmotycznie wodę z otoczeniem; ilość wody wpływającej do jej wnętrza jest taka sama jak ilość wody wypływającej na zewnątrz (osmoza pozornie nie zachodzi).	Oddaje osmotycznie wodę do otoczenia, wskutek czego kurczy się i ostatecznie rozpada.	Pobiera osmotycznie wodę z otoczenia, wskutek czego pęcznieje i ostatecznie pęka.
Komórka roślinna	Wymienia osmotycznie wodę z otoczeniem; ilość wody wpływającej do jej wnętrza jest taka sama jak ilość wody wypływającej na zewnątrz (osmoza pozornie nie zachodzi).	Oddaje osmotycznie wodę do otoczenia, co powoduje odwodnienie cytozolu oraz zmniejszenie objętości wakuoli. W efekcie protoplast kurczy się i odstaje 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 – zjawisko odstawania protoplastu od ściany komórkowej. Zachodzi po umieszczeniu komórki w roztworze hipertonicznym.

2 Deplazmoliza – zjawisko polegające na powrocie splazmolizowanej komórki do stanu sprzed plazmolizy. Zachodzi po umieszczeniu komórki w wodzie lub roztworze hipotonicznym.

10 Cytozol – wodny koloidalny roztwór substancji nieorganicznych i substancji organicznych, głównie rozpuszczalnych białek. W komórkach eukariotycznych w skład cytozolu wchodzi też białka nierozpuszczalne, które tworzą cytoszkielet.

Elementy cytoszkieletu		
filamenty aktywne	filamenty pośrednie	mikrotubule
• umożliwiają podział cytoplazmy w komórkach zwierzęcych – tworzą pierścień kurczliwy • umożliwiają ruch pęczakowaty komórek • umożliwiają skurcze mięśni u zwierząt tkankowych • pozwalają na ruch w obrębie komórek	• zapewniają m.in. odporność komórek na uszkodzenia mechaniczne (np. pękanie pod wpływem rozciągania)	• utrzymują organelle komórkowe w odpowiednim położeniu w komórce • tworzą szlaki transportu wewnątrzkomórkowego • budują wrzeciono podziałowe podczas podziałów komórkowych • budują rusztowanie rzęsek i wici

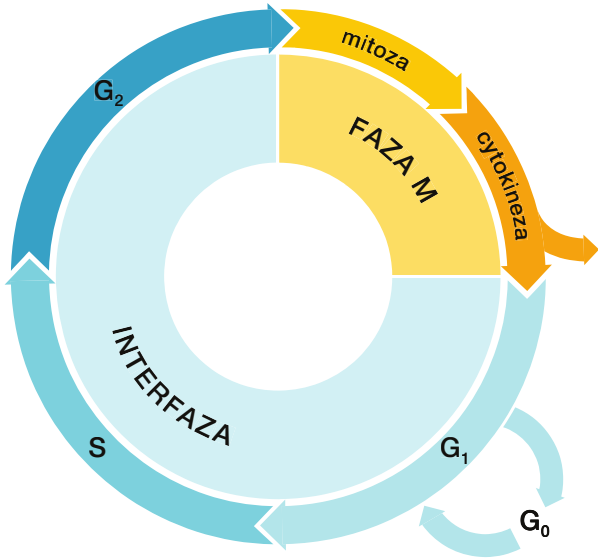
11 Struktury komórkowe

Nazwa	Charakterystyka
Organelle otoczone dwiema błonami	
Jądro komórkowe	• Zawiera m.in chromatynę, czyli kompleks DNA i histonów, który buduje chromosomy eukariotyczne. • Kontroluje przebieg większości procesów życiowych komórki oraz odpowiada za powielanie oraz przekazywanie materiału genetycznego do komórek potomnych i organizmów potomnych.
Mitochondria	• Zachodzi w nich m.in. oddychanie tlenowe, w którego wyniku ze związków organicznych jest uwalniana energia.
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 kierowanych poza komórkę, białek większości błon biologicznych, białek siateczki śródplazmatycznej, aparatu Golgiego, lizosomów i wakuol.
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.
Peroksosomy	• Są miejscem zachodzenia reakcji utleniania różnych związków oraz neutralizacji reaktywnych form tlenu.
Wakuole	• Magazynują różne substancje. • Odpowiadają za stan uwodnienia komórek roślinnych.
Struktury nieotoczone błoną	
Rybosomy	• Przeprowadzają syntezę białek.
Centrosomy	• Są ośrodkami organizacji mikrotubul w komórkach zwierzęcych.

12 Cykl komórkowy – uporządkowany ciąg procesów zachodzących w trakcie życia komórki, obejmujący jej wzrost i podział na dwie komórki potomne. Składa się z interfazy, czyli okresu międzypodziałowego, w którym występują fazy G₁, S i G₂, oraz z fazy M, czyli z mitozy i cytokinezy.

Fazy cyklu komórkowego:

- Faza G₁ – etap wzrostu komórki i przygotowania 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 kolejnego podziału komórki.
- Faza G₂ – synteza białek uczestniczących w podziale komórki.
- Faza M – mitoza (kariokineza) i cytokineza.
- Faza G₀ – faza spoczynkowa, charakterystyczna dla komórek, które ulegają specjalizacji i tracą zdolność do podziałów.

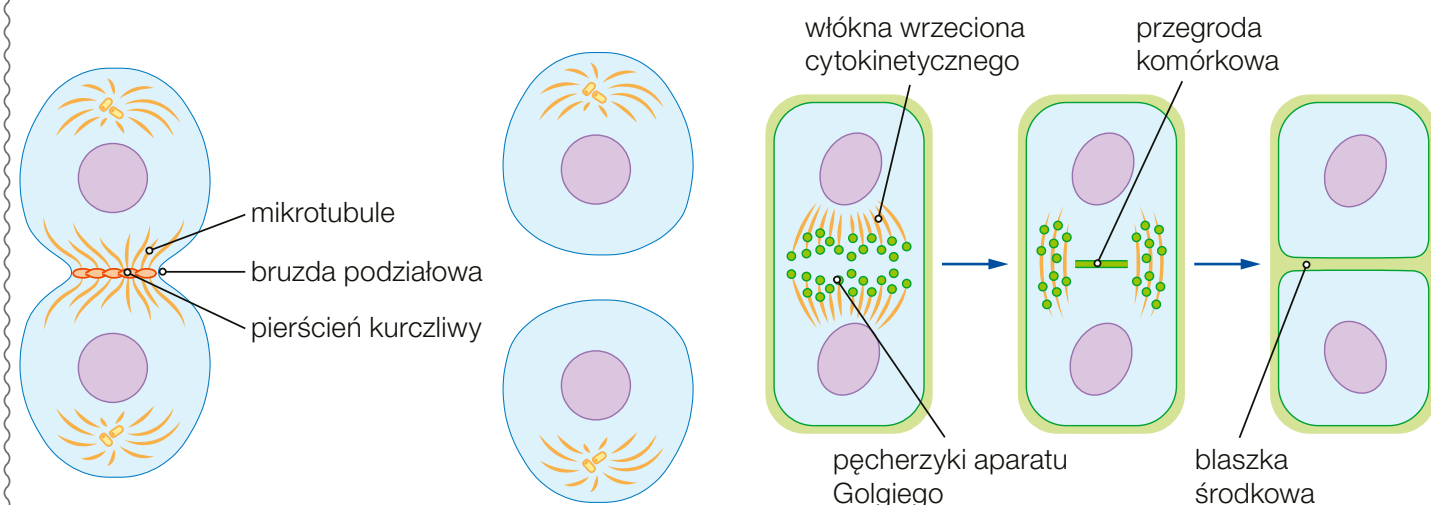


13 Rodzaje podziałów komórki

Mitoza	Mejoza
• W jej wyniku powstają dwie komórki potomne – każda z nich zawiera taki sam zestaw chromosomów jak 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.	• W jej wyniku powstają cztery komórki potomne – każda z nich otrzymuje zestaw chromosomów zredukowany o połowę w porównaniu z komórką macierzystą. • Zachodzi w diploidalnych komórkach macierzystych gamet i komórkach macierzystych zarodników (mejospor). • Prowadzi do powstania komórek haploidalnych – gamet lub zarodników. • Umożliwia rozmnażanie płciowe oraz rekombinację genetyczną, która zapewnia zróżnicowanie osobników w obrębie gatunku.
Przebieg mitozy: 	Przebieg mejozy:



14 Cytokineza – podział cytoplazmy (cytozolu i organelli komórkowych).



Cytokineza w komórce zwierzęcej odbywa się dzięki obecności pierścienia kurczliwego.

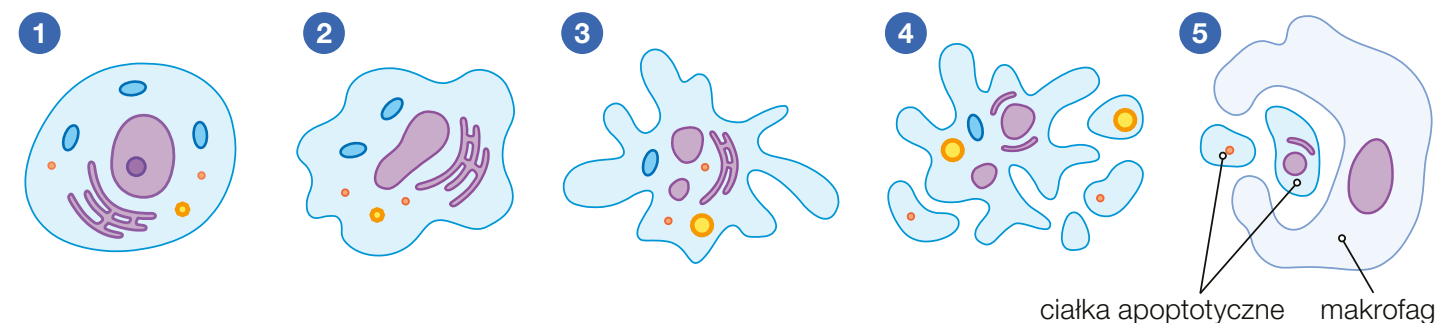
Cytokineza w komórce roślinnej odbywa się dzięki obecności wrzeciona cytokinetycznego.

15 Apoptoza – zaprogramowana śmierć komórki. Jest to naturalny proces, który zapewnia regulację liczby komórek budujących ciało organizmów wielokomórkowych.

Apoptoza umożliwia:

- eliminowanie niepotrzebnych komórek,
- usuwanie struktur, które przestały pełnić swoją funkcję na danym etapie rozwoju organizmu,
- kształtowanie części ciała,
- eliminowanie komórek uszkodzonych, zainfekowanych lub nieprawidłowych.

Etapy apoptozy



- 1 Komórka funkcjonuje normalnie.
- 2 Rozpoczyna się apoptoza, wskutek czego dochodzi do obkurczenia się jądra komórkowego, fragmentacji DNA, utraty wody przez komórkę oraz degradacji cytoszkieletu.
- 3 Znika otoczek jądro, a błona obumierającej komórki zaczyna się uwypuklać.
- 4 Komórka rozpada się na ciała apoptotyczne.
- 5 Ciała apoptotyczne są pochłaniane i trawione przez sąsiadujące komórki lub przez makrofagi.

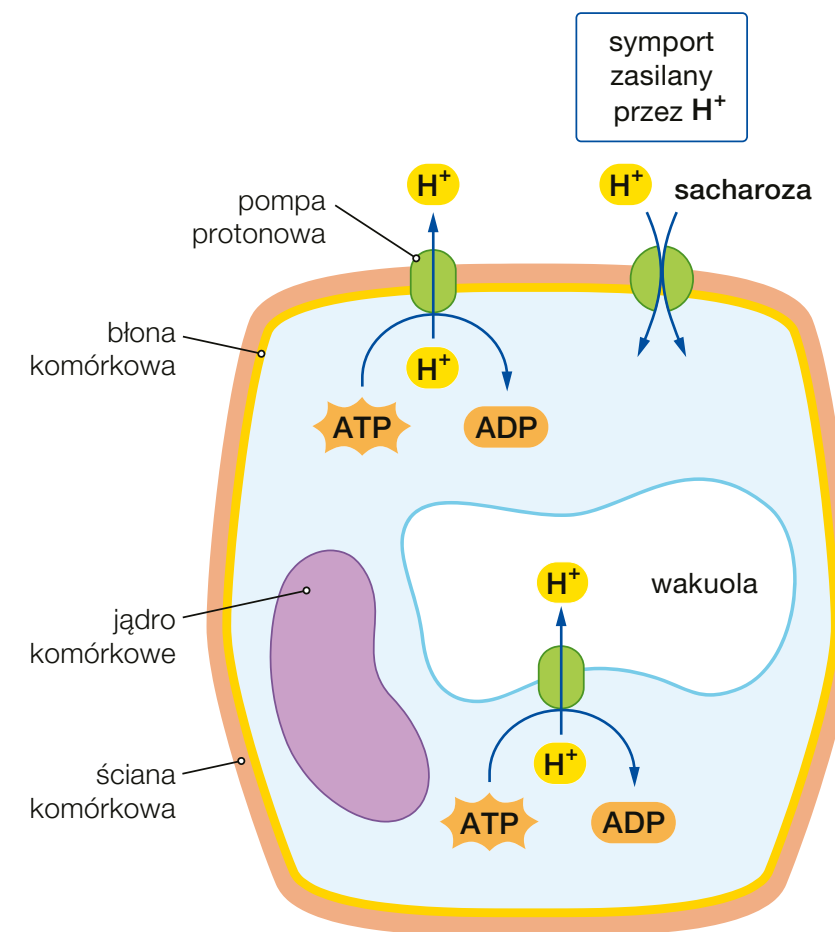


Sposób na zadania

WYKONAJ W ZESZCIE



1 Schemat przedstawia transport sacharozy do komórki roślinnej.



Na podstawie: B. Alberts i in., *Podstawy biologii komórki*, tom 2, Warszawa 2005, s. 402.

Przypomnij sobie, jaki jest skutek działania pompy protonowej. Zastanów się, jak wpływa ona na działanie przenośnika symportowego sacharozy-H⁺.

a) Wyjaśnij, jaką rolę odgrywa pompa protonowa w transporcie sacharozy do komórki roślinnej. W odpowiedzi uwzględnij różnice między stężeniami protonów i sacharozy po obu stronach błony komórkowej.

Odszukaj na schemacie pompę protonową oraz przenośnik odpowiedzialny za transport sacharozy. Zastanów się, czy transport jonów H⁺ oraz transport sacharozy przez te białka zachodzi zgodnie z gradientem stężeń czy wbrew niemu.

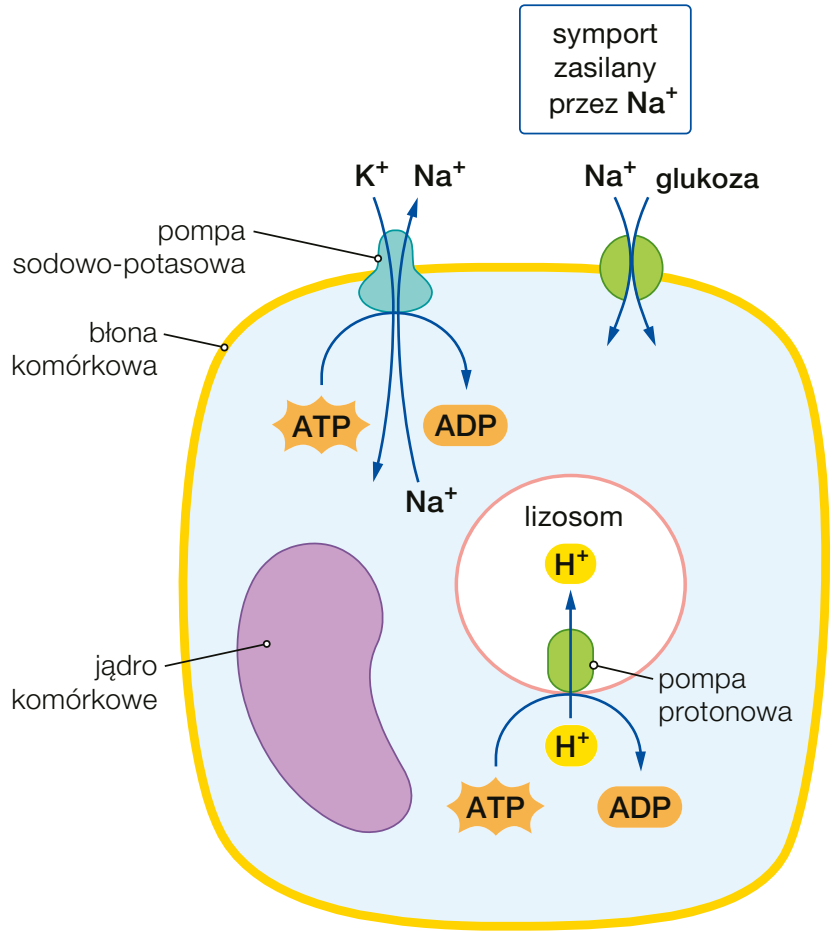
Rozwiązanie:

Pompa protonowa transportuje jony H⁺ na zewnątrz komórki wbrew gradientowi stężeń (wykorzystuje do tego energię pochodzącą z rozkładu ATP). Dzięki działaniu pompy w poprzek błony komórkowej tworzy się / utrzymuje się gradient jonów H⁺ (ich stężenie na zewnątrz komórki jest większe niż w jej wnętrzu). Gradient ten umożliwia przenośnikowi symportowemu transport sacharozy wbrew gradientowi stężeń – wspólnie z jonami H⁺, które są przenoszone zgodnie z gradientem stężeń.

Zadanie analogiczne

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Schemat przedstawia transport glukozy do komórki zwierzęcej.



Na podstawie: B. Alberts i in., *Podstawy biologii komórki*, tom 2, Warszawa 2005, s. 402.

- a) Wyjaśnij, jaką rolę odgrywa pompa sodowo-potasowa w transporcie glukozy do komórki zwierzęcej. W odpowiedzi uwzględnij różnice między stężeniami jonów i glukozy po obu stronach błony komórkowej.
- b) Wykaż, że płyn wypełniający lizosom ma niższe pH niż cytozol. W odpowiedzi uwzględnij informacje przedstawione na schemacie.
- c) Określ, które stwierdzenia dotyczące przedstawionych na schemacie białek transportujących oraz transportowanych substancji są prawdziwe. Wybierz P, jeśli stwierdzenie jest prawdziwe, albo F – jeśli jest fałszywe.

1.	Pompa sodowo-potasowa i przerośnik symportowy należą do białek transbłonowych.	P	F
2.	Pompa sodowo-potasowa składa się z części hydrofobowych i części hydrofilowych.	P	F
3.	Glukoza jest związkiem niepolarnym, nierozpuszczalnym w wodzie.	P	F

Przypomnij sobie, jaka zależność występuje między wysokością pH a stężeniem jonów H⁺. Zastanów się, jaki wpływ na stężenie jonów H⁺ w soku komórkowym i w cytozolu ma działanie pompy protonowej zlokalizowanej w błonie wakuoli.

b) Wykaż, że sok komórkowy wypełniający wakuolę ma niższe pH niż cytozol. W odpowiedzi uwzględnij informacje przedstawione na schemacie.

Rozwiązanie:

pH płynu zależy od stężenia jonów H⁺ / jonów wodorowych / protonów – im wyższe stężenie, tym niższe pH. Pompa protonowa czynnie transportuje jony H⁺ z cytozolu do wakuoli, co świadczy o tym, że transport ten odbywa się wbrew gradientowi stężeń. Wynika z tego, że stężenie jonów H⁺ w wakuoli jest wyższe niż w cytozolu, a pH soku komórkowego jest niższe niż pH cytozolu.

c) Określ, które stwierdzenia dotyczące przedstawionych na schemacie białek transportujących oraz transportowanych substancji są prawdziwe. Wybierz P, jeśli stwierdzenie jest prawdziwe, albo F – jeśli jest fałszywe.

Odszukaj na schemacie pompę protonową i przerośnik symportowy. Zwróć uwagę na umiejscowienie tych białek w błonie komórkowej. Zastanów się, która grupa białek umożliwia transport substancji z jednej strony błony komórkowej na drugą: białka powierzchniowe, białka integralne nieprzebijające błony czy białka integralne transbłonowe.

1.	Pompa protonowa i przerośnik symportowy należą do białek powierzchniowych.	P	F
2.	Części przerośnika symportowego, które wnikają do wnętrza dwuwarstwy lipidowej, mają charakter hydrofilowy.	P	F
3.	Sacharoza jest związkiem polarnym, rozpuszczalnym w wodzie.	P	F

Zastanów się, jak jest zbudowana błona komórkowa. Czy wewnątrz dwuwarstwy lipidowej ma charakter hydrofilowy czy hydrofobowy? Ustal, jaki charakter powinny mieć części białka przebijające błonę komórkową.

Przypomnij sobie, jaka jest różnica między związkami polarnymi a związkami niepolarnymi. Które z tych związków są rozpuszczalne w wodzie? Zastanów się, do której grupy związków należy sacharoza.

Rozwiązanie:

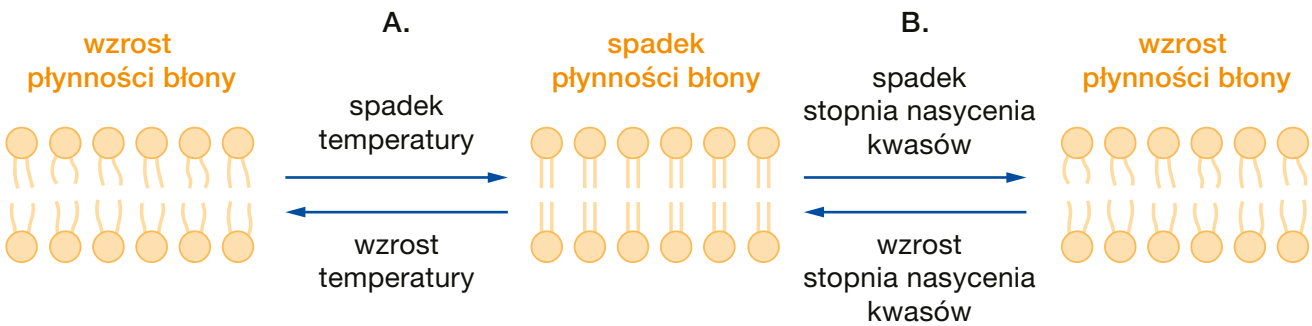
F, F, P

Zadania powtórzeniowe

WYKONAJ W ZESZYCIE



- 1 Schemat przedstawia wpływ temperatury (A) i stopnia nasycenia kwasów tłuszczowych (B) na upakowanie fosfolipidów w błonie komórkowej. Upakowanie decyduje o stopniu płynności błony, a stopień płynności błony wpływa na jej przepuszczalność.



- a) Uzupełnij poniższe zdania tak, aby zawierały prawdziwe informacje. Wybierz w każdym nawiasie właściwe określenie.

O płynności błon biologicznych decyduje m.in. budowa (*hydrofobowych* / *hydrofilowych*) części fosfolipidów. Płynność ta zwiększa się wraz ze wzrostem zawartości w błonie (*nasyconych* / *nienasyconych*) kwasów tłuszczowych, a maleje w sytuacji (*spadku* / *wzrostu*) temperatury.

- b) Podaj zależność między stopniem płynności błony biologicznej a jej przepuszczalnością.
- 2 Przeprowadzono doświadczenie, podczas którego dwie połówki bulwy ziemniaka ułożono w taki sposób, aby powierzchnia ich przekroju znajdowała się na szalce. Następnie ścięto wierzchołki bulw i w każdej z nich wydrążono wgłębienie o głębokości 2 cm oraz szerokości 1,5 cm. Jedno wgłębienie wypełniono sproszkowaną sacharozą, czyli cukrem pudrem, a drugie wgłębienie – skrobią. Po pewnym czasie zauważono, że cukier odciągnął wodę z otaczającej go tkanki. Z kolei na szalce ze skrobią nie zaszły żadne zmiany.

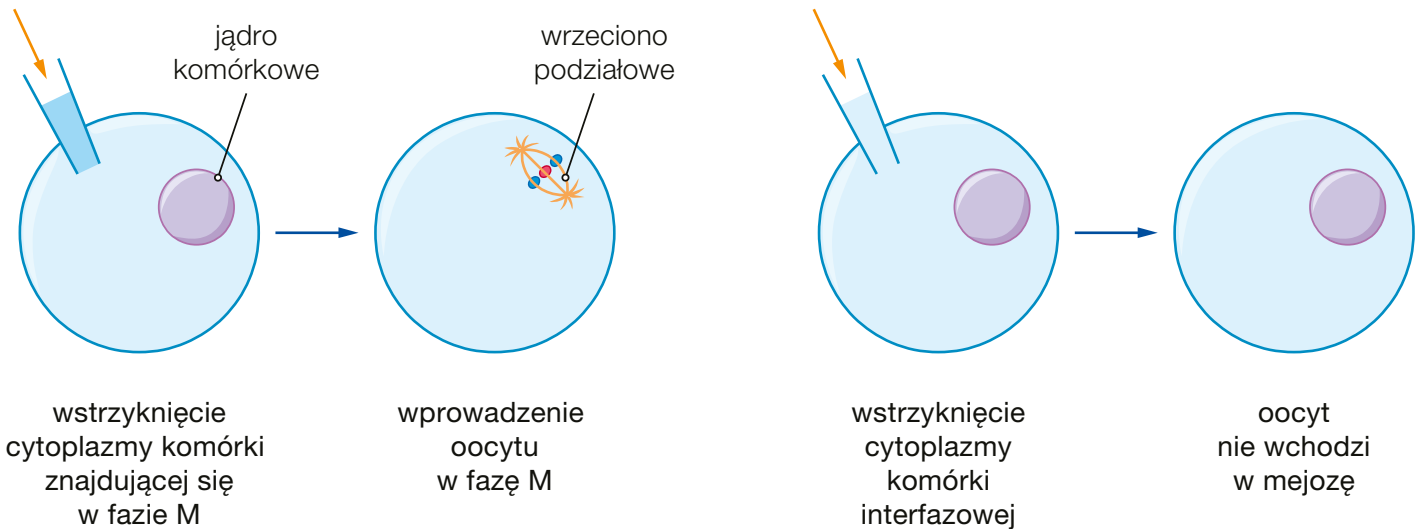
- a) Sformułuj problem badawczy do opisanego doświadczenia.
- b) Wyjaśnij, dlaczego w próbie zawierającej skrobię nie zaszły żadne zmiany.

- 3 Pstrość kwiatów to choroba wirusowa atakująca tulipany i lilie, która powoduje powstawanie plam oraz smug na liściach i płatkach roślin. Chorobę tę roznoszą mszyce. Aparat gębowy tych owadów ma postać klujki, która przebija zewnętrzną tkankę roślinną – dzięki temu mszyce mogą wysysać sok z roślin.
- Wyjaśnij, dlaczego pstrość kwiatów – mimo obecności sztywnych ścian komórkowych w komórkach roślin – nie ogranicza się wyłącznie do miejsca żerowania mszyc, ale jest przenoszona na całą roślinę.

- 4 Przedziały komórkowe tworzą system umożliwiający funkcjonowanie poszczególnych komórek i całego organizmu. Elementy tego systemu współdziałają m.in. podczas syntezy, modyfikacji oraz transportu białek przeznaczonych do wbudowania w błonę komórkową.
- a) Przerysuj tabelę do zeszytu. Uzupełnij kolejność zachodzenia w poszczególnych strukturach komórkowych procesów syntezy, modyfikacji i transportu białek przeznaczonych do wbudowania w błonę komórkową.

Struktura komórkowa	Numer
Błona komórkowa	4
Siateczka śródplazmatyczna gładka	?
Aparat Golgiego	?
Siateczka śródplazmatyczna szorstka	?

- b) Podaj nazwę struktury komórkowej, w której do białek błonowych są dodawane reszty kwasów tłuszczowych.
- 5 Przeprowadzono doświadczenie, podczas którego do oocytów żaby z rodzaju *Xenopus* wstrzyknięto cytoplazmę komórek znajdujących się w dwóch różnych fazach cyklu komórkowego. U żab z rodzaju *Xenopus* oocyt jest zatrzymany tuż przed pierwszym podziałem mejotycznym – znajduje się więc w stadium odpowiadającym fazie G₂ cyklu komórkowego.
- Poniżej przedstawiono wyniki opisanego doświadczenia.



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

- a) Na podstawie przedstawionych wyników doświadczenia sformułuj wniosek dotyczący skutków wstrzyknięcia do oocytów cytoplazmy komórek znajdujących się w różnych fazach cyklu komórkowego.
- b) Podaj przykład jednego procesu zachodzącego w komórkach zwierzęcych podczas fazy G₂.

6 Dzikie bzu czarne to pospolity krzew o czarnofioletowych mięsistych owocach, które są chętnie zjadane przez ptaki. Owoce bzu zawierają m.in. węglowodany, kwasy organiczne, sole mineralne, a także karotenoidy i antocyjany, które nadają im barwę. Ptaki trawią mięsistą owocnię i korzystają z zawartych w niej związków, z kolei nasiona przechodzą przez ich przewód pokarmowy nietknięte. W ten sposób ptaki przyczyniają się do rozsiewania nasion bzu czarnego.

- a) Wyjaśnij, w jaki sposób obecność antocyjanów w owocach dzikiego bzu czarnego wpływa na sposób rozsiewania jego nasion.
- b) Wybierz w tabeli wiersz, w którym poprawnie określono miejsce występowania antocyjanów i karotenoidów w komórkach owoców dzikiego bzu czarnego.

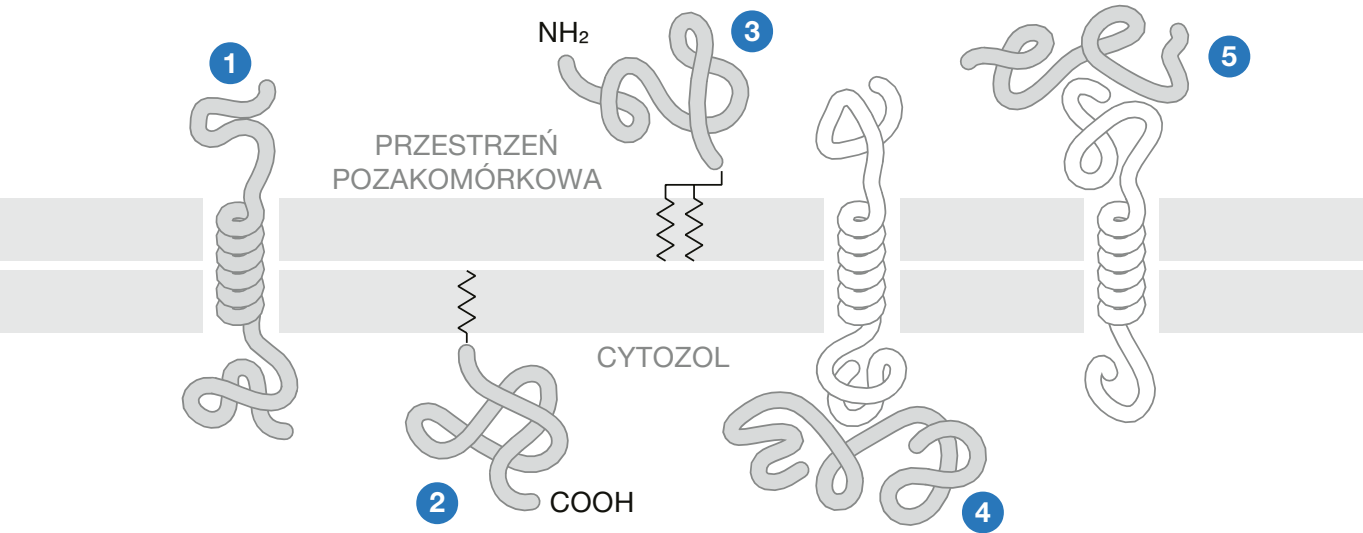
	Antocyjany	Karotenoidy
A.	chromoplasty	ściana komórkowa
B.	wakuola	wakuola
C.	wakuola	chromoplasty
D.	ściana komórkowa	cytozol

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

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

8 Białka stanowią stały składnik błon biologicznych. Są one w różny sposób związane z dwuwarstwą lipidową, wskutek czego pełnią w organizmie odmienne funkcje.

Na rysunku przedstawiono sposoby związania białek z dwuwarstwą lipidową błony komórkowej.



- a) Określ, jaki charakter – charakter hydrofilowy czy hydrofobowy – ma α -helisa białka oznaczonego na rysunku numerem 1. Odpowiedź uzasadnij.
- b) Opisz, w jaki sposób białka powierzchniowe oznaczone na rysunku numerami 4 i 5 są najprawdopodobniej związane z dwuwarstwą lipidową.
- c) Podaj przykłady dwóch funkcji, które białka pełnią w błonach biologicznych.

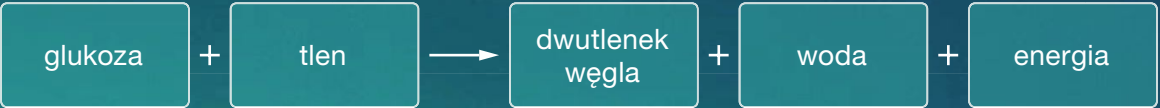
4. Metabolizm



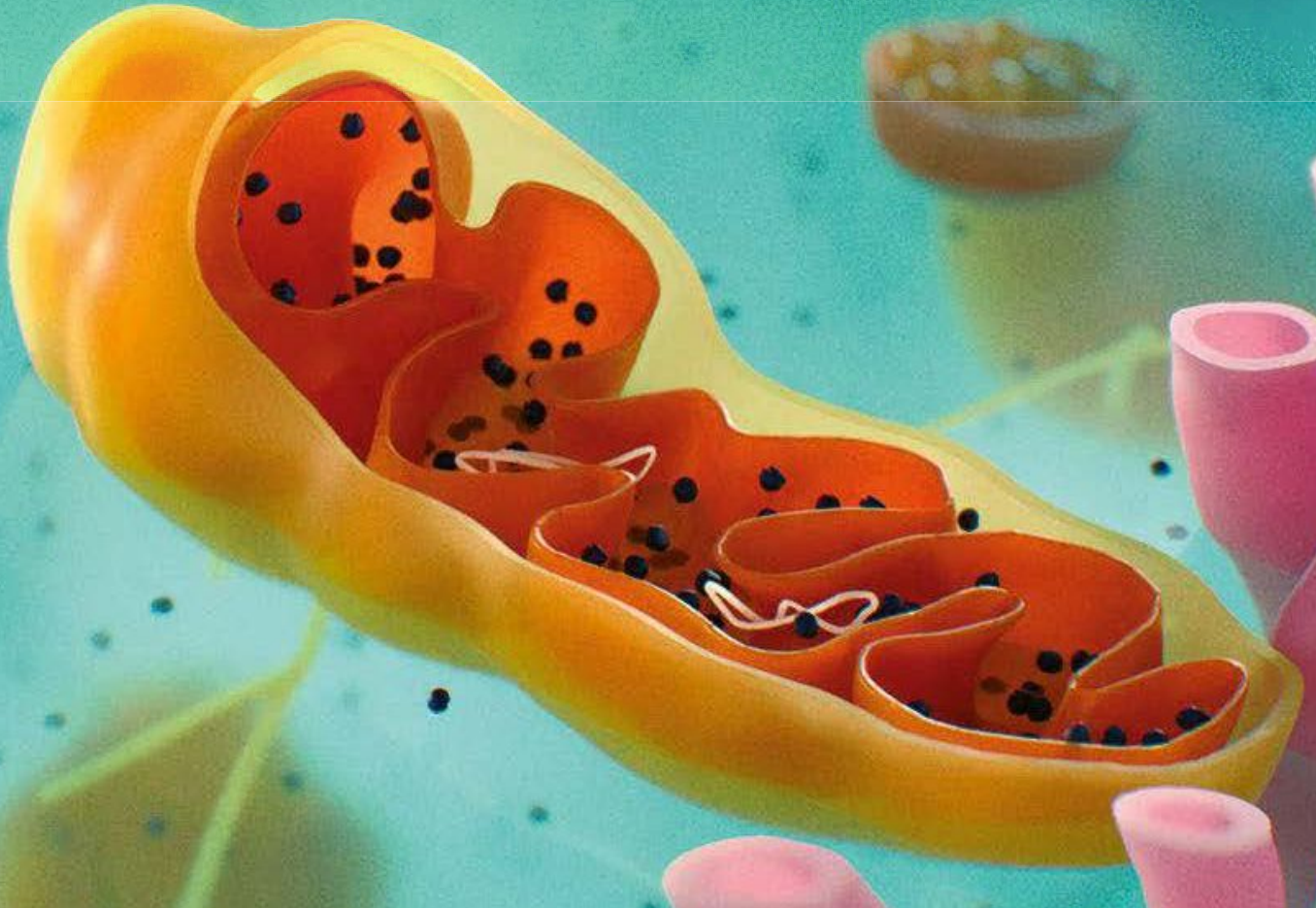
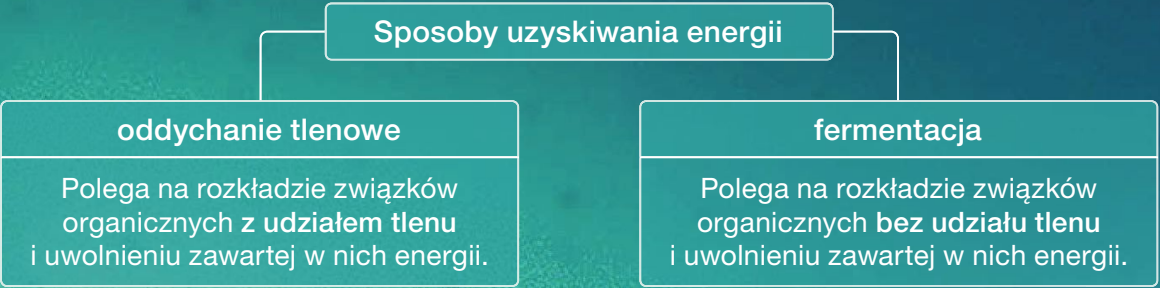
Przypomnij sobie – to było w szkole podstawowej

► **Oddychanie komórkowe** – proces, który polega na rozkładzie substancji pokarmowych i uwolnieniu zawartej w nich energii.

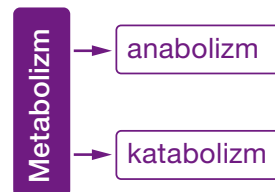
► Reakcja oddychania tlenowego:



► Porównanie oddychania tlenowego z fermentacją:



4.1. Podstawowe zasady metabolizmu



Ważne w tym temacie!

- przemiany anaboliczne i przemiany 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

Metabolizmem nazywa się całość przemian chemicznych oraz energetycznych zachodzących w każdej żywej komórce. Pojęcie to stosuje się również w odniesieniu do tkanek i narządów (lub organów) organizmów wielokomórkowych.

■ Przemiany anaboliczne i przemiany kataboliczne

Na metabolizm składają się dwa główne typy przemian: przemiany anaboliczne (anabolizm) oraz przemiany kataboliczne (katabolizm).

► Przemiany anaboliczne:

- polegają na **syntezie** złożonych związków chemicznych z substancji prostszych,

- są zwykle **endoenergetyczne** – wymagają stałego dostarczania energii w postaci energii świetlnej lub energii chemicznej,
- ich produkty są zwykle bardziej zasobne w energię niż substraty.

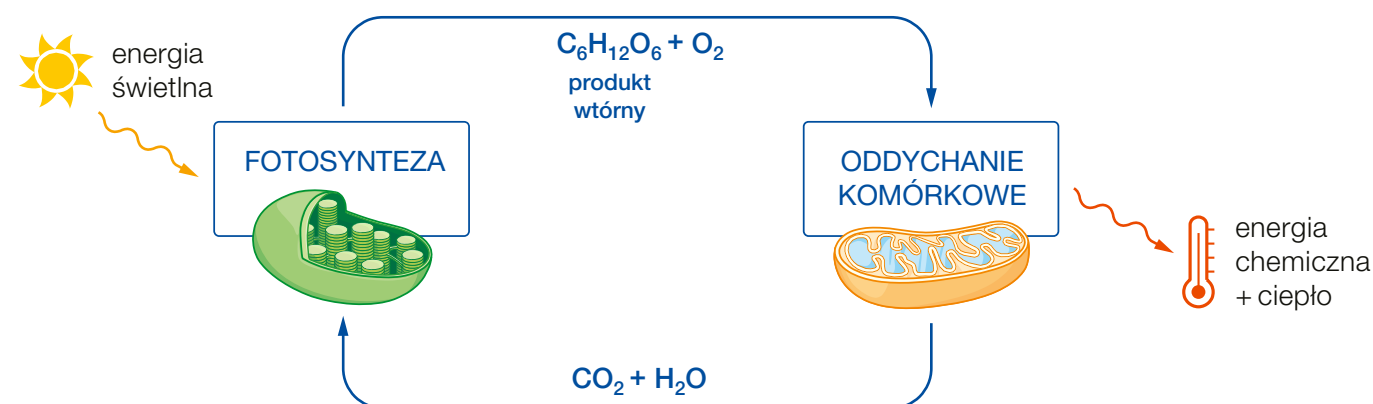
► Przemiany kataboliczne:

- polegają na **rozkładzie** złożonych związków chemicznych do substancji prostszych,
- są **egzoenergetyczne** – w ich trakcie jest uwalniana energia; część tej energii zostaje zmagazynowana w komórce, a część rozprasza się w postaci ciepła,
- ich produkty są mniej zasobne w energię niż substraty.

Przemiany anaboliczne i przemiany kataboliczne na przykładzie fotosyntezy i oddychania komórkowego

Przemiana anaboliczna – fotosynteza

Zachodzi w chloroplastach. Polega na syntezie związków organicznych (cukrów) z dwutlenku węgla (CO_2) i wody (H_2O). Wytworzone związki mogą posłużyć do syntezy produktów wtórnych, np. glukozy ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$), która ma bardziej złożoną budowę i jest bogatsza w energię niż dwutlenek węgla i woda.



Przemiana kataboliczna – oddychanie komórkowe

Zachodzi częściowo w cytozolu, a częściowo w mitochondriach. Polega na rozkładzie glukozy ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) do dwutlenku węgla (CO_2) i wody (H_2O), czemu towarzyszy uwolnienie energii. Dwutlenek węgla i woda są związkami prostszymi i uboższymi w energię niż glukoza.

■ Przenośniki energii w komórce

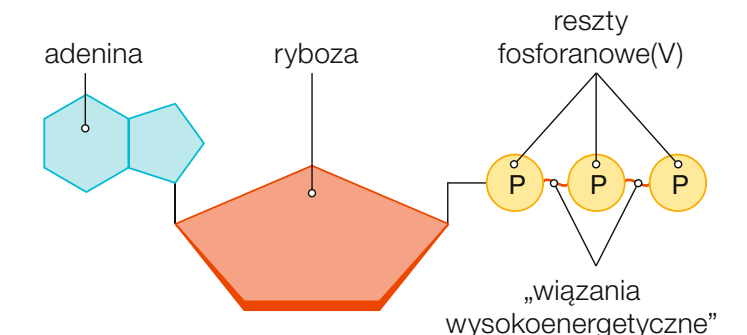
W metabolizmie komórki uczestniczą **wysokoenergetyczne związki chemiczne** nazywane przenośnikami energii. Dzięki nim zachodzi m.in. sprzęganie przemian egzoenergetycznych z przemianami endoenergetycznymi. Do funkcji przenośników energii należą:

- kumulowanie energii chemicznej; energia jest zwykle kumulowana w „**wiązaniach wysokoenergetycznych**”,
- przenoszenie energii w obrębie komórki z miejsc, w których została ona uwolniona, do miejsc, w których jest potrzebna.

Źródłem energii chemicznej kumulowanej w „wiązaniach wysokoenergetycznych” może być energia uwalniana w przemianach katabolicznych albo energia świetlna pochłaniana podczas fotosyntezy. Komórki wykorzystują skumulowaną energię m.in. do przemian

anabolicznych, czyli syntezy różnych związków, a także do poruszania się lub aktywnego transportu substancji przez błony biologiczne.

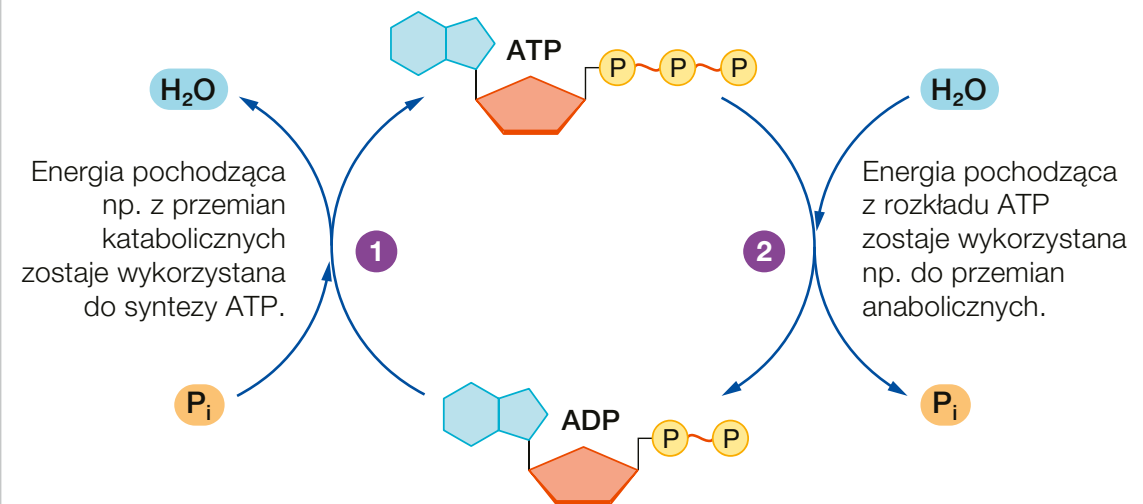
Podstawowym przenośnikiem energii w komórce jest **adenozynotrifosforan – ATP** – zbudowany z rybozy, adeniny i trzech reszt fosforanowych(V). Związek ten zawiera dwa „wiązańia wysokoenergetyczne”, które łączą ze sobą reszty fosforanowe(V).



Budowa ATP. „Wiązania wysokoenergetyczne” oznacza się tyldą (falą).

Cykl ATP–ADP

Podstawowym sposobem kumulowania i uwalniania energii w komórkach jest cykl ATP–ADP. Polega on na naprzemiennych reakcjach syntezy ATP z ADP i reszty fosforanowej(V) oraz rozkładu (hydrolizy) ATP do ADP i reszty fosforanowej(V). Reszta fosforanowa(V) ma zwykle postać nieorganicznego fosforanu, dlatego jest oznaczana symbolem P_i (ang. *inorganic phosphate*).



- 1 Synteza ATP jest sprzężona m.in. z reakcjami katabolicznymi. Energia uwolniona w wyniku tych reakcji zostaje wykorzystana do fosforylacji ADP, czyli przyłączenia do niego reszty fosforanowej(V).



- 2 Powstały ATP jest zużywany na potrzeby przemian anabolicznych lub innych procesów wymagających dostarczenia energii. Energia skumulowana w ATP zostaje uwolniona w wyniku rozkładu tego związku do ADP i reszty fosforanowej(V).



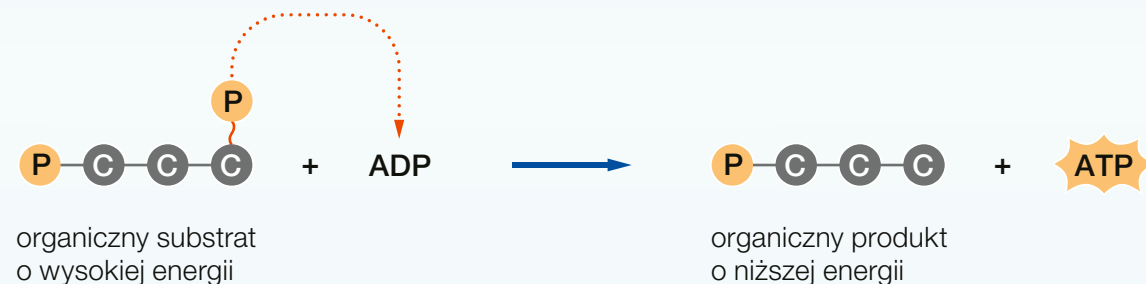
Synteza ATP jest zwykle związana z wytworzeniem cząsteczki wody, a rozkład ATP zazwyczaj wiąże się ze zużyciem cząsteczki wody. W dalszej części podręcznika zastosowano zapis uproszczony, w którym pominięto udział cząsteczek wody i reszt fosforanowych(V) w syntezie oraz rozkładzie ATP.

Mechanizmy fosforylacji ADP

Fosforylacja, czyli przyłączanie reszty fosforanowej(V) do ADP, zachodzi w komórce na dwa podstawowe sposoby.

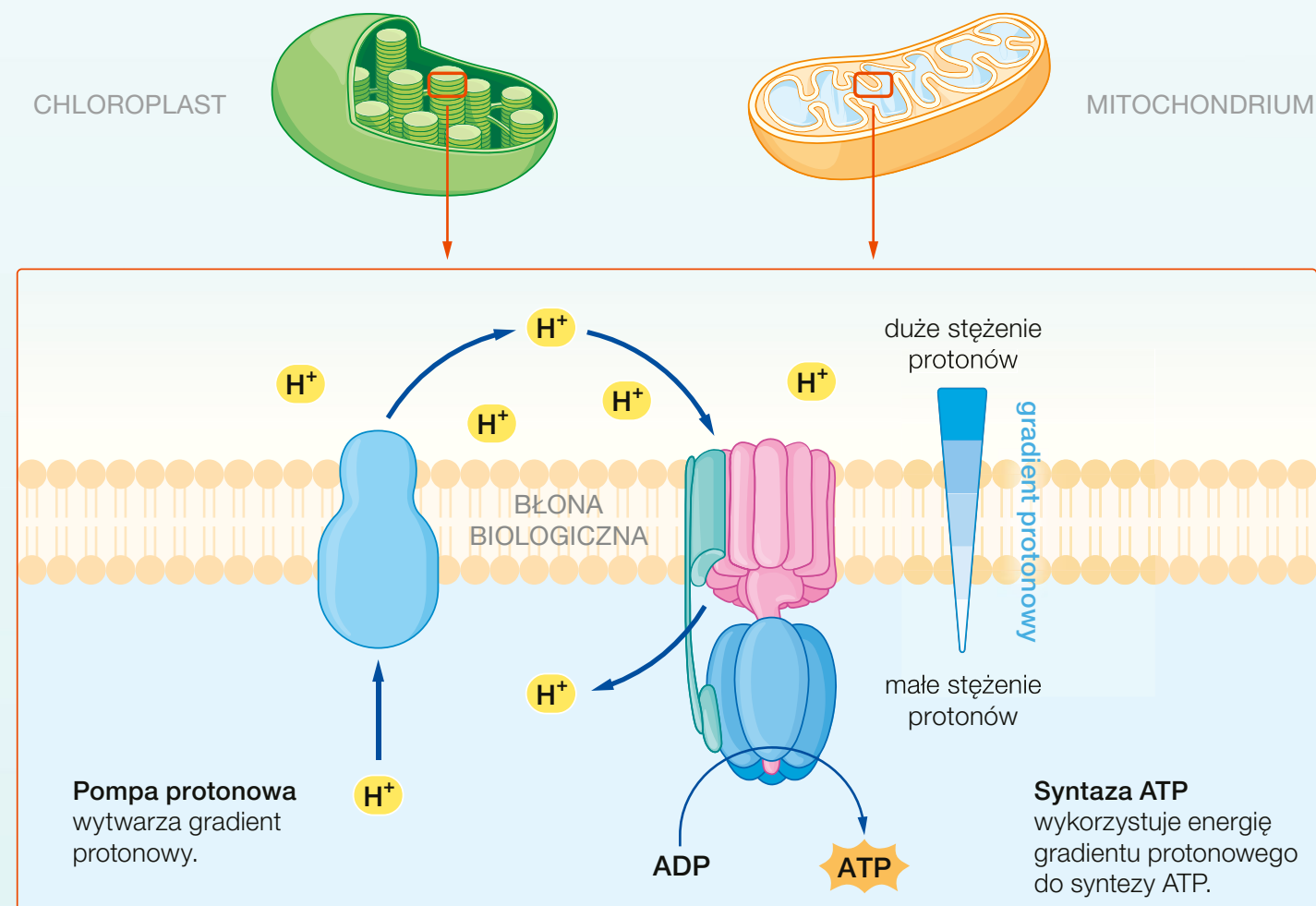
Sposób 1 – fosforylacja substratowa

Zazwyczaj polega na odłączeniu reszty fosforanowej(V) od organicznego substratu o wysokiej energii i przyłączeniu jej do ADP. W efekcie powstaje inny związek organiczny o niższej energii oraz ATP. Reszta fosforanowa(V) pochodząca od organicznego substratu jest oznaczana symbolem ~P.



Sposób 2 – chemiosmoza

Polega na syntezie ATP z ADP i nieorganicznego fosforanu (P_i) z udziałem gradientu protonowego. Gradient protonowy to różnica stężeń protonów (jonów H^+) po dwóch stronach błony biologicznej, wytwarzana dzięki działaniu błonowych pomp protonowych. Gradient ten źródłem energii wykorzystywanym przez błonowy enzym – syntazę ATP – do przeprowadzania fosforylacji ADP.



Reakcje utlenienia–redukcji

Większość reakcji chemicznych zachodzących w komórce należy do reakcji utlenienia–redukcji (reakcji oksydoredukcyjnych, reakcji redoks). Reakcje te polegają na wymianie elektronów między dwiema substancjami:

- ▶ substancja zwana **reduktorem** oddaje elektrony, czyli ulega utlenieniu,
- ▶ substancja zwana **utleniaczem** przyjmuje elektrony, czyli ulega redukcji.

W komórce reakcje utlenienia–redukcji odbywają się zwykle z udziałem związków pośrednich, które określa się mianem **przenośników elektronów**. Należą do nich m.in. dinukleotydy: NAD^+ , $NADP^+$ oraz FAD .

Przenośniki elektronów występują w dwóch formach – utlenionej i zredukowanej. W formie utlenionej są biorcami elektronów, a w formie zredukowanej – dawcami elektronów.

- ▶ **Utlenione przenośniki elektronów** przyjmują elektrony od utlenianych związków chemicznych i ulegają redukcji, zgodnie z uproszczonymi równaniami reakcji chemicznych:

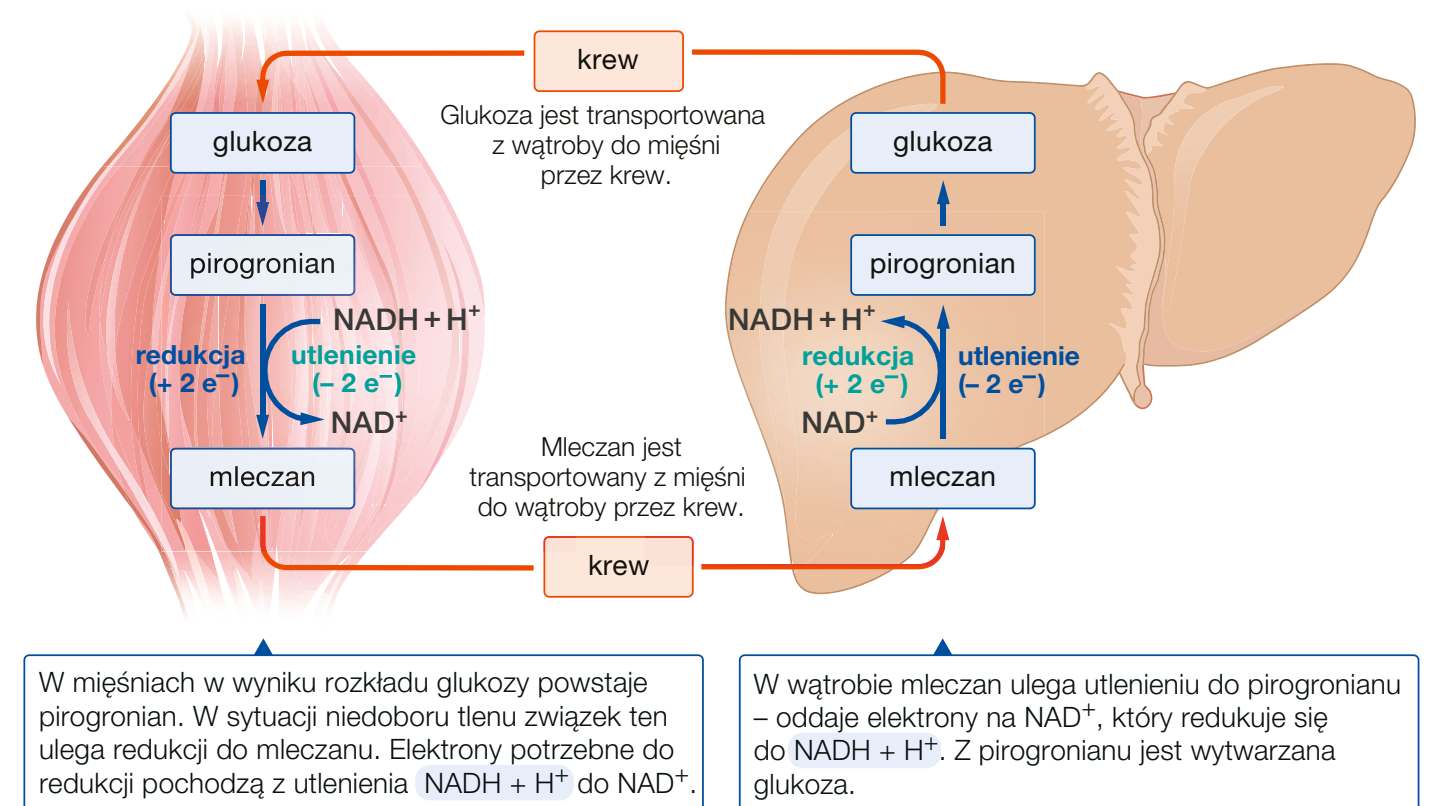


- ▶ **Zredukowane przenośniki elektronów** oddają pobrane elektrony związkowi zredukowanemu i ulegają utlenieniu, zgodnie z uproszczonymi równaniami reakcji chemicznych:



W związku z tym, że pobieraniu elektronów towarzyszy pobieranie protonów, a oddawaniu elektronów – oddawanie protonów, dinukleotydy pełnią także funkcję **przenośników protonów**.

Mechanizm działania przenośników elektronów na przykładzie przemian pirogronianu



Polecenia kontrolne

1. Skonstruuj tabelę, w której porównasz przemiany anaboliczne z przemianami katabolicznymi pod względem trzech cech.
2. Wyjaśnij, na czym polega cykl ATP–ADP.
3. Określ, który związek – NAD^+ czy $NADPH + H^+$ – pełni funkcję reduktora w przemianach metabolicznych.

4.2. Budowa i działanie enzymów

Ważne w tym temacie!

- cechy charakterystyczne budowy enzymu
- swoistość substratowa enzymu
- mechanizm katalizy enzymatycznej
- szlaki i cykle metaboliczne

W komórkach i płynach ustrojowych organizmów zachodzą równocześnie tysiące reakcji chemicznych, w trakcie których określone substraty przekształcają się w określone produkty. Prawidłowe funkcjonowanie organizmu wymaga, by reakcje te zachodziły szybko i w odpowiedniej kolejności. Jest to możliwe dzięki udziałowi **katalizatorów**, czyli substancji przyspieszających przebieg reakcji chemicznych. Biologiczne katalizatory noszą nazwę **enzymów**, a zjawisko przyspieszania reakcji chemicznych przez enzymy określa się mianem **katalizy enzymatycznej**.

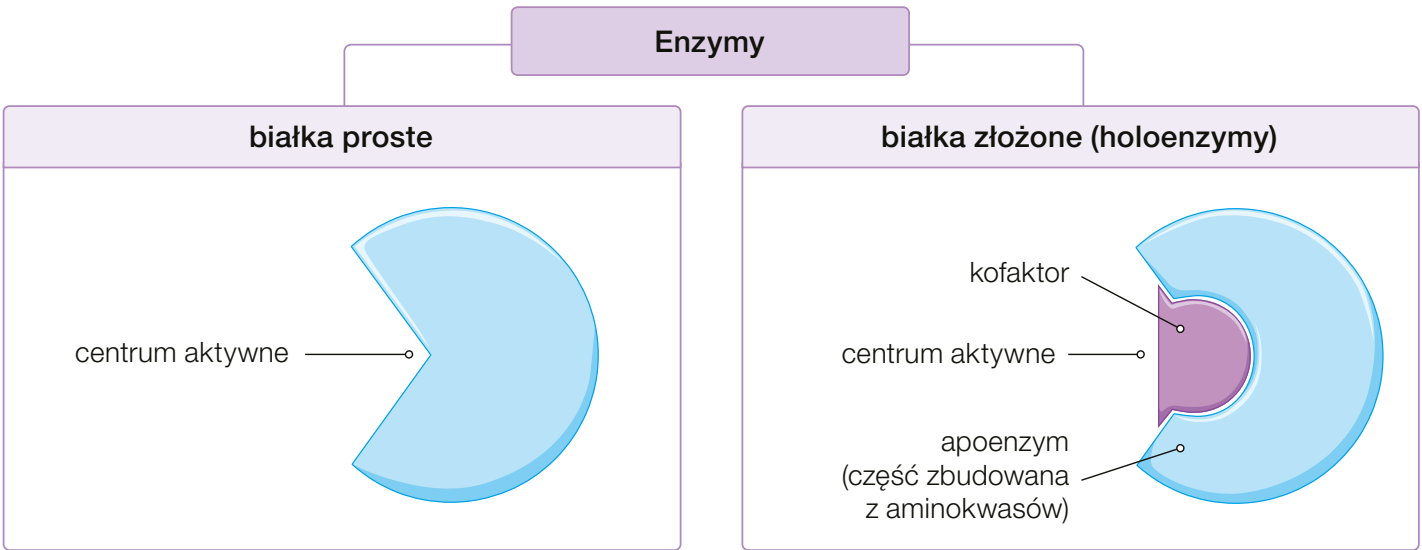
■ Budowa enzymów

Pod względem chemicznym enzymy są białkami. Niektóre z nich są zbudowane wyłącznie z aminokwasów (np. pepsyna, trypsina, chymotrypsyna), więc należą do **białek prostych**. Zdecydowana większość enzymów to **białka złożone**. Oprócz części zbudowanej

z aminokwasów, czyli **apoenzymu**, zawierają one również **kofaktor**. Kofaktorami mogą być:

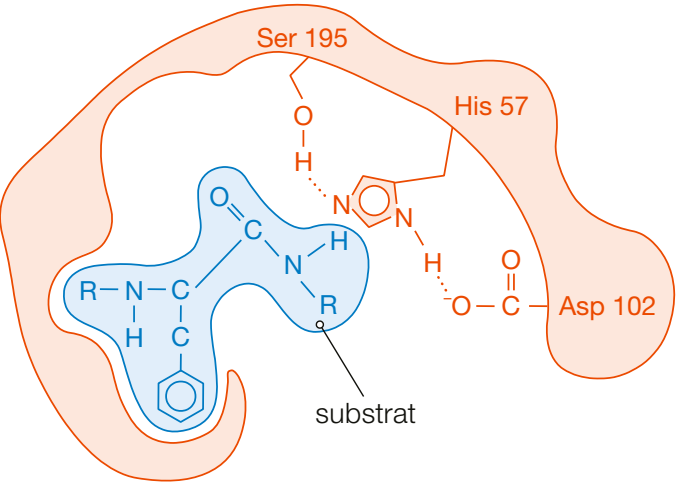
- ▶ **metale** – np. Zn^{2+} , Mg^{2+} ;
- ▶ **koenzymy** – drobnocząsteczkowe związki organiczne, do których należą witaminy (np. biotyna) lub pochodne witamin (np. FAD). Koenzymy mogą być związane z apoenzymem nietrwale lub trwale. Te koenzymy, które są związane z apoenzymem trwale, określa się mianem **grup prostetycznych**. Apoenzym połączony z kofaktorem nosi nazwę **holoenzymu**.

Każdy enzym ma niepowtarzalną strukturę przestrzenną i zawiera **centrum aktywne** (miejsce aktywne) w postaci zagłębienia (kieszeni). W centrum aktywnym zachodzą wiązanie substratu oraz przekształcenie substratu w produkt. W przypadku holoenzymów centrum aktywne zawiera również kofaktor. Aktywność katalityczną wykazuje tylko kompletny holoenzym.



Budowa centrum aktywnego

Centrum aktywne ma zwykle postać trójwymiarowego zagłębienia (kieszeni). Znajdują się w nim łańcuchy boczne aminokwasów, które zawierają grupy funkcyjne uczestniczące w wytwarzaniu oddziaływań między enzymem a substratem. Oddziaływania te tworzą się tylko na czas reakcji i umożliwiają powstanie produktu.



Centrum aktywne chymotrypsyny

(enzymu przewodu pokarmowego, który katalizuje rozkład białek) zawiera m.in. łańcuchy boczne kwasu asparaginowego (Asp), histydyny (His) oraz seryny (Ser). W strukturze I- i II-rzędowej chymotrypsyny aminokwasy te są od siebie oddalone – zwróć uwagę na numery oznaczające ich położenie w łańcuchu polipeptydowym. Jednak w trakcie tworzenia się struktury III-rzędowej aminokwasy te zbliżają się do siebie i tworzą trójwymiarowe centrum aktywne, które jest dopasowane przestrzennie do substratu (→ s. 66–67).

■ Nazewnictwo i klasyfikacja enzymów

Nazwy enzymów tworzy się zwykle przez dodanie końcówki „-aza” do:

- ▶ nazw odpowiednich substratów, np. maltaza to enzym katalizujący rozkład maltozy,

- ▶ nazw katalizowanych reakcji, np. syntaza ATP to enzym katalizujący syntezę ATP. Niektóre enzymy (np. pepsyna, trypsina) mają nazwy historyczne wywodzące się z języka łacińskiego lub języka greckiego.

Klasyfikacja enzymów według typu katalizowanej reakcji

Klasa	Nazwa	Typ katalizowanej reakcji
1	oksydoreduktazy	Katalizują reakcje utlenienia–redukcji, czyli reakcje przebiegające z wymianą elektronów między dwoma substratami. $XH_2 + Y \rightleftharpoons X + YH_2$
2	transferazy	Katalizują reakcje przeniesienia grup chemicznych z substratu (dawcy) na substrat (biorcę). $XR + Y \rightleftharpoons X + YR$
3	hydrolazy	Katalizują reakcje rozkładu związków chemicznych z udziałem wody. $XY + H_2O \rightleftharpoons XH + YOH$
4	liazy	Katalizują reakcje dodania atomu lub grupy atomów do wiązania podwójnego lub reakcje usunięcia atomu lub grupy atomów z wytworzeniem wiązania podwójnego. $X=Y \rightleftharpoons X + Y$
5	izomerazy	Katalizują wzajemne przekształcenia izomerów. $XY \rightleftharpoons YX$
6	ligazy	Katalizują reakcje syntezy, sprzężone zwykle z reakcją rozkładu ATP. $X + Y + ATP + H_2O \rightarrow XY + ADP + P_i$
7	translokazy	Katalizują – z udziałem energii – przenoszenie jonów lub cząsteczek związków chemicznych przez błony biologiczne.

Właściwości enzymów

Wszystkie enzymy wykazują kilka wspólnych właściwości, m.in.:

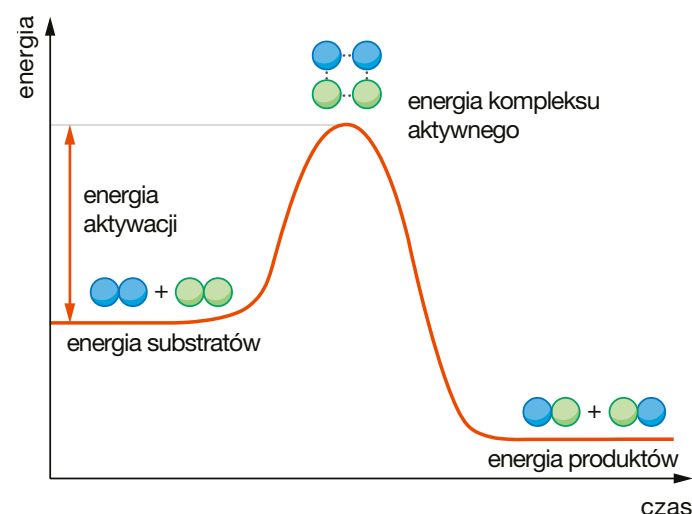
- ▶ przyspieszają przebieg reakcji chemicznych,
- ▶ katalizują reakcje samorzutne,
- ▶ nie zużywają się w trakcie reakcji chemicznych,
- ▶ wykazują swoistość względem typu katalizowanej reakcji,
- ▶ wykazują swoistość substratową.

Enzymy przyspieszają przebieg reakcji chemicznych

Szybkość reakcji chemicznej (v), w tym reakcji enzymatycznej, to szybkość, z jaką substrat przekształca się w produkt. Mierzy się ją ubytkiem ilości substratu lub przyrostem ilości produktu w czasie trwania reakcji.

Enzymy przyspieszają przebieg reakcji chemicznych, ponieważ **obniżają energię aktywacji**, czyli energię niezbędną do zapoczątkowania reakcji chemicznej. Energia ta jest zużywana przez substraty do wytworzenia przejściowego **kompleksu aktywnego**, który poprzedza powstanie produktów. Energia aktywacji decyduje o szybkości reakcji chemicznej – im jest ona niższa, tym szybciej zachodzi reakcja.

- Enzymy obniżają energię aktywacji, ponieważ:
- ▶ **zwiększają prawdopodobieństwo zderzeń między cząsteczkami**, m.in. w efekcie zagęszczenia cząsteczek substratu na powierzchni enzymu,

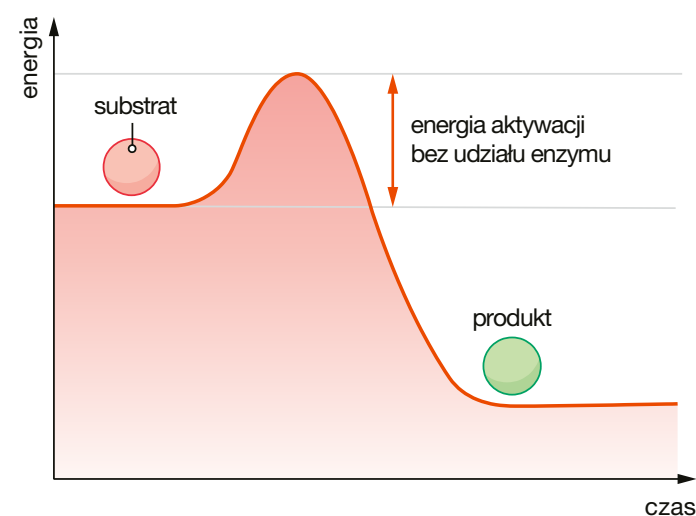


Energia aktywacji umożliwia utworzenie kompleksu aktywnego, czyli stanu pośredniego między substratami a produktami.

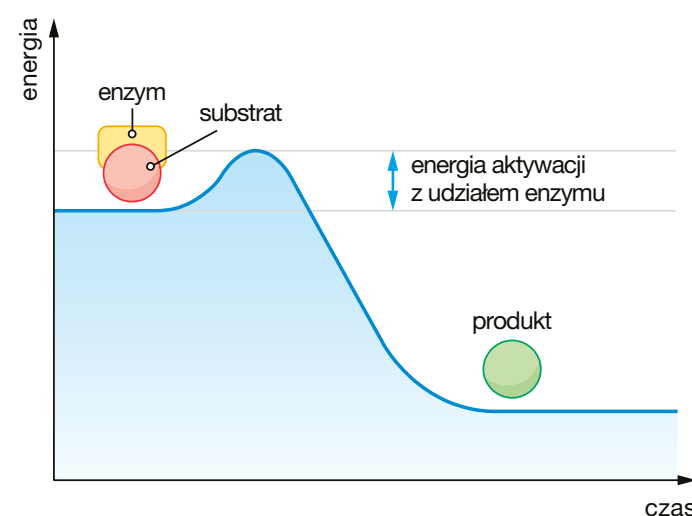
- ▶ **ukierunkowują cząsteczki względem siebie**, tak by ich grupy funkcyjne znalazły się jak najbliżej i mogły wytworzyć wiązanie,
- ▶ **wpływają na zmianę struktury przestrzennej substratu**, co ułatwia rozrywanie wiązań w jego cząsteczce,
- ▶ **tworzą optymalne środowisko reakcji**, np. hydrofobowe dla reakcji, w których nie uczestniczy woda.

Czy wiesz, że...

Niektóre glikozydazy (enzymy rozkładające polisacharydy) przyspieszają przebieg reakcji chemicznych ponad 10^{17} razy. Dzięki temu czas potrzebny do zajścia reakcji skraca się z milionów lat do milisekund.



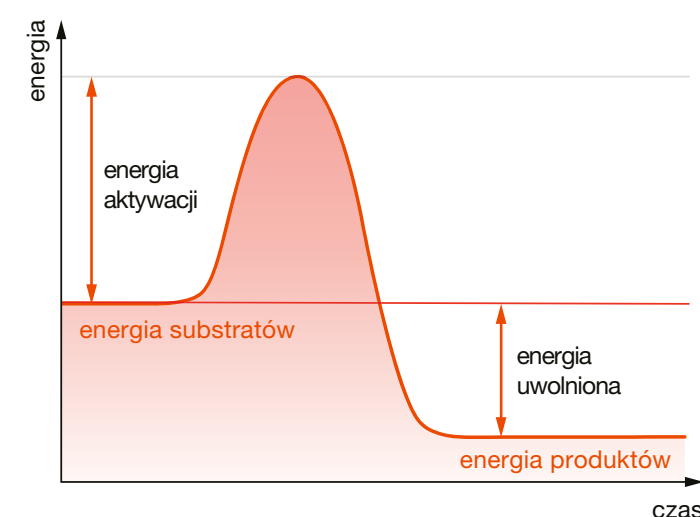
Przebieg reakcji chemicznej bez udziału enzymu.



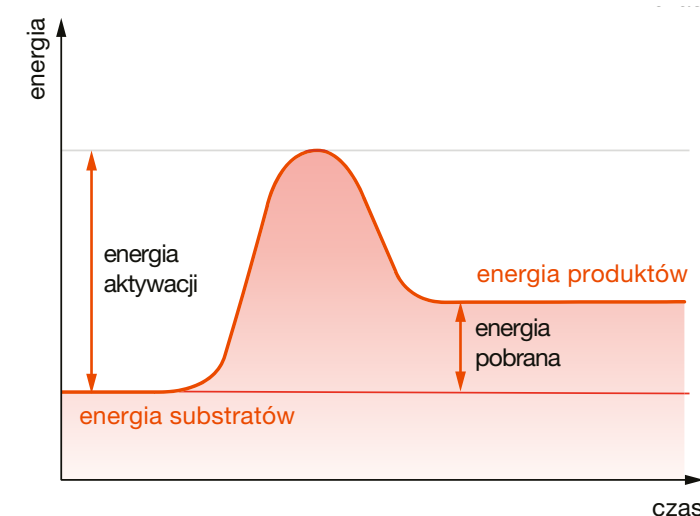
Przebieg reakcji chemicznej z udziałem enzymu.

Enzymy katalizują reakcje samorzutne

Zgodnie z prawami fizyki enzymy przyspieszają jedynie **reakcje samorzutne**, do których należą reakcje egzoenergetyczne (→ s. 176). W organizmach zachodzą jednak liczne **reakcje wymuszone** o charakterze endoenergetycznym (→ s. 176). Enzymy są zdolne do przyspieszania reakcji wymuszonych – pod warunkiem, że jednocześnie katalizują reakcję samorzną, np. rozkład ATP do ADP i P_i . Energia uwolniona w reakcji samorzutnej zostaje wykorzystana do przeprowadzenia reakcji wymuszonej.



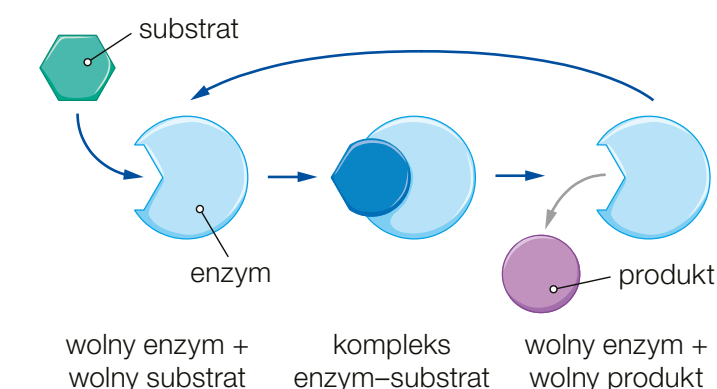
Enzymy katalizują reakcje samorzutne, czyli reakcje egzoenergetyczne. W trakcie tych reakcji zachodzi uwalnianie energii.



Enzymy mogą katalizować reakcje wymuszone, czyli reakcje endoenergetyczne, jeśli jednocześnie katalizują reakcje samorzutne. W trakcie reakcji wymuszonych zachodzi pochłanianie energii uwolnionej podczas reakcji samorzutnych.

Enzymy nie zużywają się w trakcie reakcji chemicznych

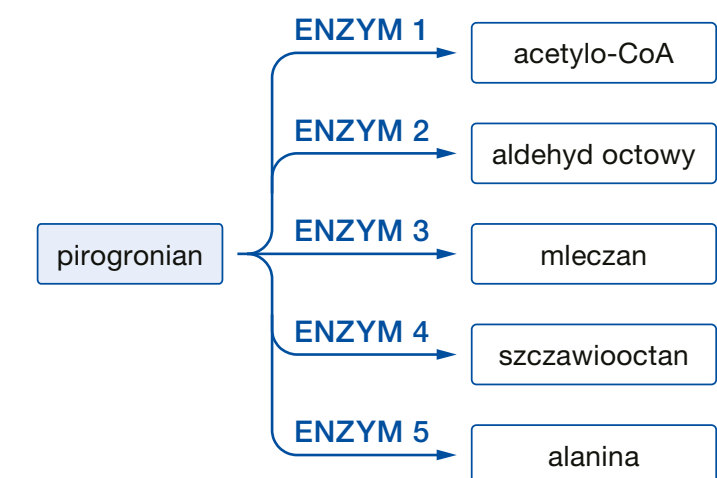
Enzymy nie są substratami reakcji chemicznych – tym samym nie zużywają się w ich przebiegu. Oznacza to, że po zakończeniu reakcji liczba aktywnych cząsteczek enzymu i ich struktura chemiczna pozostają takie same jak przed rozpoczęciem reakcji. Dzięki temu każda cząsteczka enzymu może zostać wykorzystana wielokrotnie.



Enzymy nie zużywają się w przebiegu reakcji chemicznych, dlatego po ich zakończeniu mogą katalizować kolejne reakcje.

Enzymy wykazują swoistość względem typu katalizowanej reakcji

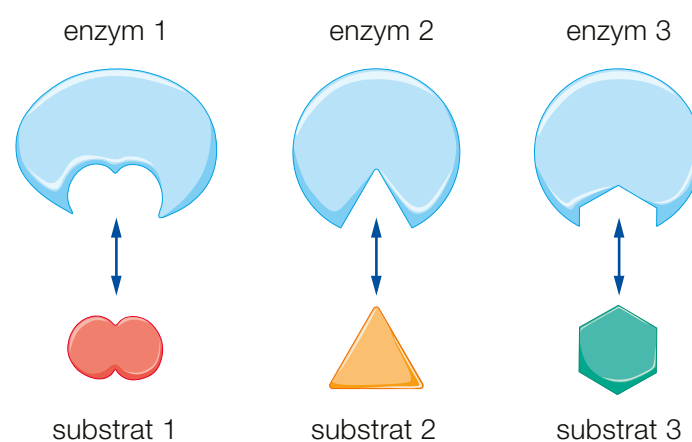
Swoistość względem typu katalizowanej reakcji polega na tym, że określony enzym katalizuje tylko jeden typ reakcji. Na przykład pirogronian jest substratem kilku różnych reakcji, ale każdą z nich katalizuje inny enzym.



Przemiany pirogronianu w organizmie.

Enzymy wykazują swoistość substratową

Swoistość substratowa (swoistość enzymu względem substratu) wynika ze struktury przestrzennej centrum aktywnego. Centrum aktywne każdego enzymu jest zbudowane w odmienny sposób, dlatego dany enzym może łączyć się tylko z jednym substratem lub niewielką grupą substratów o zbliżonej budowie. Przykładem enzymu o dużej swoistości substratowej jest **anhydraza węglanowa**, która katalizuje wyłącznie syntezę lub rozkład kwasu węglowego.

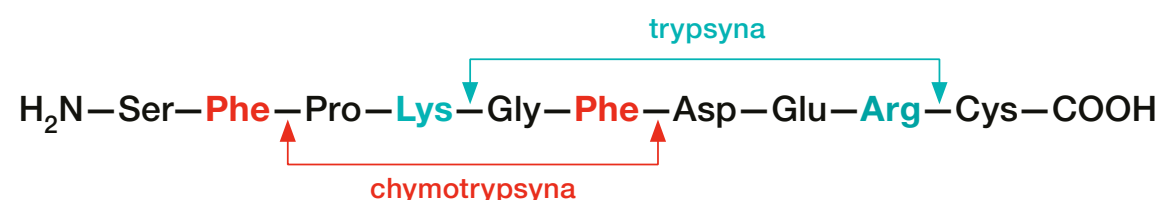


Swoistość substratowa enzymów.

Swoistość substratowa trypsyny i chymotrypsyny

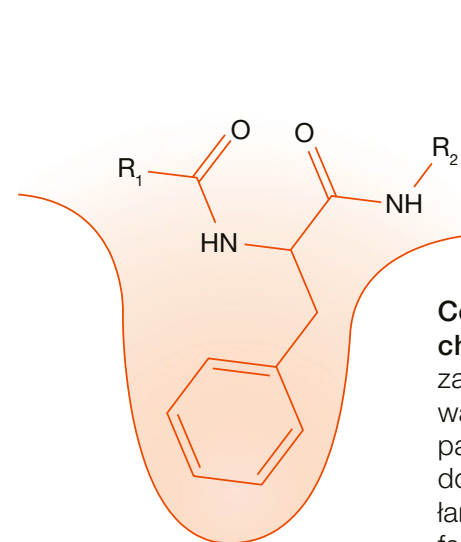
Niektóre enzymy, zwłaszcza enzymy trawienne, wykazują stosunkowo niewielką swoistość substratową. Należą do nich m.in. trypsyna i chymotrypsyna – enzymy proteolityczne działające w przewodzie pokarmowym (jelicie cienkim) człowieka. Rozkładają one wiązania peptydowe w cząsteczkach różnych białek pokarmowych, jednak dzięki różnicom w składzie aminokwasowym centrum aktywnego czynią to w innych miejscach łańcucha polipeptydowego.

Dowiedz się więcej

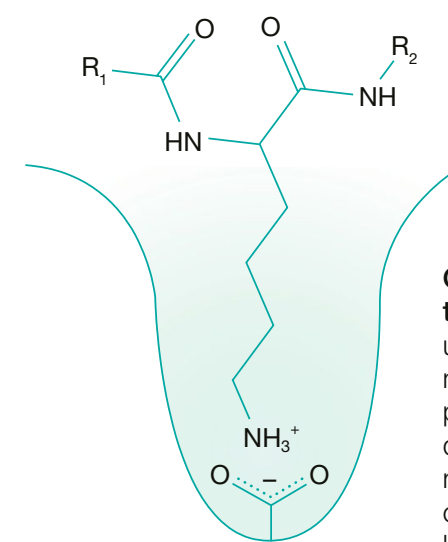


Chymotrypsyna rozkłada wiązania peptydowe utworzone przez grupę $-\text{COOH}$ fenyloalaniny (Phe).

Trypsyna rozkłada wiązania peptydowe utworzone przez grupę $-\text{COOH}$ lizyny (Lys) lub argininy (Arg).



Centrum aktywne chymotrypsyny zawiera hydrofobową kieszeń, która pasuje przestrzennie do hydrofobowego łańcucha bocznego fenyloalaniny.



Centrum aktywne trypsyny zawiera ujemnie naładowaną kieszeń, która pasuje przestrzennie do długich dodatnio naładowanych łańcuchów bocznych lizyny i argininy.

Mechanizm działania enzymów

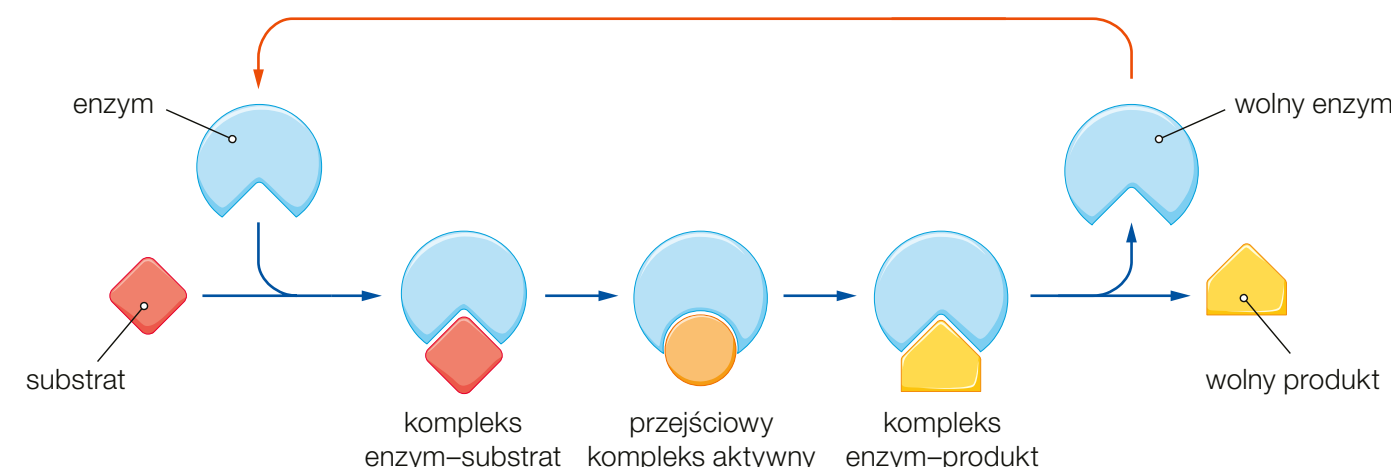
Kataliza enzymatyczna to przyspieszanie przebiegu reakcji chemicznych przez enzymy. Proces ten rozpoczyna się przyłączeniem **substratu (S)** do centrum aktywnego **enzymu (E)** – w ten sposób powstaje **kompleks enzym–substrat (ES)**. Kolejny etap katalizy enzymatycznej polega na wytworzeniu przejściowego **kompleksu aktywnego (ES*)**, w którym dochodzi

do rozerwania starych wiązań chemicznych i wytworzenia wiązań nowych. Dzięki temu substrat przekształca się w produkt. Powstały **kompleks enzym–produkt (EP)** rozpada się następnie na wolny **enzym (E)** i wolny **produkt (P)**.

Ogólne równanie reakcji enzymatycznej:



Przebieg katalizy enzymatycznej

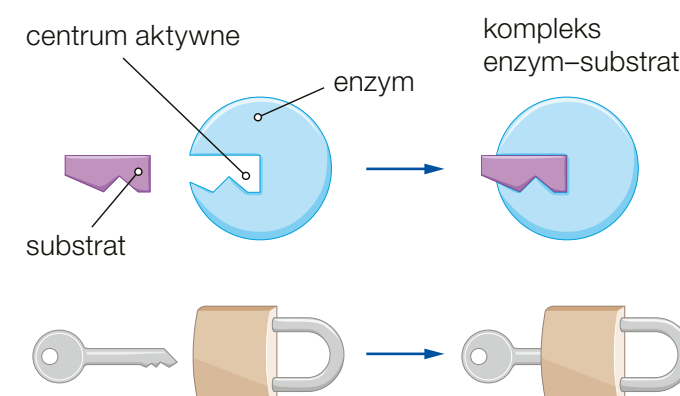


Modele powstawania kompleksu enzym–substrat

Mechanizm powstawania kompleksu enzym–substrat opisują dwa modele: starszy, zwany **modelem zamka i klucza**, oraz nowszy (obecnie przyjęty), zwany **modelem ręki i rękawiczki** (modelem indukcyjnego dopasowania).

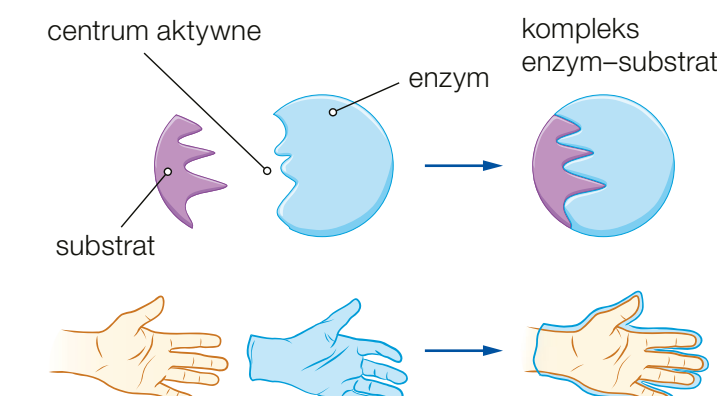
Model zamka i klucza

Zgodnie z tym modelem kształt centrum aktywnego enzymu jest niezmienny i dopasowany przestrzennie do kształtu substratu.



Model ręki i rękawiczki

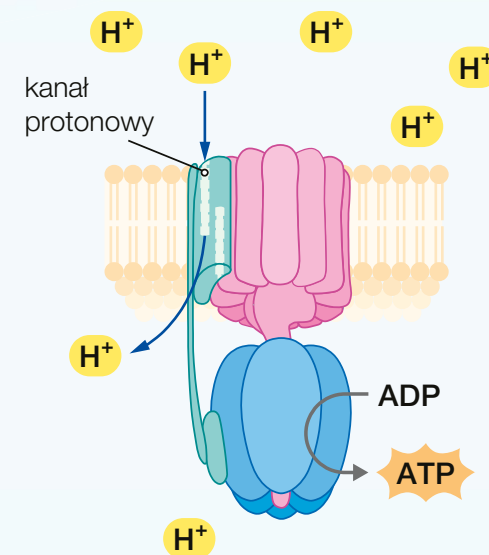
Zgodnie z tym modelem kształt centrum aktywnego enzymu dopasowuje się przestrzennie do kształtu substratu.



Syntaza ATP – enzym, który przekształca energię

Według praw fizyki **energia nie powstaje i nie zanika** – może jedynie przekształcać się z jednej formy w drugą. Za przekształcanie form energii w komórkach odpowiada enzym błonowy – syntaza ATP. Katalizuje on syntezę ATP, a jako źródło energii wykorzystuje gradient stężeń protonów po dwóch stronach błony biologicznej.

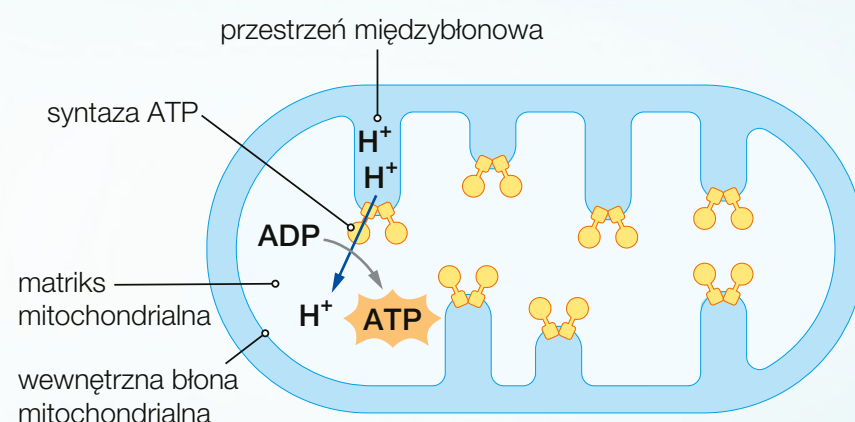
Siłą napędową działania syntazy ATP jest bierny przepływ protonów przez jej kanał protonowy. Dzięki temu energia ruchu protonów zostaje przekształcona w energię chemiczną skumulowaną w cząsteczkach ATP.



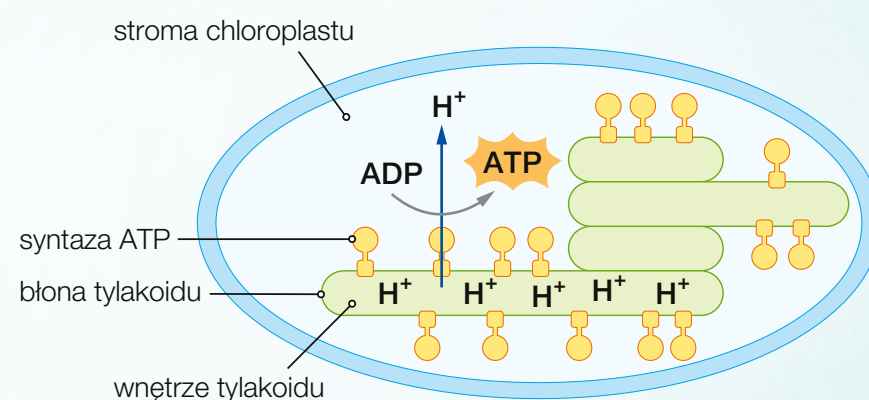
■ Lokalizacja syntazy ATP w komórkach organizmów eukariotycznych

W komórkach organizmów eukariotycznych syntaza ATP znajduje się w mitochondriach oraz chloroplastach, gdzie katalizuje syntezę ATP (→ s. 178).

W **mitochondriach** cząsteczki syntazy ATP są wbudowane w wewnętrzną błonę mitochondrialną. Przepuszczają one protony z przestrzeni międzybłonowej do matriks mitochondrialnej.



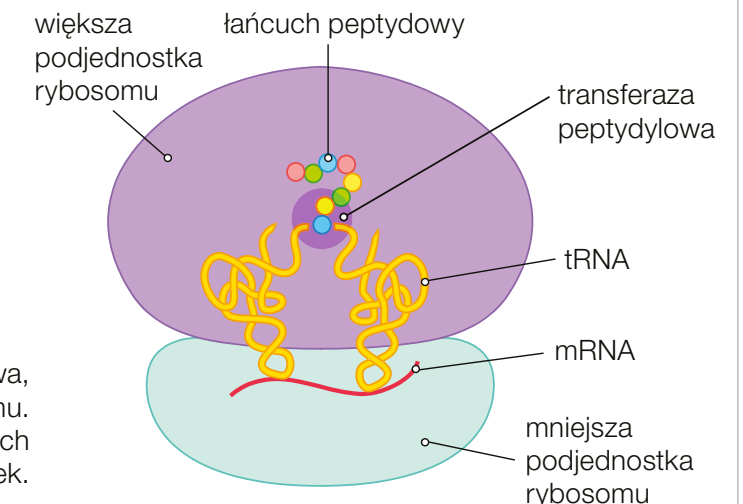
W **chloroplastach** cząsteczki syntazy ATP są wbudowane w błony tylakoidów. Przepuszczają one protony z wnętrza tylakoidu do stromy chloroplastu.



Rybozomy

Rybozomy to cząsteczki RNA o właściwościach katalitycznych. Zwykle są one jednoniciowe, jednak występują w nich także fragmenty dwuniciowe, powstałe na skutek łączenia się komplementarnych nukleotydów jednej nici.

Przykładem rybozymu jest transferaza peptydylowa, która wchodzi w skład dużej podjednostki rybosomu. Katalizuje ona tworzenie wiązań peptydowych w trakcie syntezy białek.

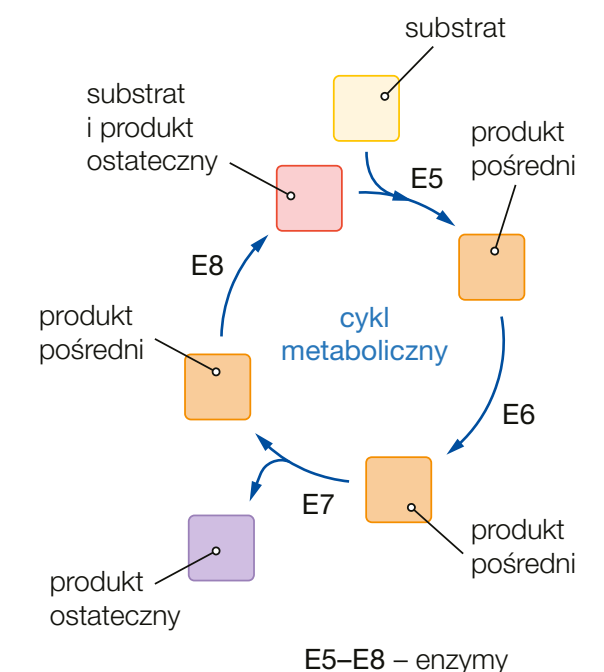
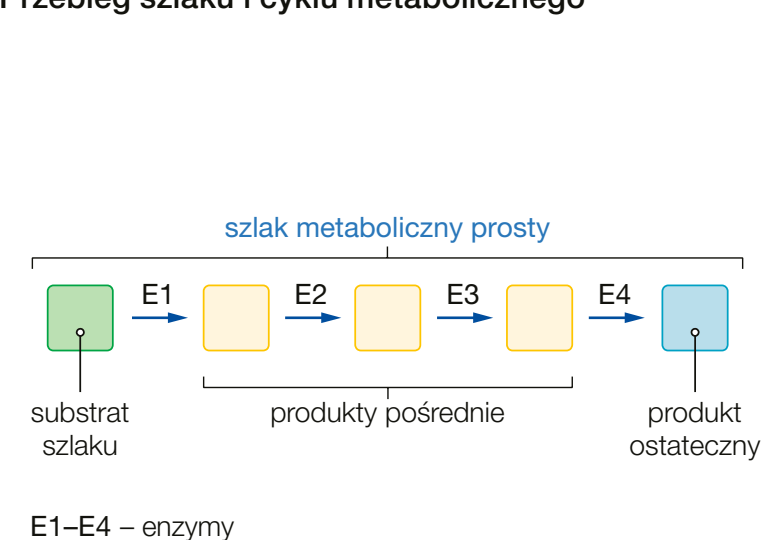


■ Szlaki i cykle metaboliczne

Procesy metaboliczne (np. fotosynteza, oddychanie tlenowe) składają się z powiązanych ze sobą szlaków i cykli metabolicznych, czyli ciągów reakcji chemicznych katalizowanych przez odpowiednie enzymy. Reakcje te zachodzą w określonej kolejności: substraty przekształcają się w produkty pośrednie, a produkty pośrednie – w produkty ostateczne.

- **Szlaki metaboliczne** to liniowe (otwarte) ciągi reakcji chemicznych, które prowadzą do powstania określonego produktu końcowego. Szlaki metaboliczne mogą być proste lub rozgałęzione.
- **Cykle metaboliczne** to zamknięte ciągi reakcji chemicznych. Oznacza to, że jeden z ostatecznych produktów cyklu jest jednocześnie wyjściowym substratem tego cyklu.

Przebieg szlaku i cyklu metabolicznego



Polecenia kontrolne

1. Opisz mechanizm działania enzymów, w którym uwzględnisz model ręki i rękawiczki.
2. Wyjaśnij, na czym polega różnica między swoistością substratową enzymu a swoistością enzymu względem typu katalizowanej reakcji.
3. Podaj różnicę między szlakiem metabolicznym a cyklem metabolicznym.

4.3. Regulacja aktywności enzymów

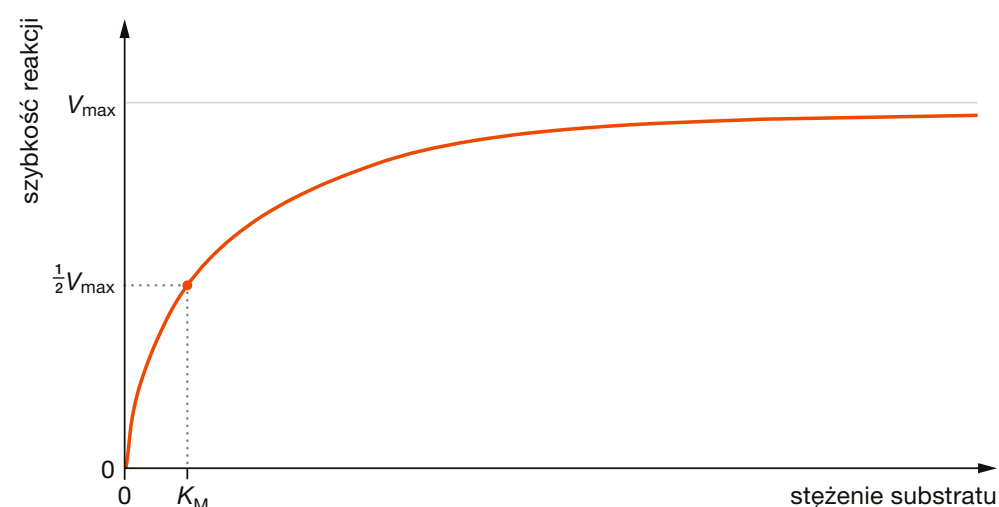
Ważne w tym temacie!

- wpływ czynników fizycznych i chemicznych (stężenie substratu, temperatura, pH) na przebieg katalizy enzymatycznej
- sposoby regulacji aktywności enzymów (aktywacja, inhibicja, ujemne sprzężenie zwrotne)

Szybkość reakcji enzymatycznych zależy od warunków, jakie panują w środowisku reakcji – głównie od stężenia substratu, temperatury oraz pH. Ponadto stężenie i aktywność poszczególnych enzymów są ściśle regulowane, dzięki czemu możliwe jest dostosowanie tempa przemian metabolicznych do aktualnych potrzeb komórki lub organizmu oraz do zmieniających się warunków zewnętrznych.

Wpływ stężenia substratu na szybkość reakcji enzymatycznej

Stężenie substratu jest jednym z głównych czynników wpływających na szybkość reakcji enzymatycznej. Jeśli stężenie enzymu jest stałe, to wzrost stężenia substratu zwiększa szybkość reakcji – aż do momentu, w którym prawie wszystkie cząsteczki enzymu zostaną wysyczone substratem. Reakcja osiąga wówczas szybkość zbliżoną do szybkości maksymalnej ($V_{\max}$), a dalszy wzrost stężenia substratu nie wpływa znacząco na jej przebieg.

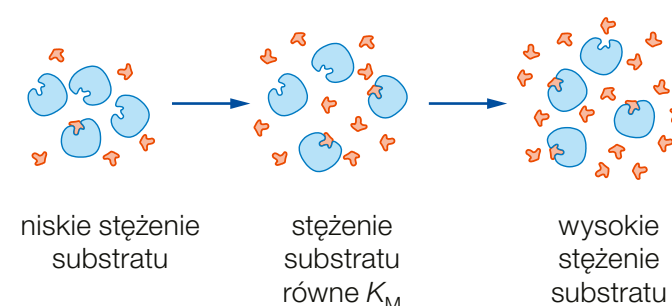


Wpływ stężenia substratu na szybkość reakcji enzymatycznej (krzywa Michaelisa–Menten).

Stała Michaelisa

Stała Michaelisa [wym. mikaelisa] – K_M – to takie stężenie substratu, przy którym szybkość reakcji enzymatycznej jest równa połowie szybkości maksymalnej ($\frac{1}{2} V_{\max}$). Stała Michaelisa odzwierciedla **powinowactwo enzymu do substratu**, czyli informuje, z jaką łatwością dany enzym tworzy z substratem kompleks enzym–substrat. Im mniejsza wartość K_M , tym większe powinowactwo enzymu do substratu, a więc także – większa efektywność działania enzymu.

Stopień wysycenia enzymu substratem w warunkach wzrastającego stężenia substratu



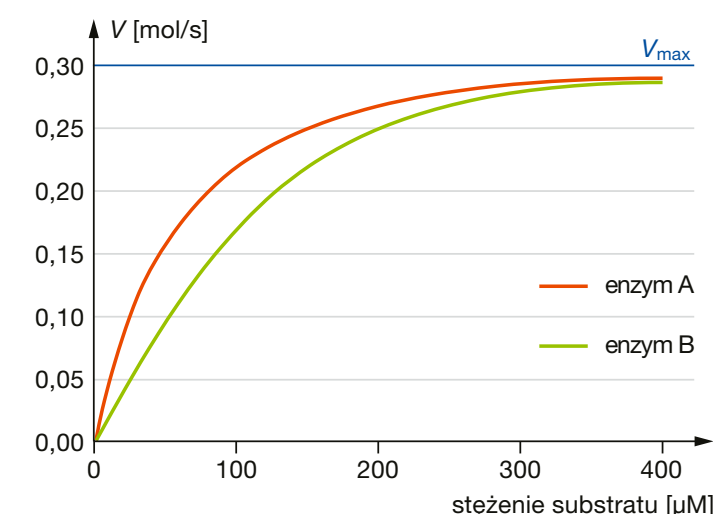
Samouczek

Porównanie powinowactwa enzymów do substratu na podstawie wartości K_M

Znajomość wartości K_M różnych enzymów pozwala określić, który enzym ma większe powinowactwo do substratu.

Przykład:

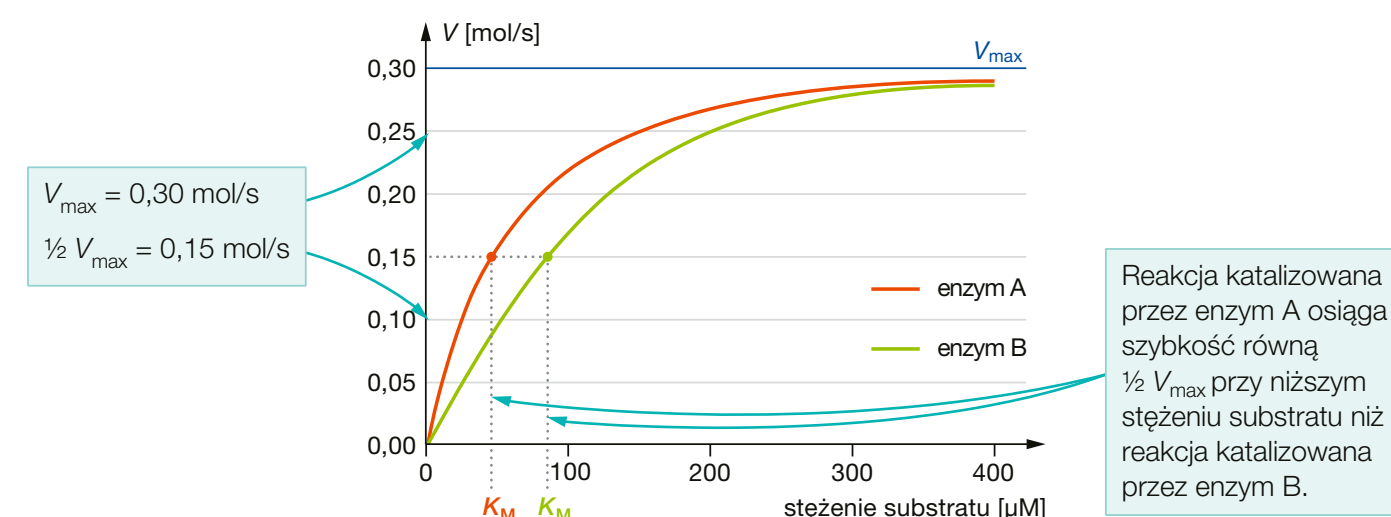
Na wykresie przedstawiono krzywe Michaelisa–Menten dla dwóch enzymów – A i B.



Określ, który enzym – A czy B – ma większe powinowactwo do substratu.

Rozwiązanie

Aby porównać powinowactwo enzymów A i B do substratu, należy wyznaczyć wartość K_M dla obu enzymów. Z wykresu wynika, że enzymy A i B mają tę samą wartość $V_{\max}$, która jest równa 0,3 mol/s. W celu wyznaczenia K_M trzeba określić, przy jakiej wartości stężenia substratu szybkość reakcji (V) osiąga połowę wartości $V_{\max}$ (czyli $0,3 \times \frac{1}{2} = 0,15$ 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.

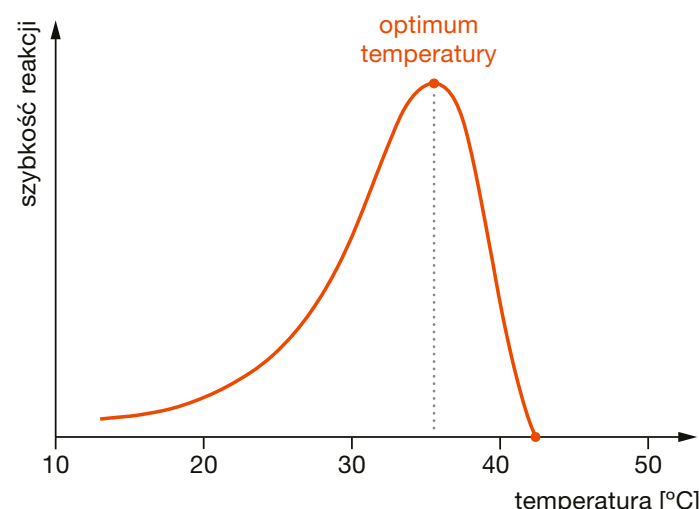
Wpływ temperatury na szybkość reakcji enzymatycznej

Zgodnie z regułą van't Hoffa podniesienie temperatury o 10°C przyspiesza przebieg reakcji chemicznych ok. 2–3 razy. Jest to spowodowane wzrostem energii reagujących cząsteczek i zwiększeniem częstości ich zderzeń. Opisywana reguła dotyczy również reakcji katalizowanych enzymatycznie, ale tylko do pewnego poziomu – do tzw. **optimum temperatury**. Po przekroczeniu optimum temperatury szybkość reakcji zaczyna gwałtownie spadać wskutek postępującej denaturacji białek enzymatycznych (→ s. 73).

Optimum temperatury zależy od rodzaju i pochodzenia enzymu. Dla większości enzymów mieści się ono w przedziale 30–45°C. Z kolei temperatura ok. 70°C powoduje całkowitą i nieodwracalną inaktywację większości białek enzymatycznych.

Wpływ pH na szybkość reakcji enzymatycznej

Każdy enzym działa w określonym zakresie pH, czyli w określonym przedziale stężenia jonów wodorowych. Optymalne pH to takie, przy którym reakcja enzymatyczna przebiega najszybciej. Wpływ pH na szybkość reakcji enzymatycznej

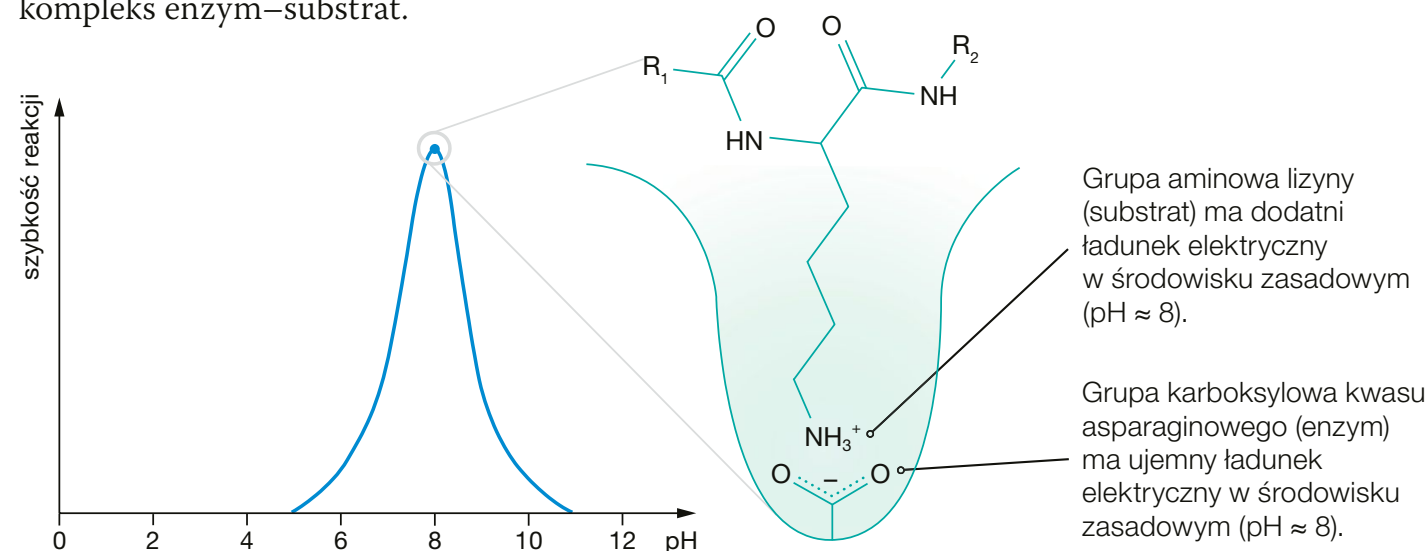


Wpływ temperatury na szybkość reakcji enzymatycznej zachodzącej w organizmie człowieka.

wynika głównie ze składu aminokwasowego centrum aktywnego enzymu, a także z budowy chemicznej substratu. Grupy funkcyjne aminokwasów tworzących centrum aktywne enzymu mogą mieć różny ładunek elektryczny – w zależności od stężenia jonów wodorowych w środowisku reakcji (→ s. 63). Od właściwego ładunku elektrycznego tych grup zależy zdolność enzymu do wiązania substratu i wytwarzania kompleksu enzym–substrat. Ponadto bardzo niskie lub bardzo wysokie pH środowiska może powodować denaturację białek enzymatycznych.

Wpływ pH na szybkości reakcji enzymatycznej katalizowanej przez trypsynę

Optymalne pH dla działania trypsyny wynosi ok. 8. Grupy funkcyjne substratu i enzymu mają wówczas odmienny ładunek elektryczny, dzięki czemu przyciągają się i tworzą kompleks enzym–substrat.



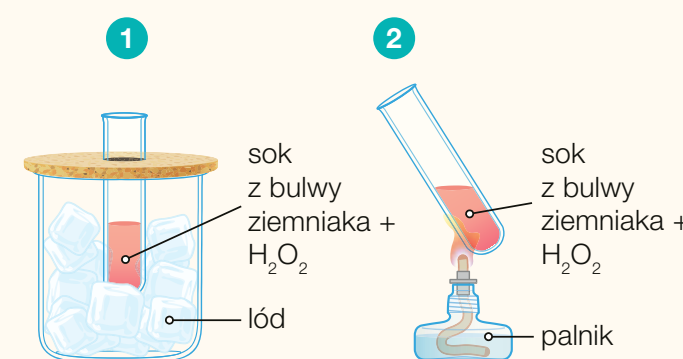
Dowiedz się więcej

Badanie wpływu niskiej i wysokiej temperatury na aktywność katalazy

- 1 Problem badawczy:** Czy niska i wysoka temperatura hamują aktywność katalazy?
- 2 Hipoteza badawcza:** Niska i wysoka temperatura hamują aktywność katalazy.
- 3 Przebieg doświadczenia:**
 - Obierz i zetrzyj na tarce surową bulwę ziemniaka.
 - Przez sącdek bibułowy przesącz do zlewki sok ze startej bulwy.
 - Do trzech probówek, oznaczonych numerami 1–3, wlej po 2 cm³ przesączonego soku, a następnie:
 - probówkę 1 umieść w pojemniku z lodem, by obniżyć temperaturę soku do mniej więcej 4°C,
 - probówkę 2 ogrzej nad palnikiem, by podwyższyć temperaturę soku do mniej więcej 95°C,
 - probówkę 3 pozostaw w temperaturze pokojowej (ok. 25°C).
 - Do każdej probówki dodaj 0,5 cm³ 3-procentowego roztworu nadtlenku wodoru (H₂O₂), czyli wody utlenionej.

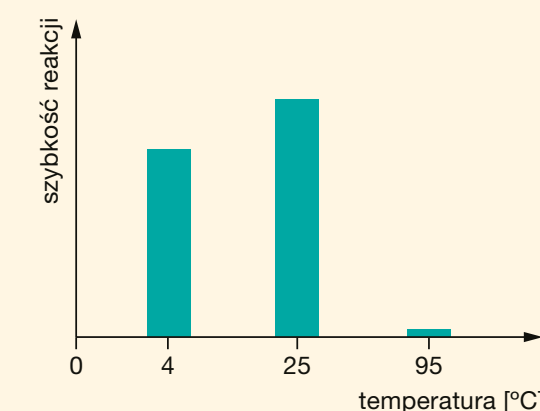
Próba badawcza: Probówki 1 i 2 zawierające sok z bulwy ziemniaka. Sok w probówce 1 ochłodzono do temperatury 4°C, a sok w probówce 2 podgrzano do temperatury 95°C. Do obu probówek dodano H₂O₂.

Próba kontrolna: Probówka 3 zawierająca sok z bulwy ziemniaka pozostawiona w temperaturze pokojowej. Do probówki dodano H₂O₂.



- 4 Wynik doświadczenia:** Obserwuj zmiany zachodzące w obu próbach.
- 5 Wniosek:** Sformułuj wniosek.

Wyjaśnienie: Katalaza jest enzymem należącym do klasy oksydoreduktaz. Katalizuje ona reakcję rozkładu nadtlenku wodoru do wody i tlenu cząsteczkowego – zgodnie z sumarycznym równaniem reakcji chemicznej: $2 \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \uparrow$. Katalaza znajdująca się w bulwach ziemniaka wykazuje niższą aktywność w temperaturze ok. 4°C i ok. 95°C niż w temperaturze ok. 25°C.



Wpływ temperatury na szybkość reakcji katalizowanej przez katalazę.

Badanie wpływu pH środowiska na aktywność pepsyny

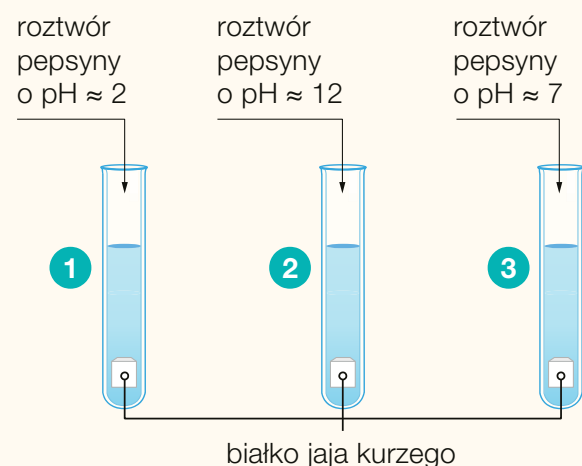
1 Problem badawczy: Czy aktywność pepsyny zależy od pH środowiska?

2 Hipoteza badawcza: Aktywność pepsyny zależy od pH środowiska.

3 Przebieg doświadczenia:

- Ugotuj dwa jaja kurze i wytnij z białka sześć jednakowych niewielkich kostek.
- Przygotuj trzy roztwory pepsyny o różnym pH: do trzech zlewek dodaj po 0,05 g pepsyny i rozpuść ją w 5 cm³ wody destylowanej. Otrzymane roztwory przenieś do trzech kolb stożkowych (kolby I–III) o pojemności 100 cm³ i uzupełnij je wodą destylowaną do 45 cm³. Następnie umieść kolby na mieszadło, wprowadź papierki uniwersalne i dodaj:
 - do kolby I ok. 0,2 cm³ 25-procentowego roztworu kwasu solnego (HCl) – aby uzyskać pH ≈ 2,
 - do kolby II ok. 0,2 cm³ 25-procentowego roztworu zasady sodowej (NaOH) – aby uzyskać pH ≈ 12,
 - do kolby III ok. 0,2 cm³ wody destylowanej – aby uzyskać pH ≈ 7.
- Przygotuj roztwór kwasu solnego o pH ≈ 2 oraz roztwór zasady sodowej o pH ≈ 12. W tym celu do dwóch kolb stożkowych (kolby IV i V) nalej po 45 cm³ wody destylowanej i dodaj:
 - do kolby IV ok. 0,2 cm³ 25-procentowego roztworu kwasu solnego,
 - do kolby V ok. 0,2 cm³ 25-procentowego roztworu zasady sodowej.
- Przygotuj próbę badawczą i próbę kontrolną zgodnie z przedstawionym rysunkiem. Wszystkie próby wstaw do ciepłarki o temperaturze 37°C i pozostaw na 2,5 godz.

Próba badawcza: Probówki 1–3 zawierające białko jaja kurzego. Do probówki 1 dodano roztwór pepsyny o pH ≈ 2, do probówki 2 – roztwór pepsyny o pH ≈ 12, a do probówki 3 – roztwór pepsyny o pH ≈ 7.

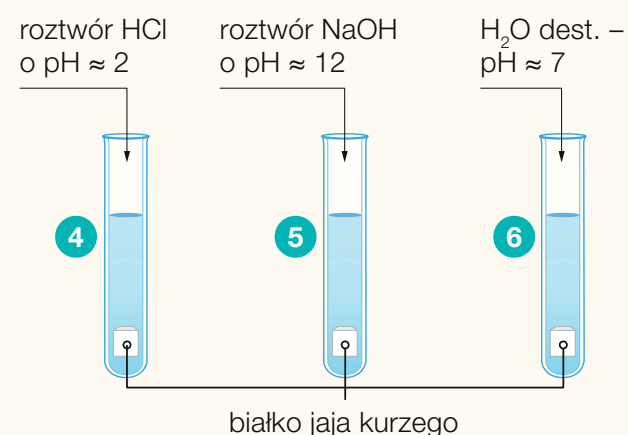


4 Wynik doświadczenia: Obserwuj zmiany zachodzące w próbach.

5 Wniosek: Sformułuj wniosek.

Wyjaśnienie: Pepsyna to enzym proteolityczny przewodu pokarmowego, który jest aktywny wyłącznie w środowisku silnie kwasowym (pH ≈ 2). Z tego powodu białko jaja kurzego zostanie strawione wyłącznie w próbie badawczej w probówce 1.

Próba kontrolna: Probówki 4–6 zawierające białko jaja kurzego. Do probówki 4 dodano roztwór kwasu solnego o pH ≈ 2, do probówki 5 – roztwór zasady sodowej o pH ≈ 12, a do probówki 6 – wodę destylowaną.



Regulacja aktywności enzymów

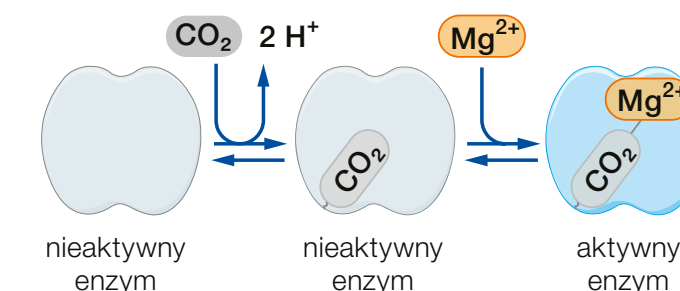
Aktywność poszczególnych enzymów w organizmie jest precyzyjnie regulowana. Dzięki temu reakcje chemiczne składające się na metabolizm zachodzą w określonym czasie, w odpowiedniej kolejności i z optymalną wydajnością. Pozwala to na zachowanie równowagi wewnętrznej organizmu, która cechuje się względną stałością warunków środowiska wewnętrznego, mimo zmieniających się warunków zewnętrznych. Głównymi regulatorami aktywności enzymów są substancje chemiczne określane mianem **aktywatorów** oraz **inhibitorów**. Wpływają one na pracę enzymów na różne sposoby. Do podstawowych mechanizmów regulacji aktywności enzymów zalicza się:

- ▶ regulację przez odwracalne modyfikacje kowalencyjne enzymów (→ s. 196),
- ▶ regulację przez proteolizę (→ s. 196),
- ▶ regulację allosteryczną, w tym regulację przez ujemne sprzężenie zwrotne (→ s. 197–198).

Aktywatory

Aktywatory to substancje, które zwiększają aktywność enzymów. Aktywatorami są m.in.:

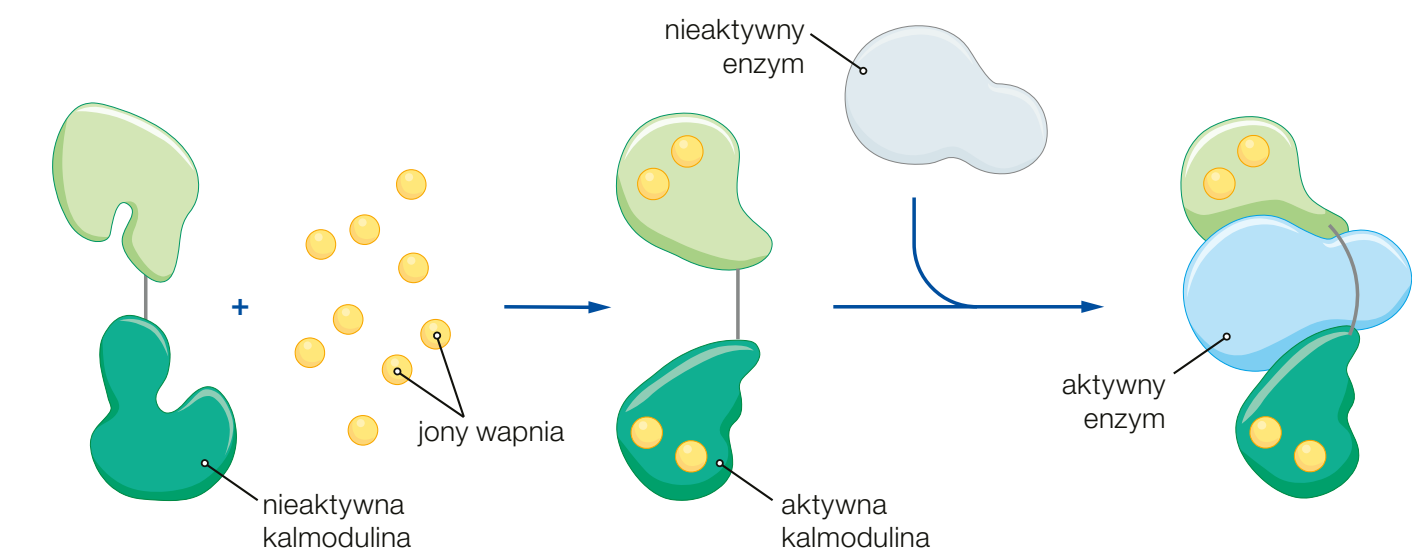
- ▶ białka regulatorowe, np. kalmodulina,
- ▶ niektóre nukleotydy, np. cAMP (cykliczny adenylozynomonofosforan),
- ▶ jony nieorganiczne, m.in. jony niektórych metali, np. Ca²⁺, Mg²⁺, Mn²⁺,
- ▶ drobnocząsteczkowe związki nieorganiczne, np. CO₂.



Karboksylaza rybulozo-1,5-bisfosforanu (rubisco) jest jednym z enzymów uczestniczących w procesie fotosyntezy. Jej aktywatorami są CO₂ oraz Mg²⁺.

Kalmodulina – białkowy aktywator

Przykładem białka regulatorowego jest kalmodulina, która zawiera cztery miejsca wiązania jonów wapnia (Ca²⁺). Związanie tych jonów aktywuje kalmodulinę przez zmianę jej struktury przestrzennej. Aktywna forma kalmoduliny łączy się z cząsteczką enzymu i powoduje jego aktywację. Przykładem enzymu aktywowanego przez kalmodulinę jest kinaza miozynowa, która uczestniczy w skurczach mięśni gładkich.



Inhibitory

Inhibitory to substancje, które hamują aktywność enzymów. Wiążą się one z enzymem, tworząc kompleks enzym–inhibitor (EI).

Do inhibitorów zalicza się niektóre trucizny i leki, a także substancje regulatorowe naturalnie występujące w organizmie. Wyróżnia się dwa podstawowe rodzaje inhibitorów: inhibitory nieodwracalne i inhibitory odwracalne.

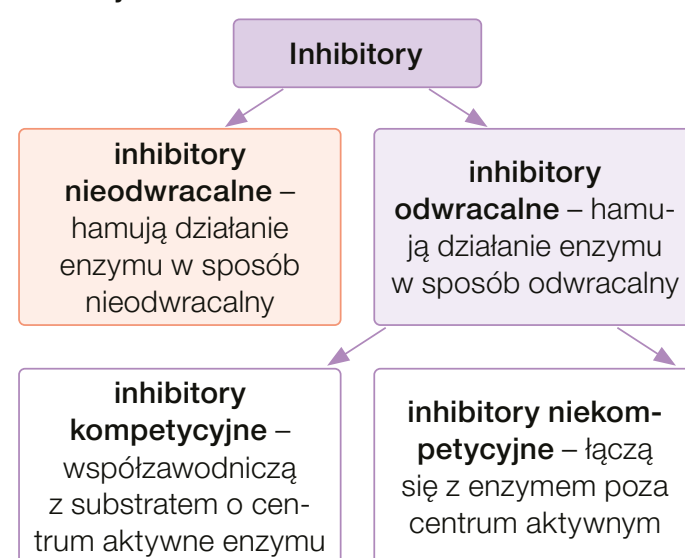
► **Inhibitory nieodwracalne** to substancje, które trwale (zwykle kowalencyjnie) wiążą się z enzymem, przez co powodują całkowitą utratę jego zdolności katalitycznych.

► **Inhibitory odwracalne** to substancje, które nietrwale (odwracalnie) łączą się z enzymem, przez co hamują jego aktywność tylko wtedy, gdy istnieje kompleks enzym–inhibitor. Do inhibitorów odwracalnych należą:

- **inhibitory kompetycyjne** (współzawodnicze) – mają strukturę przestrzenną podobną do struktury przestrzennej substratu, dlatego współzawodniczą z substratem o centrum aktywne enzymu. Związanie inhibitora kompetycyjnego z enzymem blokuje centrum aktywne, co uniemożliwia przyłączenie substratu;
- **inhibitory niekompetycyjne** (niewspółzawodnicze) – mają strukturę przestrzenną

niepodobną do struktury przestrzennej substratu i łączą się z enzymem poza obszarem centrum aktywnego. Tym samym nie współzawodniczą z substratem o centrum aktywne, a także nie blokują tworzenia kompleksu enzym–substrat. Inhibitory niekompetycyjne mogą łączyć się zarówno z wolnym enzymem, jak i z kompleksem enzym–substrat. Enzym związany z inhibitorem niekompetycyjnym jest nieaktywny katalitycznie, niezależnie od tego, czy połączy się z substratem czy nie.

Podział inhibitorów ze względu na sposób inhibicji

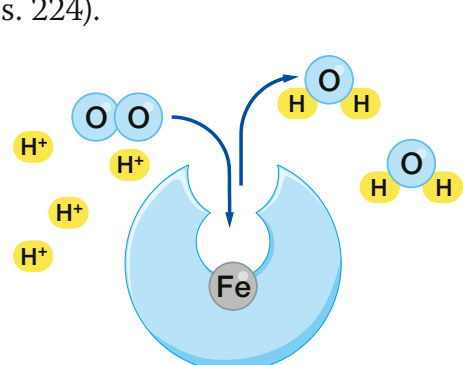


Inhibicja nieodwracalna

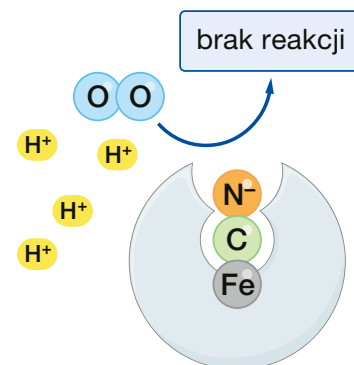
Inhibicja nieodwracalna polega na trwałym zahamowaniu aktywności enzymu. Do inhibitorów nieodwracalnych należą niektóre trucizny, np. cyjanowodór (HCN) i cyjanki (np. KCN).

Związki te hamują aktywność oksydazy cytochromowej – jednego z enzymów oddychania tlenowego (→ s. 224).

W skład oksydazy cytochromowej wchodzi dwie cząsteczki hemu – czerwonego barwnika zawierającego jon żelaza.



Hem oksydazy cytochromowej łączy się z substratem – tlenem cząsteczkowym. Dzięki temu powstaje produkt katalizowanej reakcji, czyli woda.



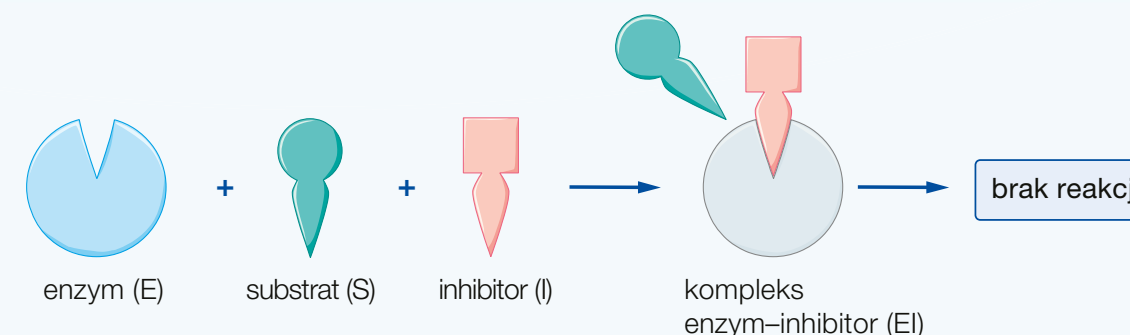
Cyjanowodór i cyjanki hamują działanie enzymu, ponieważ wiążą się z hemem oksydazy cytochromowej i uniemożliwiają przyłączenie tlenu.

Inhibicja odwracalna – kompetycyjna i niekompetycyjna

Inhibicja odwracalna polega na nietrwałym hamowaniu aktywności enzymu.

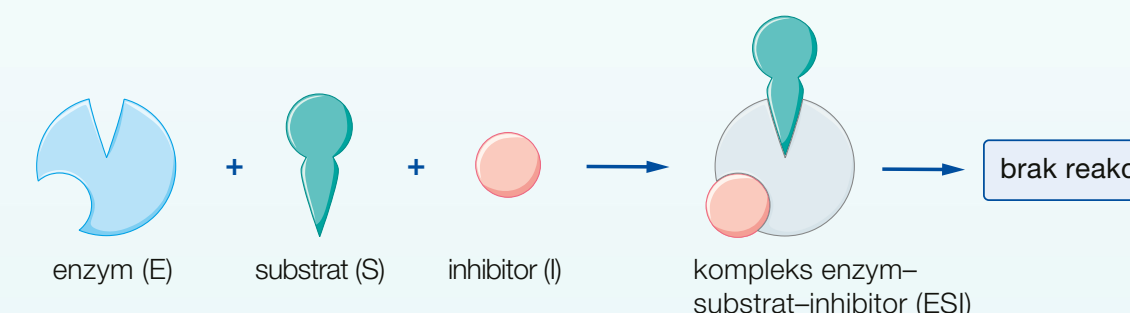
Inhibicja kompetycyjna

W inhibicji kompetycyjnej (współzawodniczej) inhibitor i substrat konkurują o centrum aktywne enzymu.



Inhibicja niekompetycyjna

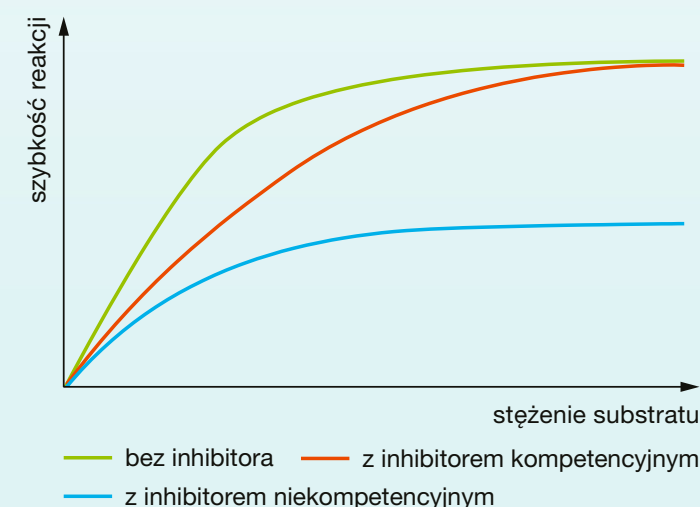
W inhibicji niekompetycyjnej (niewspółzawodniczej) inhibitor i substrat nie konkurują o centrum aktywne enzymu, ponieważ inhibitor wiąże się z enzymem poza obszarem centrum aktywnego.



Jak można ograniczyć inhibicję odwracalną?

Inhibicję kompetycyjną można ograniczyć przez zwiększenie stężenia substratu w środowisku reakcji. W takich warunkach substrat wygrywa z inhibitorem konkurencję o centrum aktywne enzymu.

Inhibicję niekompetycyjną można ograniczyć jedynie przez usunięcie inhibitora ze środowiska reakcji.



Wpływ stężenia substratu na szybkość reakcji enzymatycznej przebiegającej bez udziału inhibitora oraz z udziałem odwracalnych inhibitorów.

Regulacja aktywności enzymów przez odwracalne modyfikacje kowalencyjne

Zmiany aktywności enzymów mogą być rezultatem przyłączania bądź odłączania różnych grup funkcyjnych. Najczęstszymi modyfikacjami kowalencyjnymi są:

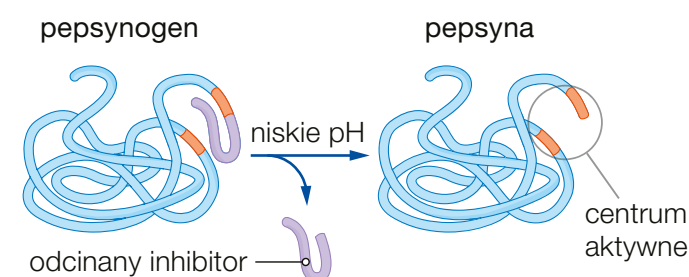
- **fosforylacja**, czyli przyłączenie reszty fosforanowej(V) do cząsteczki enzymu; reakcję tę katalizują kinazy,
- **defosforylacja**, czyli odłączenie reszty fosforanowej(V) od cząsteczki enzymu; reakcję tę katalizują fosfatazy.

Część enzymów wykazuje większą aktywność w formie ufosforylowanej, a część – w formie nieufosforylowanej.

Regulacja aktywności enzymów przez proteolizę

Niektóre enzymy proteolityczne są wytwarzane w postaci nieaktywnych **proenzymów**

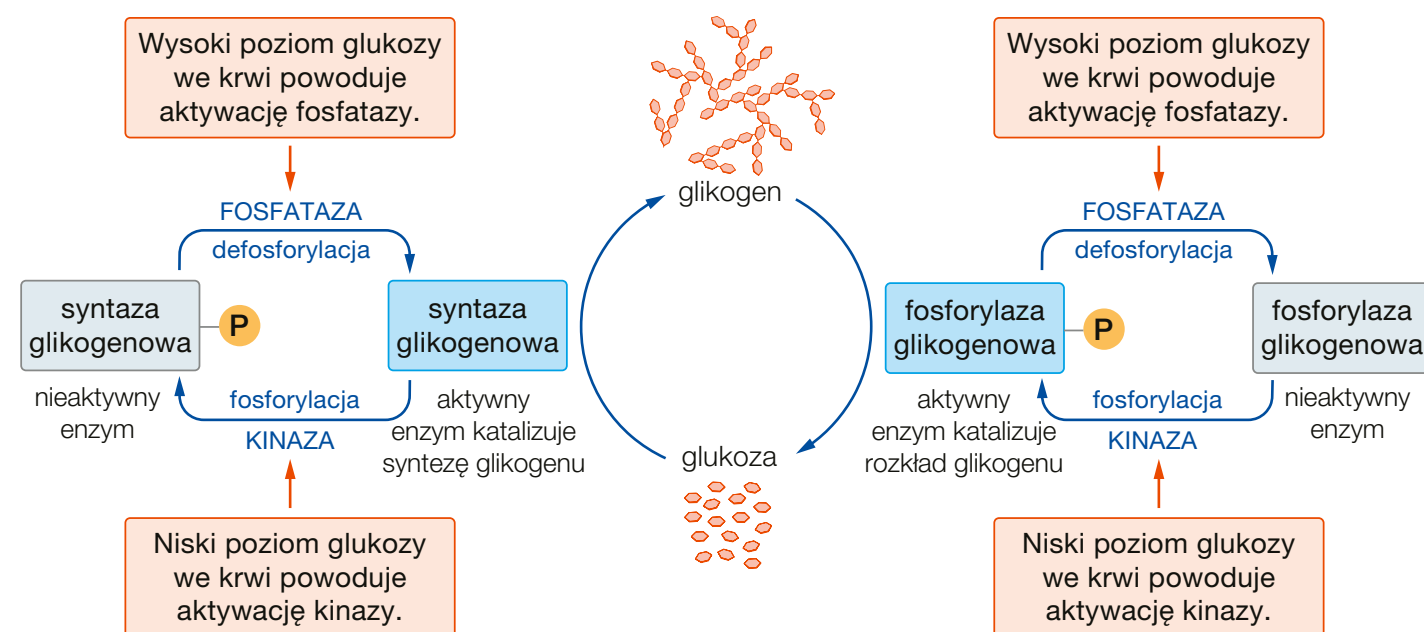
(zymogenów). Taki sposób wytwarzania enzymów zabezpiecza komórki ciała przed samostawieniem. Aktywacja proenzymów odbywa się w miejscu ich działania, głównie w świetle przewodu pokarmowego. Mechanizm aktywacji polega na proteolizie (odcinaniu) inhibitora, który jest niewielkim fragmentem proenzymu. Proteoliza powoduje zmiany strukturalne prowadzące do odsłonięcia centrum aktywnego. Aktywacja proenzymów jest jednorazowa i nieodwracalna.



Aktywacja pepsynogenu do pepsyny (enzymu proteolitycznego soku żołądkowego).

Fosforylacja i defosforylacja enzymów w regulacji metabolizmu glikogenu wątrobowego

Glikogen jest materiałem zapasowym zwierząt oraz grzybów (→ s. 53). W jego syntezie bierze udział syntaza glikogenowa, natomiast w rozkładzie – fosforylaza glikogenowa. Aktywność obu enzymów jest regulowana przez fosforylację i defosforylację, przy czym syntaza glikogenowa jest aktywna w formie nieufosforylowanej, a fosforylaza glikogenowa – w formie ufosforylowanej.



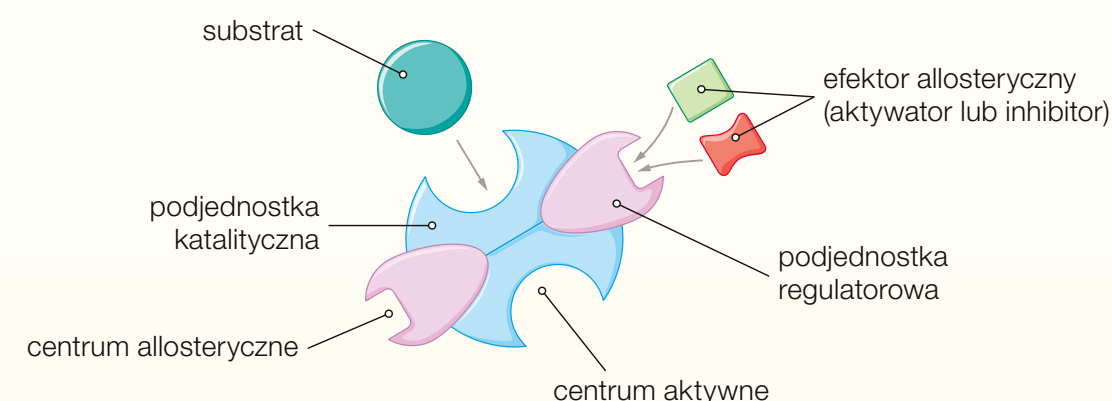
Uproszczony schemat regulacji syntezy i rozkładu glikogenu w zależności od poziomu glukozy we krwi.

Dowiedz się więcej

Regulacja allosteryczna

Enzymy allosteryczne są regulowane za pomocą efektorów allosterycznych (aktywatorów i inhibitorów), które wiążą się z białkiem enzymatycznym w tzw. centrach allosterycznych, znajdujących się poza obszarem centrum aktywnego. Większość enzymów allosterycznych to białka zbudowane z kilku podjednostek (→ s. 67). Podjednostki katalityczne zawierają centra aktywne, a podjednostki regulatorowe – centra allosteryczne. Związanie efektora w centrum allosterycznym prowadzi do zmiany kształtu centrum aktywnego i wzrostu lub spadku aktywności enzymu. Taki rodzaj regulacji aktywności enzymów nosi nazwę regulacji allosterycznej.

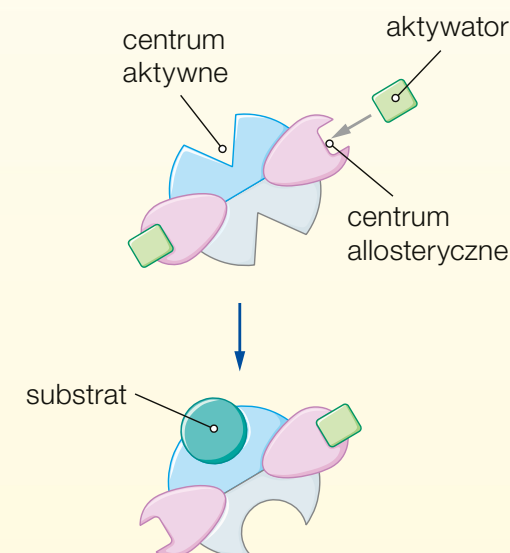
Budowa enzymu allosterycznego



Rodzaje regulacji allosterycznej

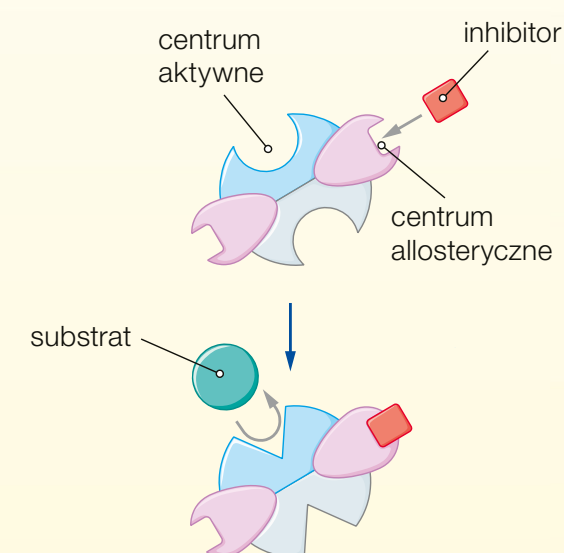
Wyróżnia się dwa rodzaje regulacji allosterycznej: aktywację allosteryczną i inhibicję allosteryczną.

Aktywacja allosteryczna



Związanie **aktywatora** w centrum allosterycznym enzymu powoduje zmianę kształtu centrum aktywnego. W efekcie substrat **pasuje** przestrzennie do centrum aktywnego.

Inhibicja allosteryczna



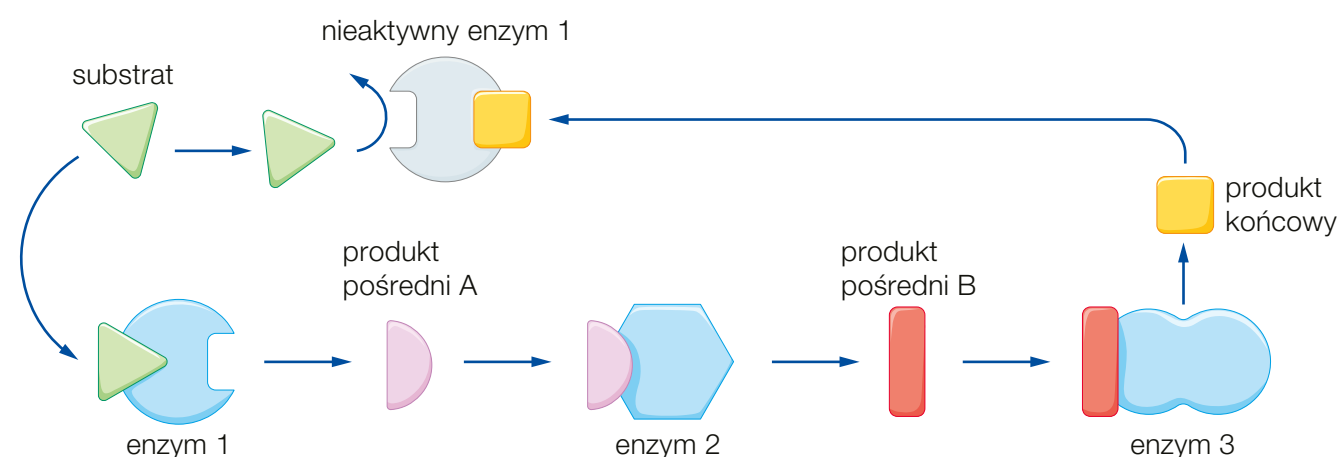
Związanie **inhibitora** w centrum allosterycznym enzymu powoduje zmianę kształtu centrum aktywnego. W efekcie substrat **nie pasuje** przestrzennie do centrum aktywnego.

Regulacja aktywności enzymów przez ujemne sprzężenie zwrotne

Szlaki i cykle metaboliczne to ciągi reakcji chemicznych katalizowanych przez odpowiednie enzymy. Powszechnym mechanizmem regulacji szlaków i cykli metabolicznych jest regulacja allosteryczna na zasadzie **ujemnego sprzężenia zwrotnego**. Polega ona na hamowaniu

aktywności enzymu katalizującego pierwszą reakcję ciągu przez ostateczny produkt tego ciągu (występujący w nadmiarze). Ostateczny produkt ciągu jest w tym przypadku inhibitorem allosterycznym.

Ujemne sprzężenie zwrotne zapobiega wytwarzaniu zbyt dużej ilości związków chemicznych w komórkach organizmu.



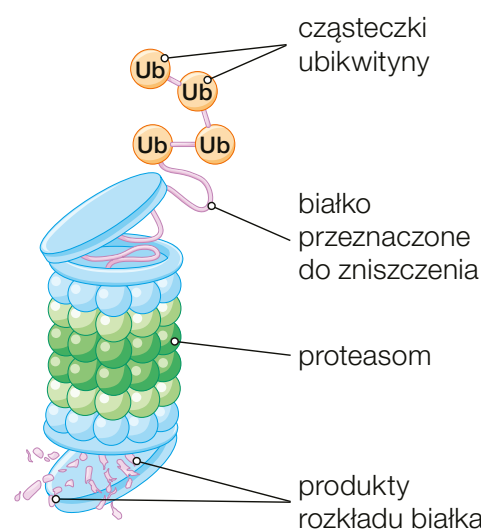
Mechanizm ujemnego sprzężenia zwrotnego.

Regulacja ilości enzymów

Ilość enzymów w komórkach i płynach ustrojowych organizmów jest regulowana przez:

- ▶ włączanie lub wyłączanie ekspresji genów kodujących białka enzymatyczne pod wpływem sygnałów docierających z otoczenia,
- ▶ degradację (niszczenie) białek enzymatycznych w kompleksach enzymatycznych, zwanych proteasomami.

Niszczenie białek w proteasomach nosi nazwę ubikwitynozależnej degradacji białek. Białko przeznaczone do degradacji jest znakowane cząsteczkami innego białka – ubikwityny – a następnie kierowane do proteasomu i rozkładane przez enzymy proteolityczne.



Dowiedz się więcej

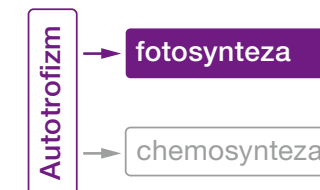
Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij, dlaczego wzrost stężenia substratu przy stałym stężeniu enzymu zwiększa szybkość reakcji enzymatycznej tylko do pewnego poziomu, oznaczanego symbolem V_{max} .
2. Podaj różnicę między inhibicją kompetycyjną a inhibicją niekompetycyjną.
3. Wyjaśnij, dlaczego enzymy proteolityczne przewodu pokarmowego są wytwarzane w postaci nieaktywnych proenzymów.

4.4. Autotroficzne odżywianie się organizmów – fotosynteza

Ważne w tym temacie!

- związek budowy chloroplastu z przebiegiem procesu fotosyntezy
- rola barwników i fotosystemów w procesie fotosyntezy
- przebieg fazy zależnej od światła oraz fazy niezależnej od światła
- ✂ • przebieg fosforylacji cyklicznej oraz fosforylacji niecyklicznej
- mechanizm powstawania ATP w chloroplastie



Odżywianie się jest jedną z głównych czynności życiowych, dzięki której organizmy uzyskują związki organiczne (związki pokarmowe). Część tych związków jest wykorzystywana do budowy ciała, a część stanowi źródło energii potrzebnej do jego funkcjonowania.

Organizmy odżywiają się na dwa podstawowe sposoby:

- ▶ autotroficznie (samożywnie),
- ▶ heterotroficznie (cudzożywnie).

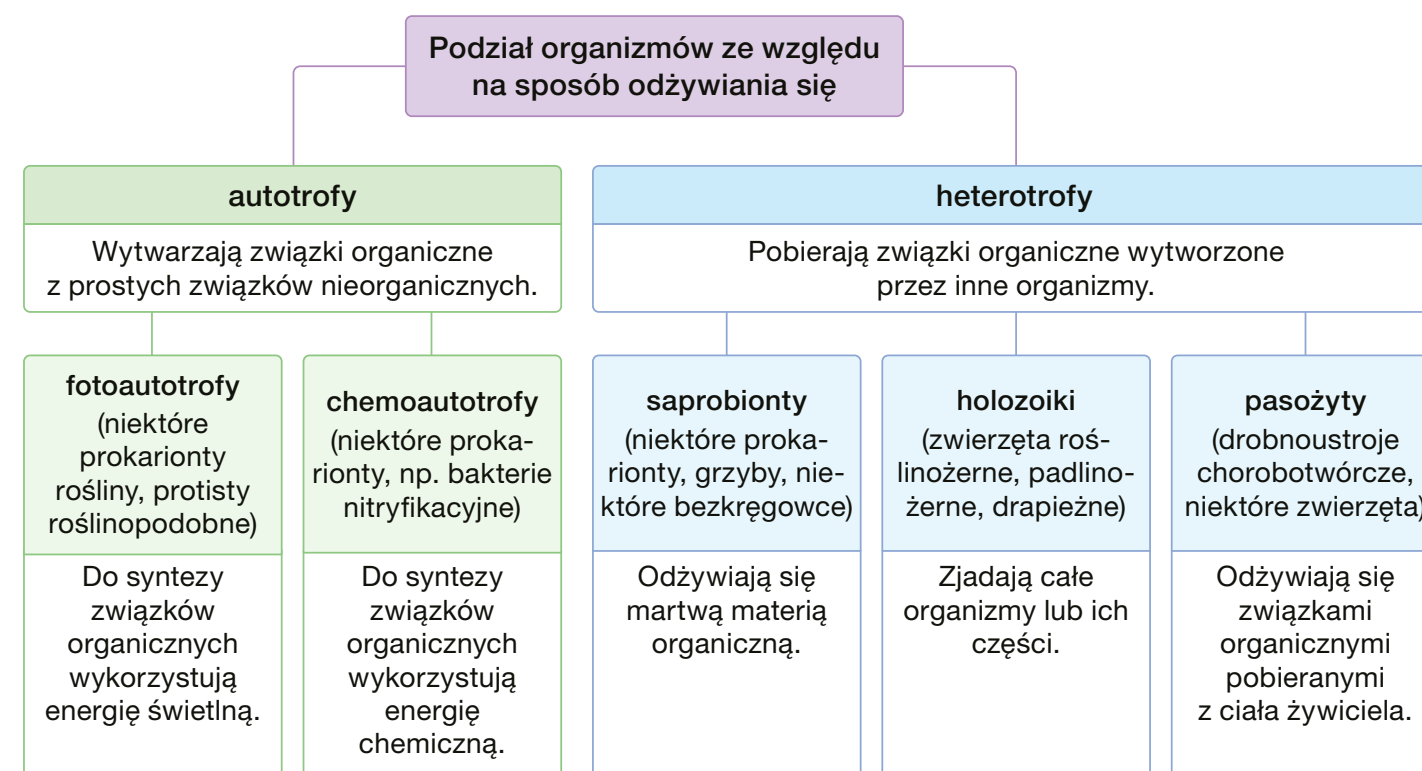
Odżywianie autotroficzne (autotrofizm) polega na wytwarzaniu związków organicznych z prostych związków nieorganicznych. Podstawowym substratem wykorzystywanym w tym procesie jest dwutlenek węgla. Atomy

węgla pochodzące z dwutlenku węgla służą do budowy szkieletów węglowych związków organicznych.

Synteza związków organicznych z prostych związków nieorganicznych jest procesem anabolicznym, wymagającym dostarczania energii. W zależności od źródła energii wyróżnia się dwa rodzaje autotrofizmu:

- ▶ **fotosyntezę**, w której jest wykorzystywana energia świetlna,
- ▶ **chemosyntezę**, w której jest wykorzystywana energia chemiczna.

Odżywianie heterotroficzne (heterotrofizm) polega na pobieraniu związków organicznych wytworzonych przez inne organizmy.



Fotosynteza

Fotosynteza polega na wytwarzaniu związków organicznych z prostych związków nieorganicznych z udziałem energii świetlnej. Proces ten składa się z dwóch faz:

- **fazy zależnej od światła** (jasnej, świetlnej), podczas której jest wytwarzana siła asymilacyjna – **ATP i NADPH + H⁺** – potrzebna do asymilacji CO₂. Źródłem elektronów i protonów wykorzystywanych do wytwarzania siły asymilacyjnej jest woda lub inny prosty związek nieorganiczny (→ s. 178–179);
- **fazy niezależnej od światła** (ciemnej), która polega na **asymilacji CO₂**, czyli jego redukcji do związków organicznych. Związki organiczne, które powstają w wyniku fotosyntezy, określa się mianem **asymilatów**.

Rodzaje fotosyntezy

Organizmy fotoautotroficzne (organizmy fotosyntetyzujące) zasiedlają zarówno środowiska

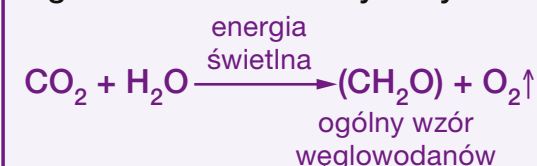
tlenowe, jak i środowiska beztlenowe. Z powodu m.in. zróżnicowanej tolerancji na tlen fotosynteza odbywa się u nich w odmienny sposób – z uwolnieniem tlenu (fotosynteza oksygeniczna) lub bez uwolnienia tlenu (fotosynteza anoksygeniczna).

- **Fotosynteza oksygeniczna** zachodzi u organizmów zasiedlających środowiska tlenowe – roślin, protistów roślinopodobnych oraz niektórych prokariotów, np. sinic. Przebiega ona z uwolnieniem tlenu, ponieważ dawcą elektronów i protonów niezbędnych do wytworzenia siły asymilacyjnej jest woda.
- **Fotosynteza anoksygeniczna** zachodzi u niektórych prokariotów zasiedlających środowiska beztlenowe, m.in. bakterii zielonych i bakterii purpurowych. Przebiega ona bez uwolnienia tlenu, ponieważ dawcą elektronów i protonów niezbędnych do wytworzenia siły asymilacyjnej jest prosty związek nieorganiczny inny niż woda, np. siarkowodór.

Fotosynteza u roślin

U roślin występuje fotosynteza oksygeniczna, czyli fotosynteza przebiegająca z uwolnieniem tlenu. Polega ona na wytwarzaniu związków organicznych (węglowodanów) z prostych związków nieorganicznych (dwutlenku węgla i wody) z udziałem energii świetlnej. Związki organiczne wytworzone w procesie fotosyntezy są wykorzystywane do budowy komórek roślinnych oraz jako źródło energii potrzebnej do ich funkcjonowania. Tlen jest ubocznym produktem fotosyntezy. Część uwolnionego tlenu zostaje zużyta do oddychania rośliny, a pozostała część jest usuwana do atmosfery.

Ogólne równanie fotosyntezy:



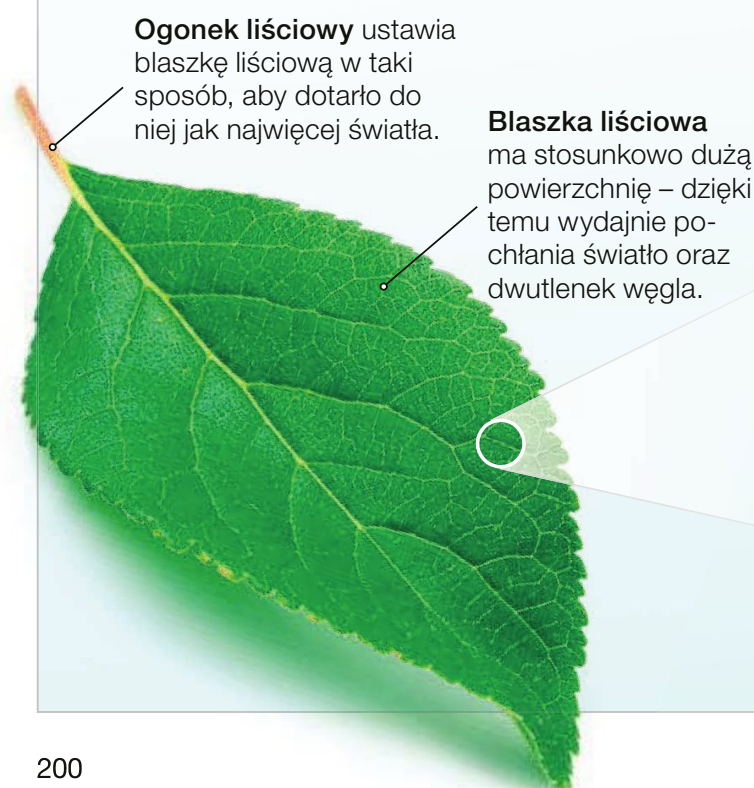
Fotosynteza u roślin zachodzi głównie w liściach – organach przystosowanych do przeprowadzania tego procesu. Wnętrze liści jest prawie w całości wypełnione miękiszem asymilacyjnym (miękiszem zieleniowym). Komórki miękiszu asymilacyjnego zawierają liczne chloroplasty, w których odbywają się ciągłe reakcje chemiczne składające się na proces fotosyntezy.

- W **tylakoidach** chloroplastów zachodzi faza zależna od światła. Uczestniczą w niej m.in.:
 - barwniki fotosyntetyczne,
 - przenośniki elektronów,
 - syntaza ATP.
- W **stromie** chloroplastów zachodzi faza niezależna od światła – cykl Calvin–Bensona [wym. kalwina bensona], nazywany w skrócie cyklem Calvin. W cyklu Calvin–Bensona uczestniczą liczne enzymy, które katalizują jego kolejne etapy.

Przystosowania w budowie roślin do przeprowadzania fotosyntezy

Fotosynteza u roślin zachodzi głównie w liściach – organach przystosowanych do przeprowadzania tego procesu.

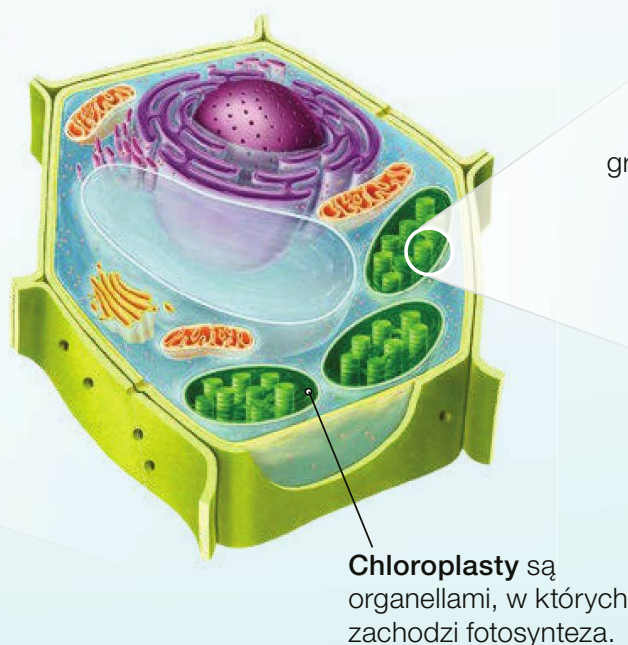
Liść – budowa morfologiczna



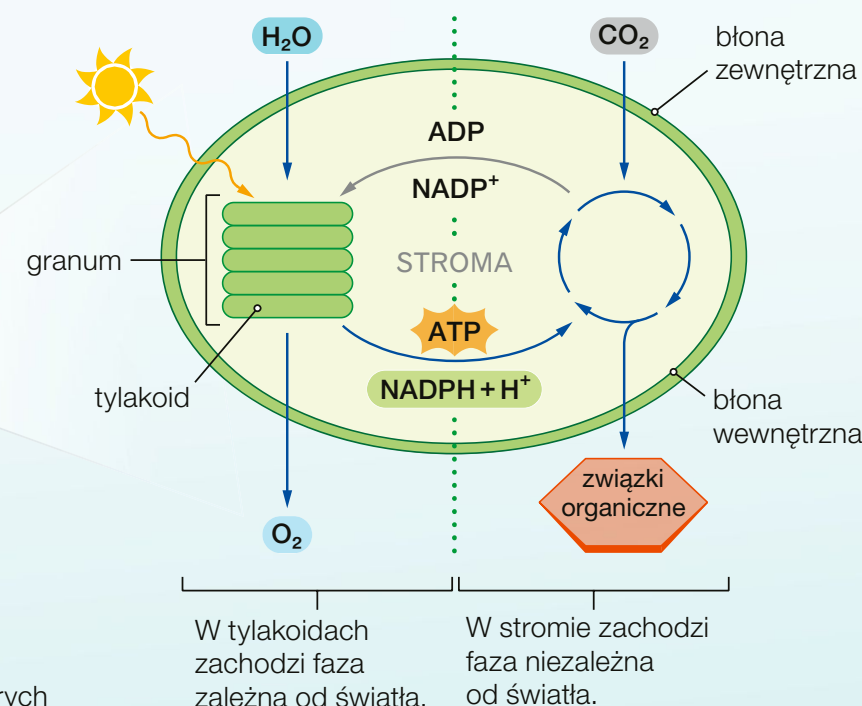
Liść – budowa anatomiczna



Komórka miękiszu asymilacyjnego



Chloroplast



Barwniki fotosyntetyczne

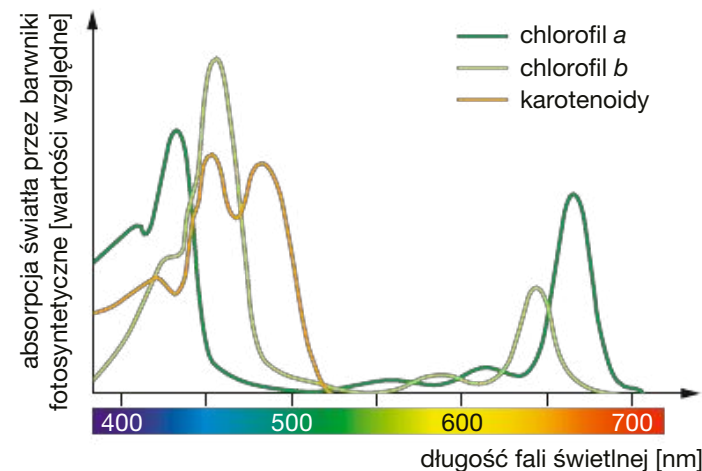
Barwniki fotosyntetyczne (asymilacyjne) to związki organiczne, które mają zdolność pochłaniania (absorpcji) fal światła widzialnego o określonej długości. Są one zlokalizowane w błonach tylakoidów.

Wyróżnia się dwa podstawowe rodzaje barwników fotosyntetycznych:

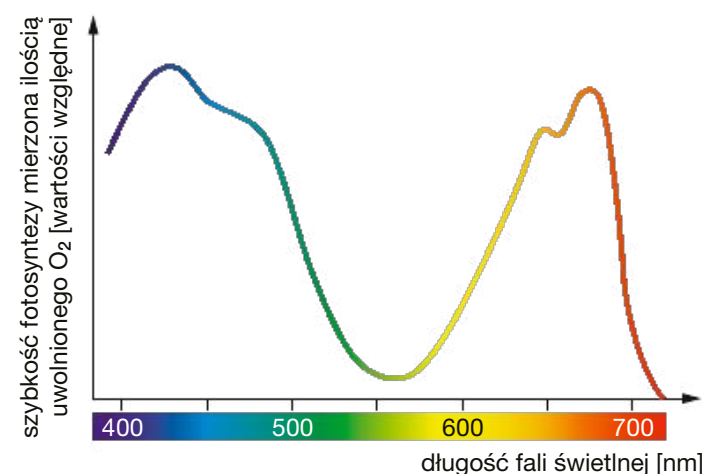
► **chlorofile** – u roślin występują przede wszystkim chlorofil *a* i *b*. Mają one zieloną barwę i pochłaniają **światło niebieskie oraz czerwone**. Chlorofile są nazywane barwnikami głównymi, ponieważ pochłonięta przez nie energia zapoczątkowuje przemiany fazy zależnej od światła;

► **karotenoidy** – u roślin występują głównie karoteny oraz ksantofile. Mają one barwę czerwoną, pomarańczową lub żółtą i pochłaniają **światło niebieskozielone**. Karotenoidy są nazywane barwnikami pomocniczymi, ponieważ pobraną energię przekazują chlorofilom.

Zakres długości fal świetlnych pochłanianych przez dany barwnik nosi nazwę **widma absorpcyjnego**. Z kolei **widmo czynnościowe fotosyntezy** odzwierciedla związek między długością fal świetlnych absorbowanych przez ogół barwników fotosyntetycznych a szybkością fotosyntezy.



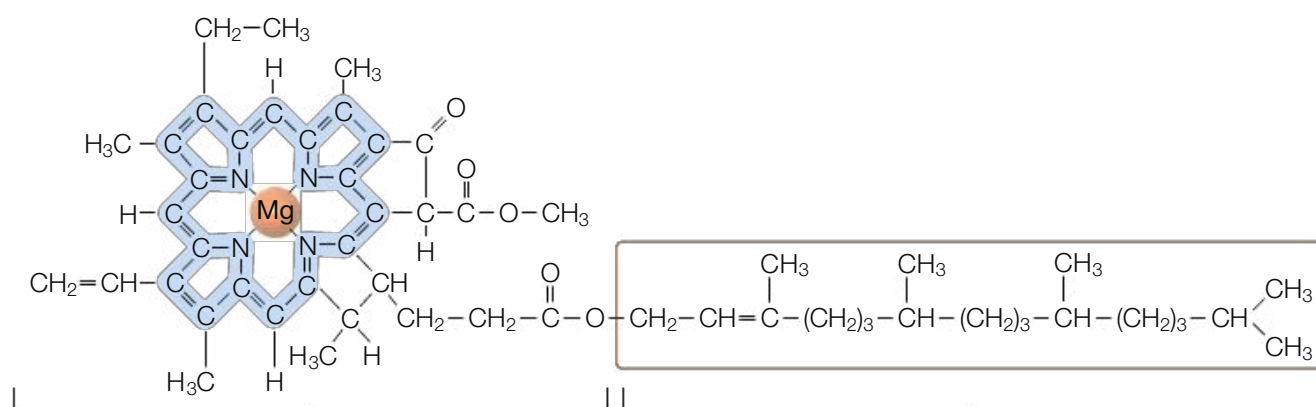
Widmo absorpcyjne chlorofilu a i b oraz karotenoidów. Chlorofile pochłaniają światło niebieskie i czerwone, a odbijają światło zielone – to dlatego rośliny mają zieloną barwę.



Widmo czynnościowe fotosyntezy u roślin. Fotosynteza zachodzi najszybciej w świetle niebieskim oraz w świetle czerwonym.

Budowa chlorofilu

W skład cząsteczki chlorofilu wchodzi hydrofilowy pierścień porfirynowy z centralnie położonym atomem magnezu oraz hydrofobowy łańcuch alkoholu – fitolu.



Część pierścienia porfirynowego, którą oznaczono kolorem niebieskim, pochłania światło.

Łańcuch fitolu umocowuje cząsteczkę chlorofilu w błonie tylakoidu.

Budowa cząsteczki chlorofilu a.

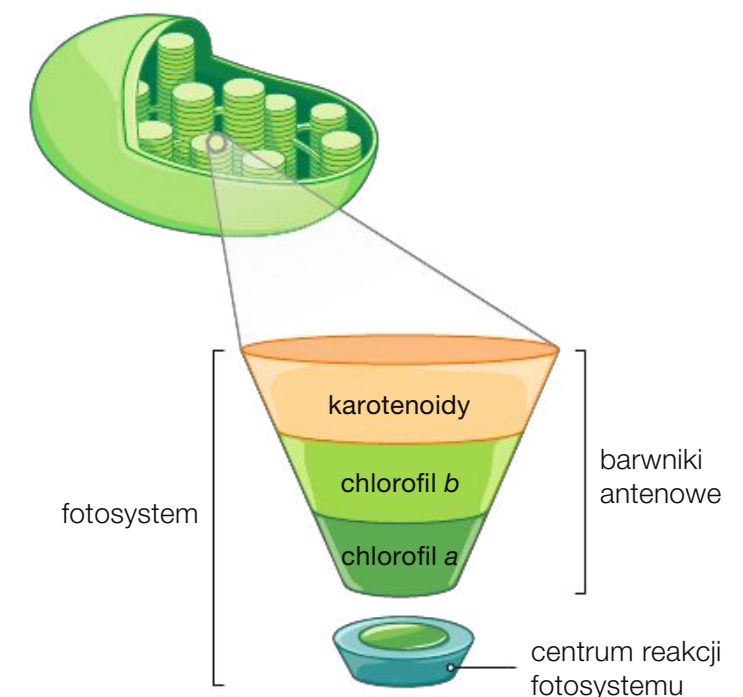
Fotosystemy

Cząsteczki barwników fotosyntetycznych wraz z lipidami i białkami tworzą w błonach tylakoidów kompleksy zwane fotosystemami (fotoukładami). U roślin występują dwa typy fotosystemów: fotosystem I (PS I) i fotosystem II (PS II), które różnią się m.in. składem barwników oraz długością pochłanianych fal świetlnych.

Każdy fotosystem zawiera:

- **barwniki antenowe** – chlorofile *a* i *b* oraz karotenoidy,
- **centrum reakcji fotosystemu** – parę zmodyfikowanych cząsteczek chlorofilu *a*,
- **pierwotny akceptor elektronów**.

Ponadto w skład PS II wchodzi kompleks enzymatyczny, który przeprowadza **fotolizę wody**, czyli jej rozkład do elektronów, protonów i tlenu.



Budowa fotosystemu.

Jak działają fotosystemy?

W obrębie fotosystemów odbywa się przekształcenie energii świetlnej w energię elektronów.

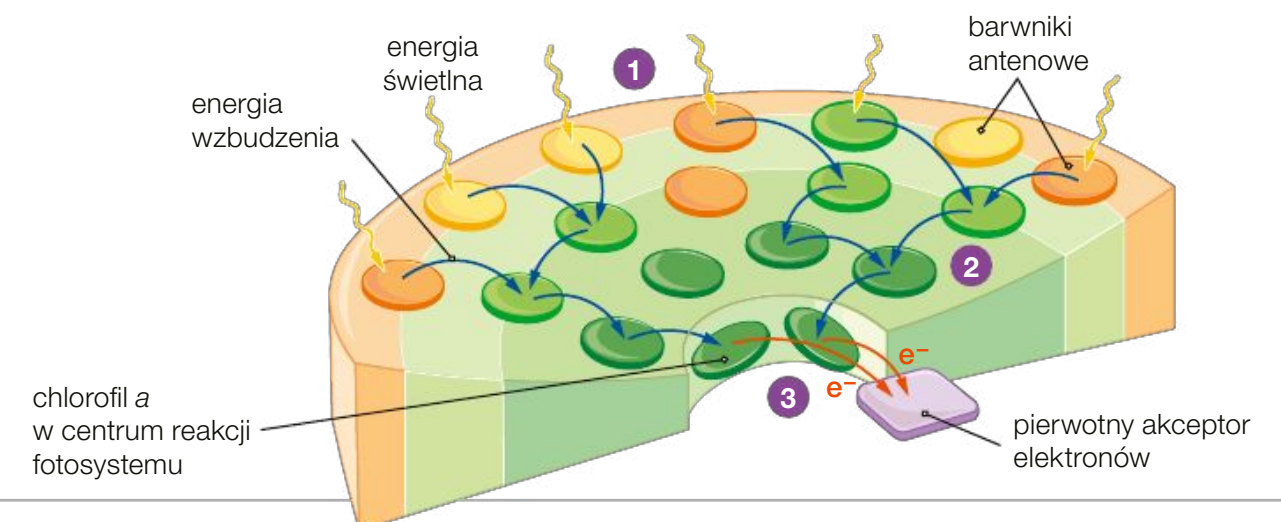
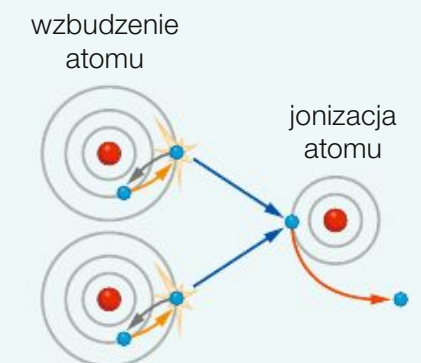
Procesy zachodzące w fotosystemach

- 1 Cząsteczki barwników antenowych pochłaniają energię świetlną i przechodzą ze stanu podstawowego w stan wzbudzony – czyli na wyższy poziom energetyczny.
- 2 Energia wzbudzenia zostaje przekazana na cząsteczki chlorofilu *a*, które tworzą centrum reakcji fotosystemu.
- 3 W efekcie dwie cząsteczki chlorofilu *a* przekazują dwa elektrony na pierwotny akceptor elektronów i stają się kationami chlorofilu *a*.

Wzbudzenie i jonizacja atomu

Wzbudzenie atomu – przejście elektronu na wyższą powłokę lub podpowłokę pod wpływem dostarczonej energii, np. energii świetlnej.

Jonizacja atomu – oderwanie elektronu od atomu pod wpływem dostarczonej energii, np. zsumowanej energii wzbudzeń. W wyniku jonizacji atom staje się kationem.



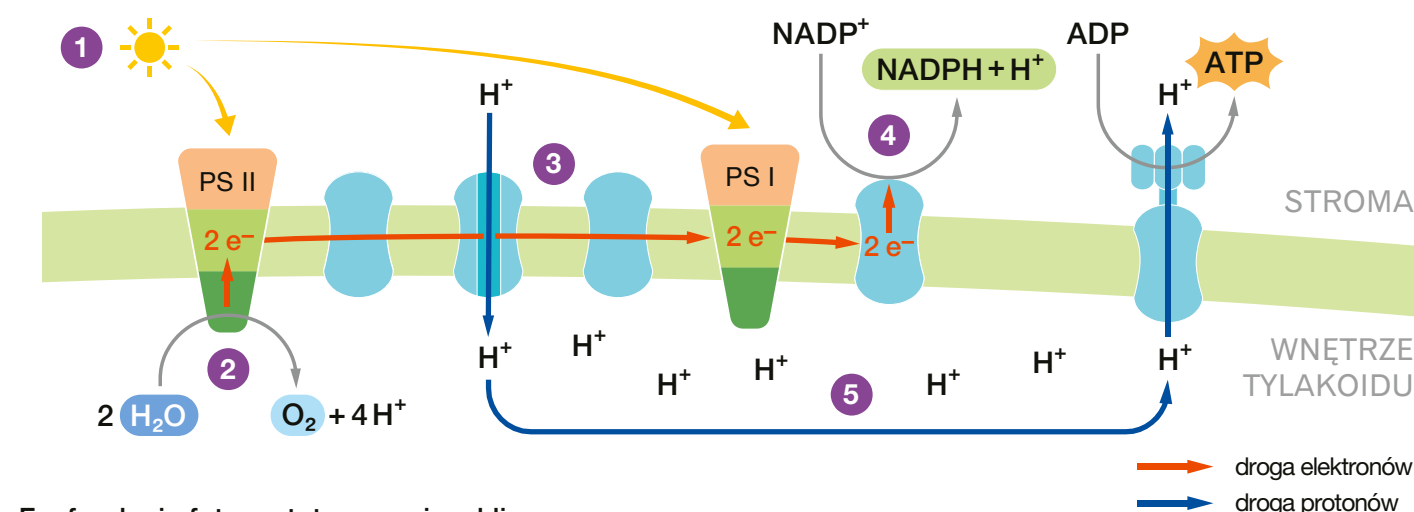
**Przebieg fazy zależnej od światła**

Faza zależna od światła polega na przemianie energii świetlnej w energię chemiczną magazynowaną w postaci siły asymilacyjnej. W trakcie tej fazy zachodzi wywołany światłem przepływ elektronów przez przenośniki elektronów zlokalizowane w błonach tylakoidów. Transport ten umożliwia powstanie gradientu protonowego w poprzek błony tylakoidu i fosforylację ADP z udziałem syntazy ATP. Taki rodzaj fosforylacji nosi nazwę **fosforylacji fotosyntetycznej**.

Fosforylacja fotosyntetyczna niecykliczna

Jest podstawowym sposobem fosforylacji. Odbywa się, gdy komórki roślinne zawierają dużo NADP^+ , a mało $\text{NADPH} + \text{H}^+$.

- 1 Częsteczki chlorofilu a w centrach reakcji PS II oraz PS I odbierają energię wzbudzenia od barwników antenowych i ulegają jonizacji – przekazują elektrony na pierwotne akceptory elektronów, stając się jednocześnie kationami chlorofilu a .
- 2 Kationy chlorofilu a w centrum reakcji PS II odrywają elektrony od cząsteczek wody obecnych w chloroplastie – w efekcie odtwarzają się cząsteczki chlorofilu a . W wyniku fotolizy wody powstają również protony oraz **tlen**.
- 3 Elektrony odebrane przez pierwotny akceptor elektronów w PS II przepływają przez łańcuch przenośników elektronów. Ich ostatecznym akceptorem są kationy chlorofilu a



Fosforylacja fotosyntetyczna niecykliczna.

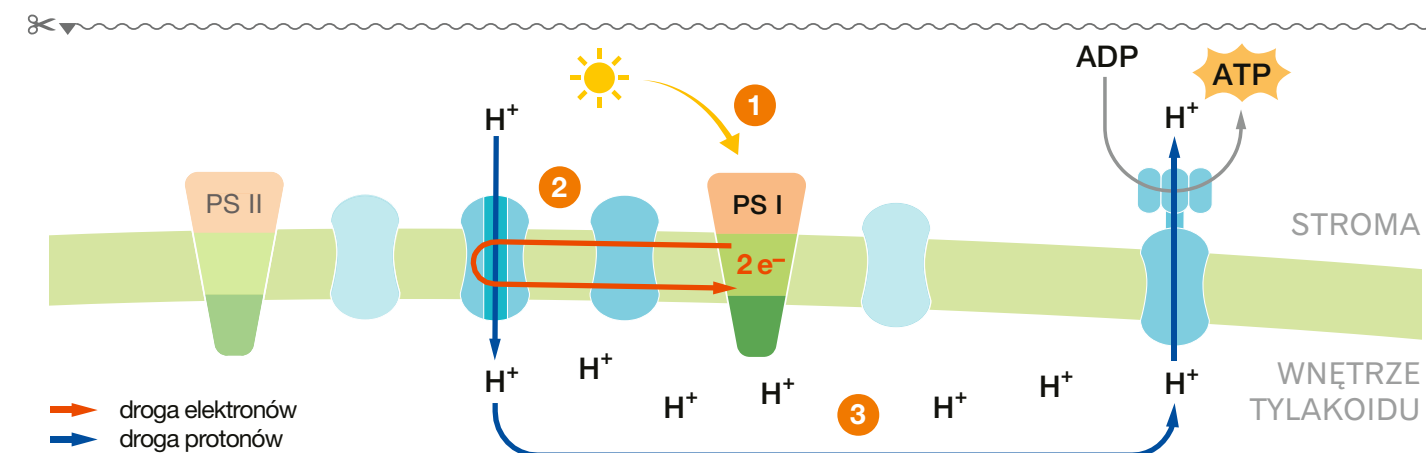
w centrum reakcji PS I – dzięki temu odtwarzają się cząsteczki chlorofilu a .

- 4 Elektrony odebrane przez pierwotny akceptor elektronów w PS I przepływają przez łańcuch przenośników elektronów. Ich ostatecznym akceptorem jest NADP^+ , który redukuje się do $\text{NADPH} + \text{H}^+$.
- 5 Pompa protonowa łańcucha transportu elektronów wytwarza gradient protonowy wykorzystywany przez syntazę ATP do syntezy ATP z ADP i P_i . Źródłem energii do działania pompy protonowej są elektrony przepływające przez błonę.

Fosforylacja fotosyntetyczna cykliczna

Występuje rzadko – gdy komórki roślinne zawierają dużo $\text{NADPH} + \text{H}^+$, a mało NADP^+ .

- 1 Częsteczki chlorofilu a w centrum reakcji PS I odbierają energię wzbudzenia od barwników antenowych i ulegają jonizacji – przekazują elektrony na pierwotny akceptor elektronów, stając się jednocześnie kationami chlorofilu a .
- 2 Elektrony odebrane przez pierwotny akceptor elektronów w PS I przepływają na łańcuch przenośników elektronów i wracają na PS I. W efekcie odtwarzają się cząsteczki chlorofilu a .
- 3 Pompa protonowa łańcucha transportu elektronów wytwarza gradient protonowy wykorzystywany przez syntazę ATP do syntezy ATP z ADP i P_i . ATP jest jedynym składnikiem siły asymilacyjnej.



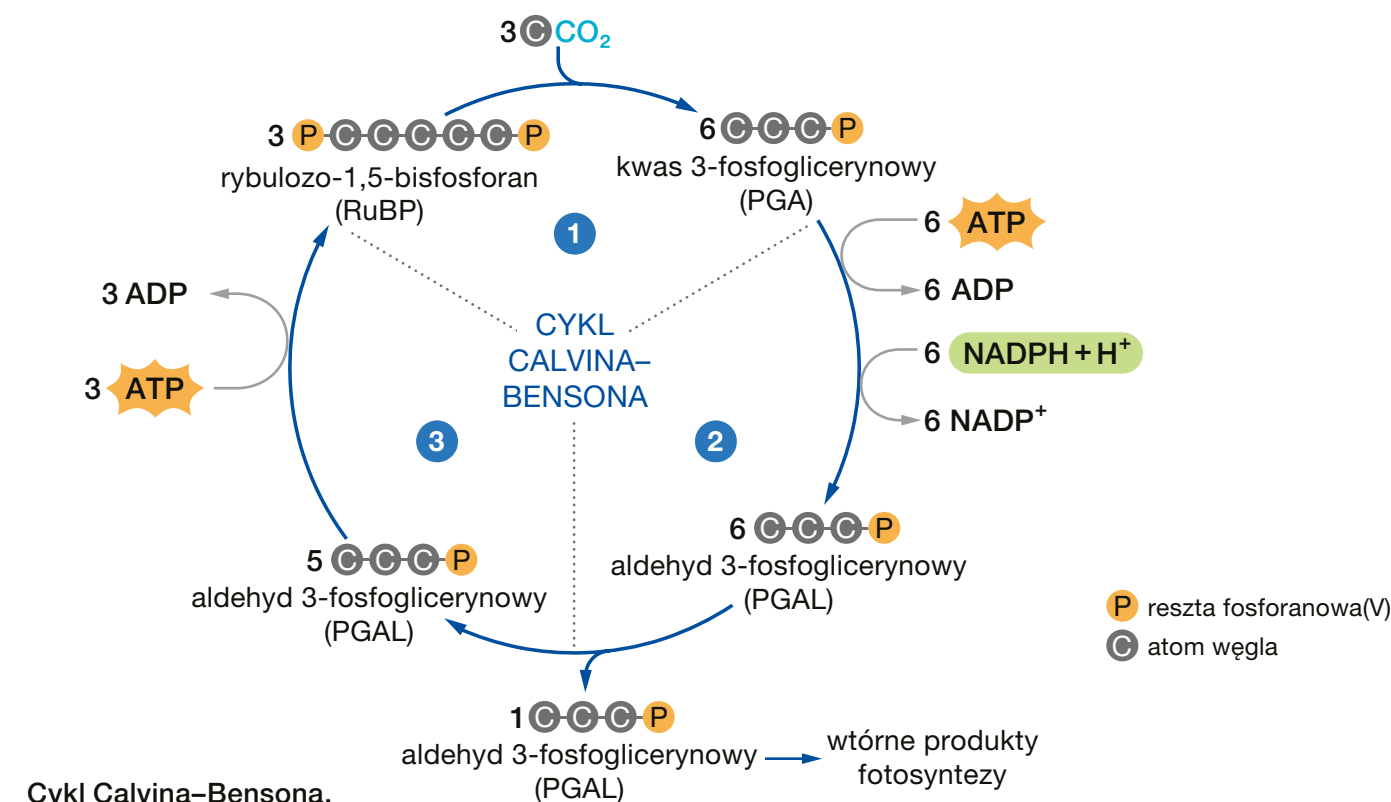
Fosforylacja fotosyntetyczna cykliczna.

Przebieg fazy niezależnej od światła

Faza niezależna od światła (cykl Calvina–Bensona) polega na wykorzystaniu siły asymilacyjnej do syntezy związków organicznych z dwutlenku węgla. Na cykl Calvina–Bensona składają się trzy etapy:

- 1 **karboksylacja**, czyli przyłączenie dwutlenku węgla do pięciowęglowego akceptora – rybulozo-1,5-bisfosforanu (RuBP). Etap ten katalizuje enzym karboksylaza rybulozo-1,5-bisfosforanu (rubisco). W wyniku karboksylacji RuBP powstaje niestabilny sześciowęglowy związek, który rozkłada się na dwie cząsteczki kwasu 3-fosfoglicerynowego (PGA);

- 2 **redukcja** kwasu 3-fosfoglicerynowego do aldehydu 3-fosfoglicerynowego (PGAL) za pomocą elektronów pochodzących z $\text{NADPH} + \text{H}^+$ z udziałem energii z rozkładu ATP. Jedna z sześciu wytworzonych cząsteczek aldehydu stanowi **pierwotny produkt fotosyntezy**, wykorzystywany do syntezy produktów wtórnych, czyli wszystkich związków organicznych niezbędnych roślinie;
- 3 **regeneracja**, która polega na odtworzeniu akceptora dwutlenku węgla. Substratem do syntezy rybulozo-1,5-bisfosforanu jest aldehyd 3-fosfoglicerynowy.



Cykl Calvina–Bensona.

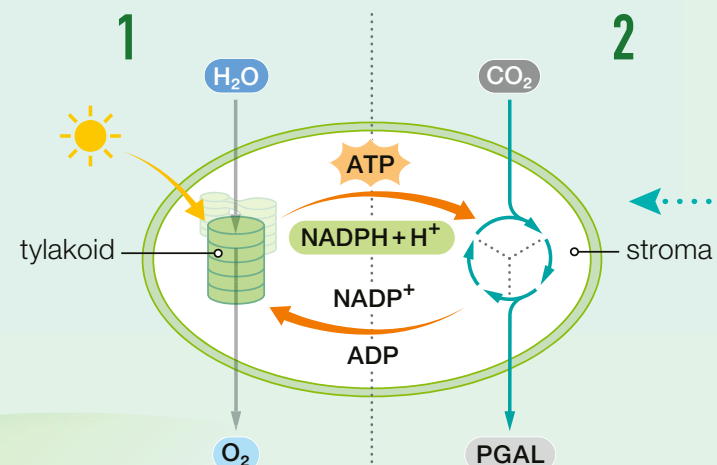


PRZEBIEG FOTOSYNTETY

W przebiegu fotosyntezy wyróżnia się dwie fazy: fazę zależną od światła oraz fazę niezależną od światła.

1 Faza zależna od światła

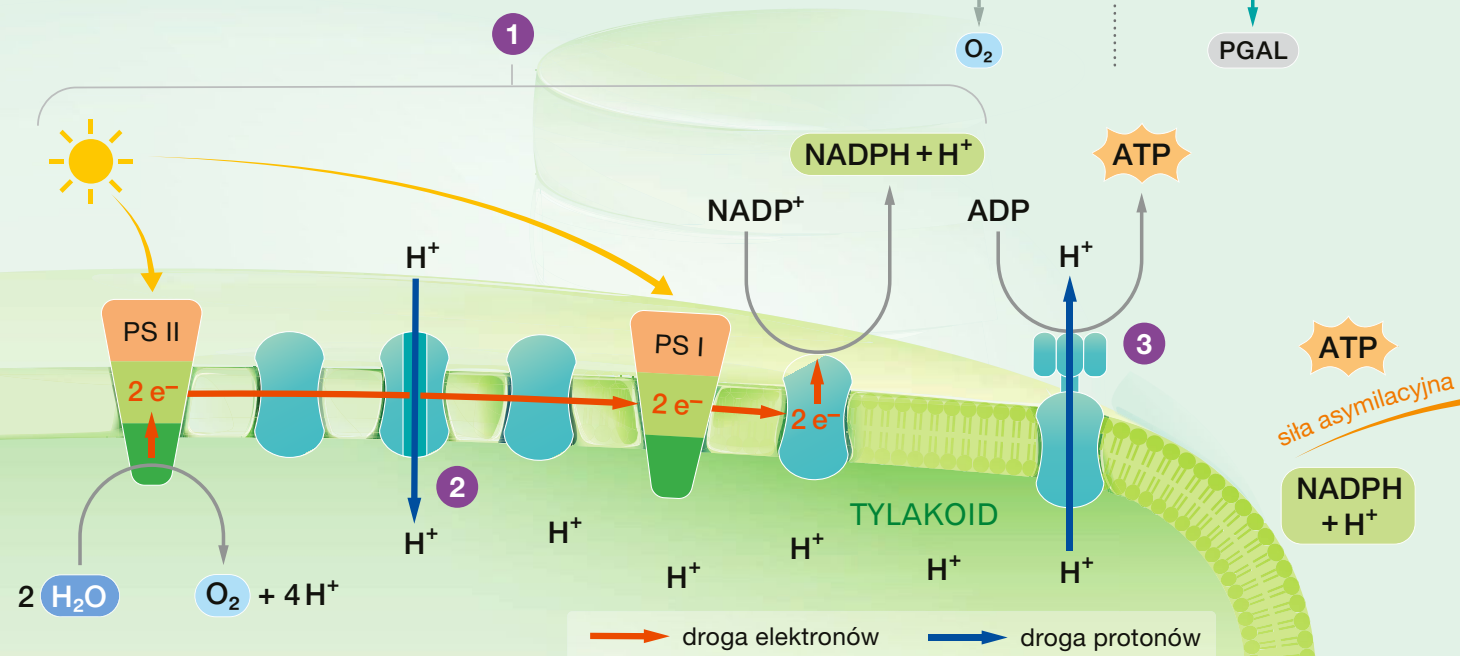
Faza zależna od światła prowadzi do wytworzenia siły asymilacyjnej (ATP i $\text{NADPH} + \text{H}^+$). U roślin głównym sposobem wytwarzania siły asymilacyjnej jest **fosforylacja fotosyntetyczna niecykliczna**.



CHLOROPLAST

2 Faza niezależna od światła

Faza niezależna od światła (cykl Calvina-Bensona) polega na wykorzystaniu siły asymilacyjnej do syntezy związków organicznych z dwutlenku węgla. Pierwotnym produktem cyklu Calvina-Bensona jest trójwęglowy cukier – aldehyd 3-fosfoglicynowy (PGAL).

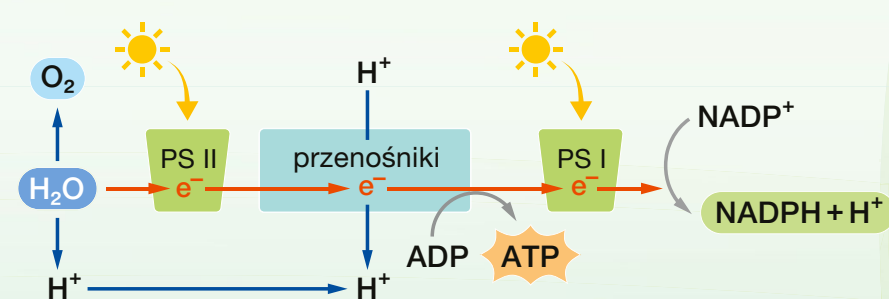


Główne etapy fosforylacji fotosyntetycznej niecyklicznej

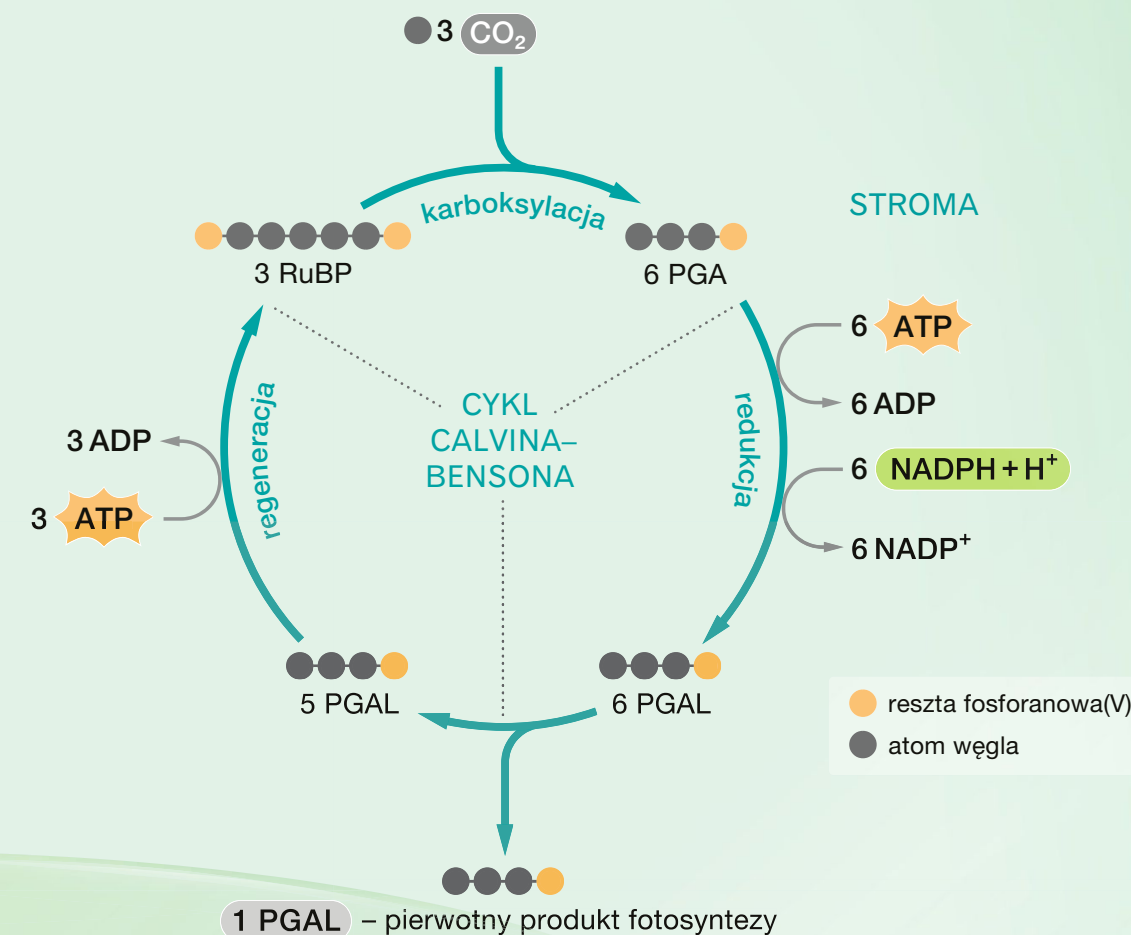
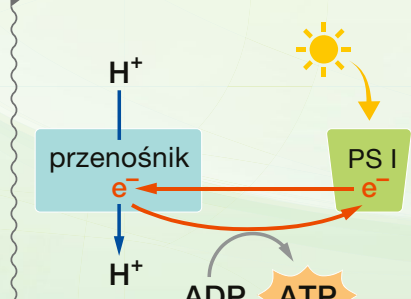
- 1 Elektrony pochodzące z fotolizy wody przepływają przez fotosystemy PS II i PS I oraz przenośniki elektronów na NADP^+ . Wskutek tego tworzy się $\text{NADPH} + \text{H}^+$.
- 2 Przepływowi elektronów towarzyszy pompowanie protonów ze stromy chloroplastu do wnętrza tylakoidu. Dzięki temu powstaje gradient protonowy.
- 3 Gradient protonowy jest wykorzystywany przez syntazę ATP do syntezy **ATP** z ADP i P_i .

Rodzaje fosforylacji fotosyntetycznej

Fosforylacja niecykliczna



Fosforylacja cykliczna



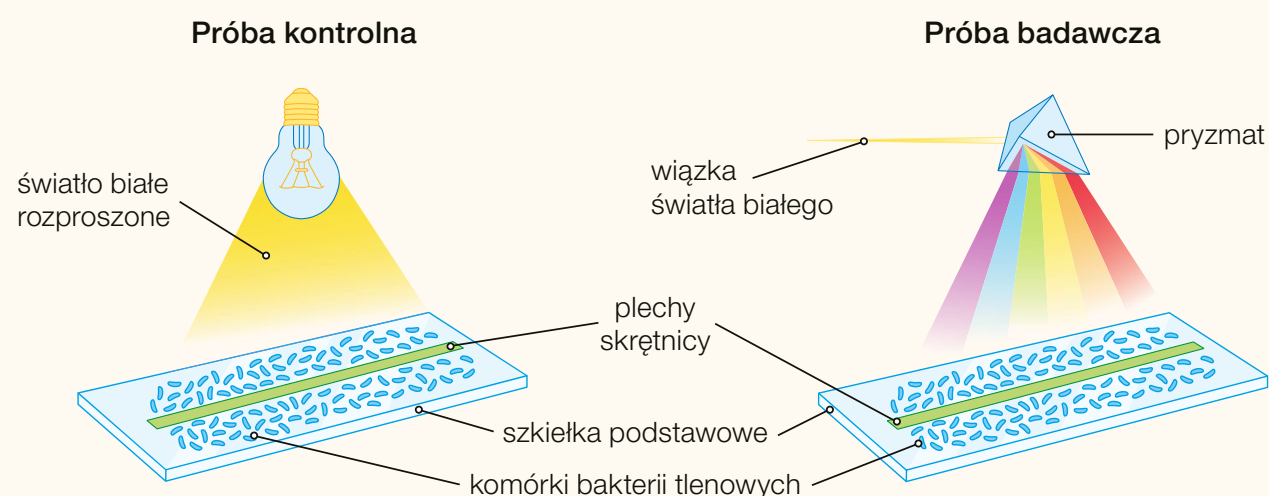
PGAL jest substratem do syntezy wszystkich pozostałych związków organicznych, które są potrzebne roślinie.

Podczas intensywnej fotosyntezy część PGAL zostaje przekształcana w chloroplastach w **skrobię asymilacyjną**. Skrobia ta jest wykorzystywana na potrzeby energetyczne komórek w godzinach nocnych.

Badanie wpływu barwy światła na intensywność fotosyntezy

W 1883 r. Theodor Wilhelm Engelmann [wym. teodor wilhelm engelman] przeprowadził doświadczenie dotyczące wpływu barwy światła na intensywność fotosyntezy. Obiektem jego badań była skrzętnica (*Spirogyra* sp.) należąca do zielenic – roślin pierwotnie wodnych. Roślina ta tworzy nitkowate plechy złożone z wielu jednakowych komórek. W komórkach skrzętnicy znajdują się długie, taśmowate, helikalnie skręcone chloroplasty.

- 1 Problem badawczy:** Czy intensywność fotosyntezy u skrzętnicy zależy od barwy światła?
- 2 Hipoteza badawcza:** Intensywność fotosyntezy u skrzętnicy zależy od barwy światła.
- 3 Przebieg doświadczenia:** Engelmann obserwował skrzętnicę 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 naświetlania obserwował zachowanie bakterii tlenowych.



- 4 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 światłem czerwonym.



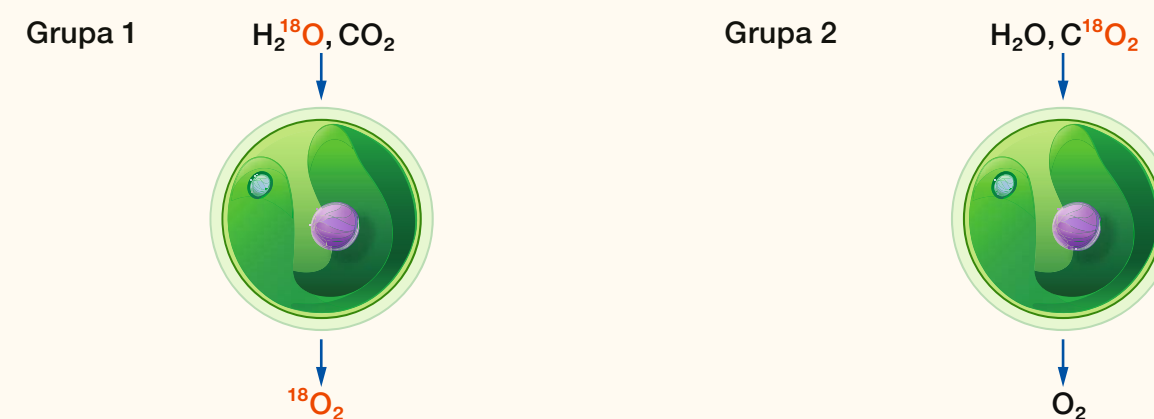
- 5 Wniosek:** Fotosynteza u skrzętnicy przebiega najintensywniej w świetle niebieskim i w świetle czerwonym. Świadczy o tym uwalnianie się dużej ilości tlenu – jednego z produktów fotosyntezy.

Wyjaśnienie: Wynik otrzymany przez Engelmana jest zgodny z widmem czynnościowym fotosyntezy u roślin (→ s. 202). Z analizy widma czynnościowego wynika, że fotosynteza zachodzi najszybciej w świetle niebieskim i w świetle czerwonym. W warunkach naświetlania tymi barwami światła ilość tlenu uwalnianego przez skrzętnicę jest największa.

Badanie źródła tlenu uwalnianego w procesie fotosyntezy

W 1941 r. Samuel Ruben i Martin Kamen przeprowadzili doświadczenie, dzięki któremu zidentyfikowali źródło tlenu uwalnianego w procesie fotosyntezy. Obiektem ich badań była chlorella (*Chlorella* sp.) należąca do zielenic – roślin pierwotnie wodnych.

- 1 Problem badawczy:** Który z substratów – woda czy dwutlenek węgla – jest źródłem tlenu uwalnianego w procesie fotosyntezy?
- 2 Hipoteza badawcza:** Źródłem tlenu uwalnianego w procesie fotosyntezy jest woda.
- 3 Przebieg doświadczenia:** Badacze zastosowali w doświadczeniu ciężki izotop tlenu (^{18}O), którym znakowali wodę (H_2^{18}O) oraz dwutlenek węgla (C^{18}O_2). Jedną grupę komórek chlorelli hodowali na podłożu zawierającym H_2^{18}O i CO_2 , a drugą – na podłożu zawierającym C^{18}O_2 i H_2O . Następnie w obu grupach badali, który izotop tlenu uwalnia się z komórek chlorelli.



- 4 Wynik doświadczenia:** Ciężki izotop tlenu uwolnił się tylko w grupie 1.
- 5 Wniosek:** Źródłem tlenu uwalnianego w procesie fotosyntezy jest woda.

Znaczenie fotosyntezy

Fotosynteza jest źródłem większości materii organicznej Ziemi oraz niemal całego tlenu obecnego w atmosferze. Związki organiczne wytworzone w procesie fotosyntezy są pokarmem zarówno fotoautotrofów, jak i heterotrofów. Na lądach głównymi producentami materii organicznej oraz tlenu są rośliny naczyniowe. W zbiornikach wodnych funkcję tę pełni przede wszystkim fitoplankton, czyli mikroskopijne fotosyntetyzujące organizmy, które dryfują swobodnie w toni wodnej.



Tlen wytwarzany przez fotoautotrofy uwalnia się do atmosfery. Korzystają z niego wszystkie organizmy oddychające tlenowo.

Polecenia kontrolne

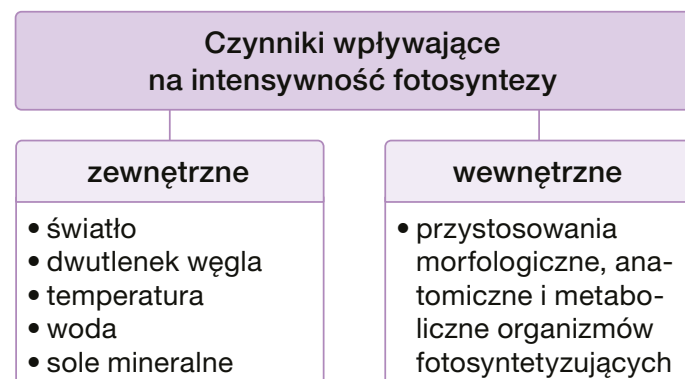
- Wyjaśnij, na czym polega różnica między autotrofizmem a heterotrofizmem.
- Skonstruuj tabelę, w której porównasz obie fazy fotosyntezy pod względem: znaczenia, substratów i produktów, miejsca zachodzenia.
- Podaj nazwę produktu fazy niezależnej od światła, który stanowi substrat do syntezy wszystkich pozostałych związków organicznych.

4.5. Czynniki wpływające na intensywność fotosyntezy

Ważne w tym temacie!

- wpływ czynników zewnętrznych i czynników wewnętrznych na przebieg fotosyntezy

Intensywność fotosyntezy zależy od czynników środowiska zewnętrznego oraz od budowy i przystosowań metabolicznych organizmów fotosyntetyzujących.



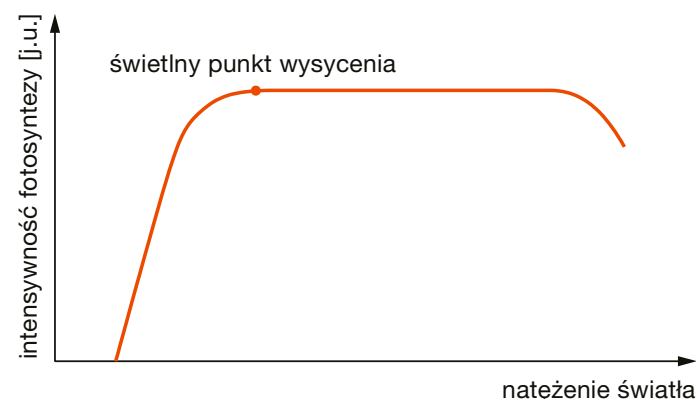
■ Czynniki zewnętrzne wpływające na intensywność fotosyntezy

Czynniki zewnętrzne wpływające na intensywność fotosyntezy to czynniki środowiska, które zmniejszają lub zwiększają tę intensywność.

Światło

Światło jest podstawowym czynnikiem umożliwiającym zachodzenie fazy zależnej od światła fotosyntezy, przy czym istotne znaczenie ma zarówno jego barwa, jak i natężenie. W słabym oświetleniu intensywność fotosyntezy rośnie wraz ze wzrostem natężenia światła. Gdy natężenie światła osiągnie określoną wartość (zależną od gatunku rośliny), jego wpływ na intensywność fotosyntezy staje się coraz mniejszy. Następnie intensywność fotosyntezy uzyskuje wartość maksymalną, nazywaną **światelnym punktem wysycenia**. Zwiększenie natężenia światła powyżej tej wartości powoduje zahamowanie wzrostu intensywności fotosyntezy, a następnie jej spadek. Przyczyniają się do tego dwa procesy:

- **fotooksydacja chlorofilu**, czyli wzbudzenie zbyt wielu cząsteczek chlorofilu, które sprawia, że barwnik ulega inaktywacji i przestaje spełniać swoją funkcję,
- **intensywna transpiracja**, która powoduje spadek turgoru, zamykanie aparatów szparkowych, a w efekcie – brak dopływu dwutlenku węgla, który jest substratem fotosyntezy.



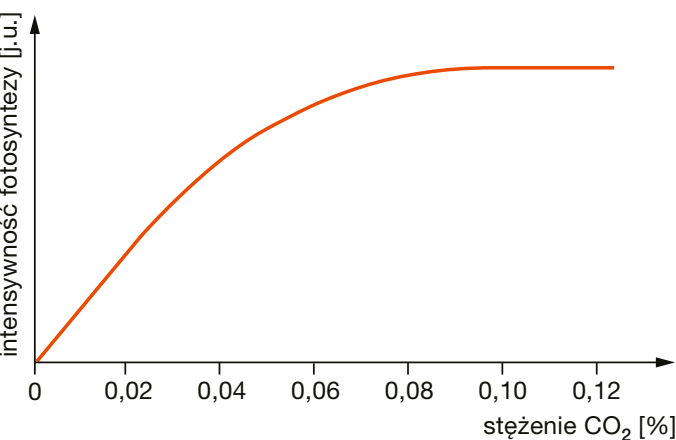
Zależność intensywności fotosyntezy od natężenia światła.

Światło wpływa na przebieg fotosyntezy również w sposób pośredni, ponieważ przyczynia się do rozwoju miększu asymilacyjnego liści, a także do powstawania chloroplastów i chlorofilu. Bez dostępu do światła siewki roślin przyjmują żółtą barwę, która pochodzi od etioplastów, czyli plastydów zawierających żółty barwnik – protochlorofilid. Gdy ilość światła jest wystarczająca, etioplasty przekształcają się w chloroplasty.

Dwutlenek węgla

Dwutlenek węgla jest jednym z substratów fotosyntezy wykorzystywanych w fazie niezależnej od światła. Rośliny lądowe pobierają go w postaci gazowej (CO_2), a rośliny wodne – w formie jonów wodorowęglanowych (HCO_3^-).

Zawartość dwutlenku węgla w środowisku lądowym i środowisku wodnym jest znacznie mniejsza od optymalnej wartości tego związku, w której fotosynteza osiąga największą intensywność. Obecnie w atmosferze znajduje się ok. 0,04% tego gazu. Wraz ze zwiększaniem się jego stężenia – zwykle do ok. 0,1% – zwiększa się intensywność fotosyntezy. Zależność tę wykorzystuje się m.in. w szklarniowej uprawie niektórych roślin. W szklarniach umieszcza się bryły suchego lodu (zestalonego dwutlenku węgla), które są źródłem gazowego dwutlenku węgla wykorzystywanego do fotosyntezy.



Zależność intensywności fotosyntezy od stężenia dwutlenku węgla.

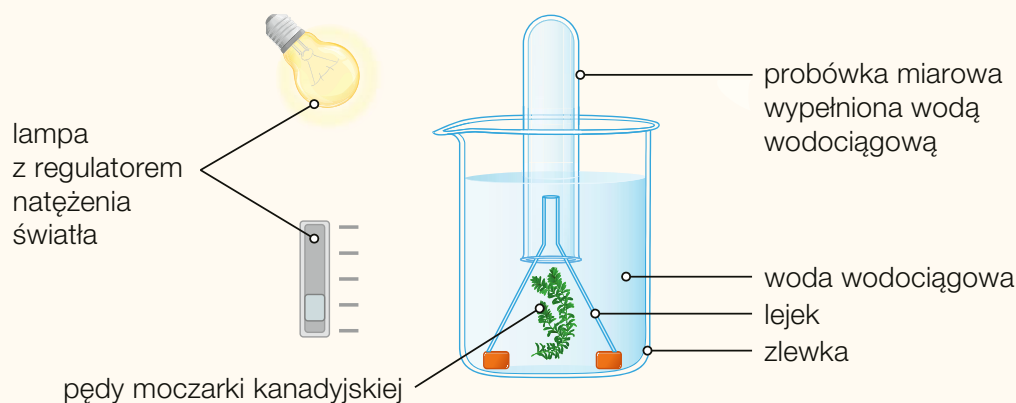


Badanie wpływu natężenia światła na intensywność fotosyntezy

- 1 Problem badawczy:** Wpływ natężenia światła na intensywność fotosyntezy u moczarki kanadyjskiej.
- 2 Hipoteza badawcza:** Wzrost natężenia światła powoduje wzrost intensywności fotosyntezy u moczarki kanadyjskiej.
- 3 Przebieg doświadczenia:** Przygotuj dwie zlewki z wodą wodociągową o temperaturze ok. 20°C. Następnie umieść w każdej z nich jednakowej wielkości pędy moczarki kanadyjskiej i przykryj je lejkami. Wyloty lejów nakryj probówkami miarowymi wypełnionymi wodą wodociągową – zgodnie z przedstawionym rysunkiem. Jedną próbę oświetlaj przez pół godziny światłem o różnym natężeniu – od najmniejszego do największego. Drugą próbę oświetlaj przez taki sam czas światłem o stałym najniższym natężeniu.

Próba badawcza: Zlewka z moczarką kanadyjską zanurzoną w wodzie wodociągowej o temperaturze 20°C, oświetlana światłem o różnym natężeniu.

Próba kontrolna: Zlewka z moczarką kanadyjską zanurzoną w wodzie wodociągowej o temperaturze 20°C, oświetlana światłem o stałym najniższym natężeniu.



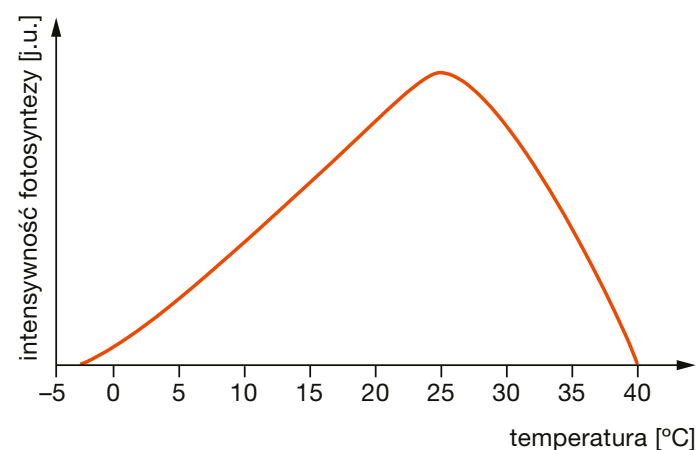
- 4 Wynik doświadczenia:** Obserwuj wydzielanie się pęcherzyków gazu z liści moczarki kanadyjskiej oraz objętość gazu w probówkach miarowych.
- 5 Wniosek:** Sformułuj wniosek.





Temperatura

Temperatura wpływa na aktywność enzymów biorących udział w procesie fotosyntezy. Wymagania roślin wobec temperatury warunkującej reakcje fotosyntezy są odmienne w różnych strefach klimatycznych. Na przykład u roślin strefy okołobiegunowej fotosynteza może zachodzić w temperaturze poniżej 0°C, a u roślin strefy okołorównikowej – w temperaturze ok. 50°C. Rośliny strefy umiarkowanej wykazują największą intensywność fotosyntezy w przedziale temperatury między 20°C a 30°C.



Zależność intensywności fotosyntezy od temperatury u roślin strefy umiarkowanej.

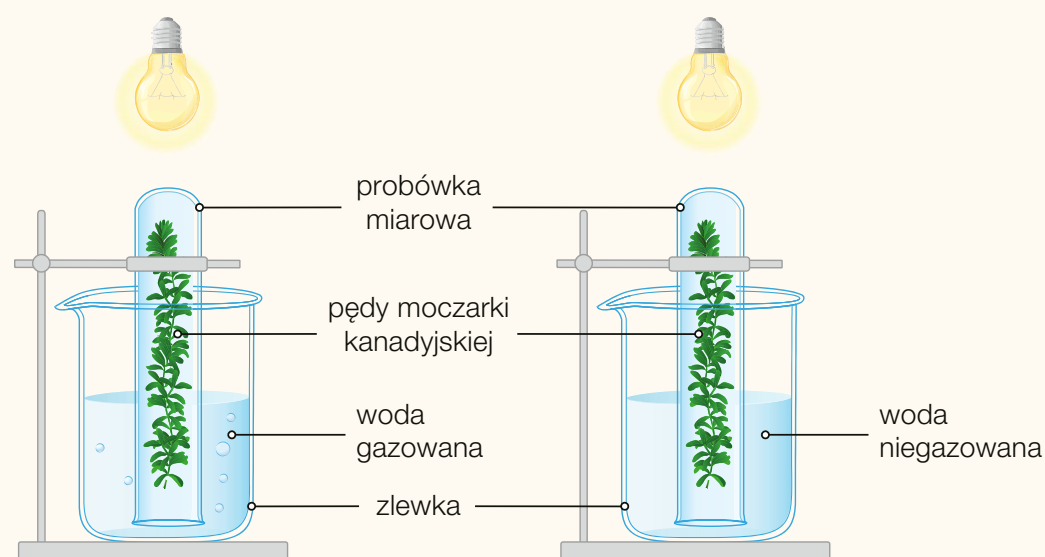
Badanie wpływu zwiększonej zawartości dwutlenku węgla na intensywność fotosyntezy

- 1 Problem badawczy:** Wpływ zwiększonej zawartości dwutlenku węgla na intensywność fotosyntezy u moczarki kanadyjskiej.
- 2 Hipoteza badawcza:** Zwiększona zawartość dwutlenku węgla powoduje wzrost intensywności fotosyntezy u moczarki kanadyjskiej.
- 3 Przebieg doświadczenia:**

Przygotuj dwie zlewki – jedną z wodą gazowaną (czyli wodą nasyconą dwutlenkiem węgla), a drugą z wodą niegazowaną (obie o jednakowej temperaturze i zawartości soli mineralnych). Następnie napełnij wodą o takich samych parametrach dwie probówki miarowe i umieść w nich jednakowej wielkości pędy moczarki kanadyjskiej. Probówki włóż do odpowiednich zlewek i ustaw oba zestawy w oświetlonym miejscu.

Próba badawcza: Probówka z moczarką kanadyjską zanurzoną w gazowanej wodzie mineralnej.

Próba kontrolna: Probówka z moczarką kanadyjską zanurzoną w niegazowanej wodzie mineralnej.



- 4 Wynik doświadczenia:** Obserwuj wydzielanie się pęcherzyków gazu z liści moczarki kanadyjskiej oraz objętość gazu w probówkach miarowych.
- 5 Wniosek:** Sformułuj wniosek.

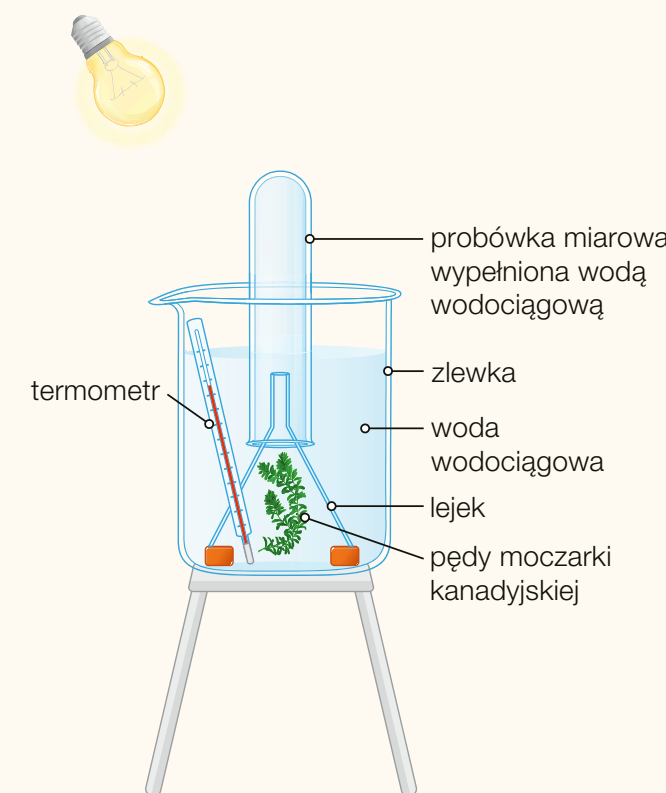
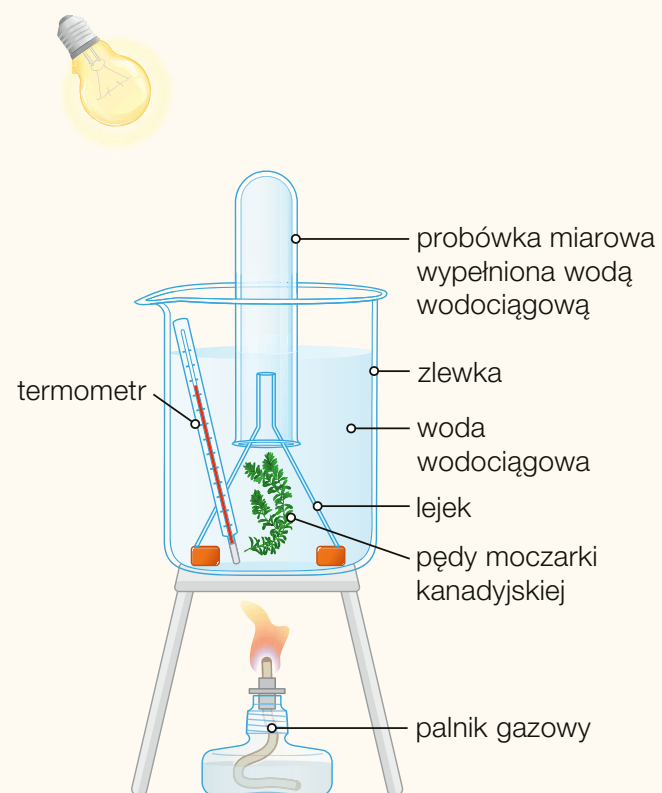


Badanie wpływu temperatury na intensywność fotosyntezy

- 1 Problem badawczy:** Wpływ temperatury na intensywność fotosyntezy u moczarki kanadyjskiej.
- 2 Hipoteza badawcza:** Wraz ze wzrostem temperatury rośnie intensywność fotosyntezy u moczarki kanadyjskiej.
- 3 Przebieg doświadczenia:**
Przygotuj dwa zestawy – zgodnie z przedstawionymi rysunkami. Dwie zlewki napełnij wodą wodociągową o temperaturze ok. 20°C. Następnie umieść w każdej z nich jednakowej wielkości pędy moczarki kanadyjskiej i przykryj je lejkami. Wyloty lejków nakryj probówkami miarowymi wypełnionymi wodą wodociągową. W zlewkach umieść termometry. Rozstaw oba zestawy w takiej samej odległości od źródła światła. Następnie jedną zlewkę z probówką podgrzewaj nad palnikiem gazowym do temperatury: 30°C, 40°C i 50°C. Drugiej zlewki z probówką nie podgrzewaj.

Próba badawcza: Zlewka z moczarką kanadyjską zanurzoną w wodzie wodociągowej, podgrzewana stopniowo od temperatury 20°C do temperatury 50°C.

Próba kontrolna: Zlewka z moczarką kanadyjską zanurzoną w wodzie wodociągowej o temperaturze 20°C.



- 4 Wynik doświadczenia:** Obserwuj szybkość wydzielania się pęcherzyków gazu z liści moczarki kanadyjskiej oraz objętość gazu w probówkach miarowych.
- 5 Wniosek:** Sformułuj wniosek.

Wyjaśnienie: Rośliny przeprowadzają fotosyntezę oksygeniczną. Parametrami, które świadczą o intensywności fotosyntezy, są ilość uwalnianych się pęcherzyków tlenu oraz objętość tlenu w probówkach miarowych.



Woda

Woda jest niezbędna do zajścia fotosyntezy, ponieważ stanowi jeden z jej substratów – jest dawcą elektronów i protonów w fazie zależnej od światła. Ponadto woda zapewnia żywotność organów roślinnych oraz odpowiedni turgor komórek roślinnych. Wysoki turgor komórek szparkowych pozwala na otwieranie się aparatów szparkowych, przez które dokonuje się wymiana gazowa, czyli pobieranie dwutlenku węgla i uwalnianie tlenu.

Sole mineralne

Do prawidłowego przebiegu fotosyntezy niezbędne są m.in. sole magnezu, potasu, cynku i manganu. Magnez wchodzi w skład pierścienia porfiryнового chlorofilu, dlatego jest potrzebny do syntezy tego barwnika. Z kolei jony potasu i cynku warunkują aktywność enzymów fotosyntetycznych, a mangan uczestniczy w fotolizie wody. Niedobór choćby jednego z tych pierwiastków, mimo optymalnej

ilości pozostałych, powoduje zmniejszenie intensywności fotosyntezy, a w skrajnych przypadkach – jej całkowite zahamowanie.

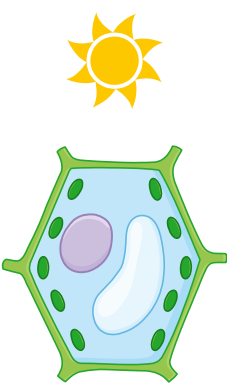
Czynniki wewnętrzne wpływające na intensywność fotosyntezy

Czynniki wewnętrzne wpływające na intensywność fotosyntezy to przystosowania morfologiczne, anatomiczne i metaboliczne organizmów fotosyntetyzujących do określonych warunków środowiska. Do czynników wewnętrznych należą:

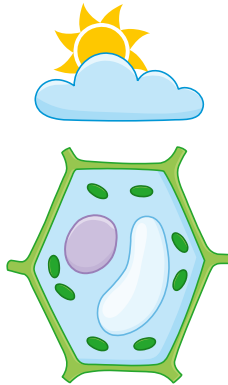
- ▶ wielkość blaszki liściowej,
- ▶ stosunek powierzchni liścia do jego objętości,
- ▶ liczba i rozmieszczenie aparatów szparkowych w skórcie liścia,
- ▶ grubość kutykuli na powierzchni liścia,
- ▶ wielkość przestrzeni międzykomórkowych w miękiszu asymilacyjnym,
- ▶ rozmieszczenie chloroplastów w komórkach miękiszu asymilacyjnego,
- ▶ zawartość chlorofilu w chloroplastach.

Rozmieszczenie chloroplastów w zależności od warunków świetlnych

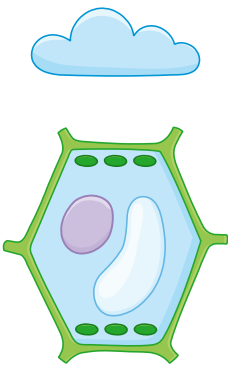
Dla organizmów fotosyntetyzujących niekorzystny jest zarówno niedobór, jak i nadmiar światła (→ s. 210). Z tego względu w komórkach wielu z nich, np. w komórkach niektórych roślin i protistów roślinopodobnych, chloroplasty mogą się przemieszczać. Dzięki temu ustawiają się w sposób, który zwiększa lub zmniejsza powierzchnię kontaktu ze światłem. Za ruch chloroplastów odpowiadają prawdopodobnie włókna cytoszkieletu.



Duże natężenie światła powoduje spadek intensywności fotosyntezy wskutek m.in. fotooksydacji chlorofilu. Aby zmniejszyć ilość pochłanianego światła, chloroplasty ustawiają się przy ścianach komórkowych równoległych do kierunku padania promieni świetlnych.



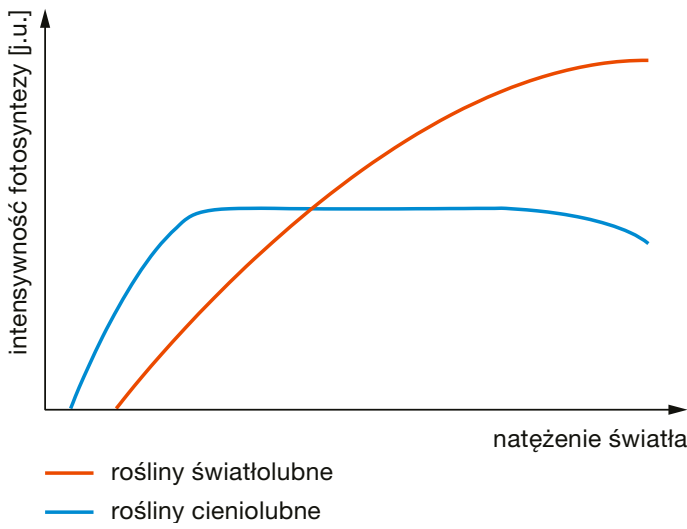
Umiarkowane natężenie światła sprawia, że fotosynteza zachodzi z optymalną intensywnością. W takich warunkach świetlnych chloroplasty rozkładają się w komórce równomiernie.



Słabe natężenie światła powoduje, że intensywność fotosyntezy jest mała. W tej sytuacji chloroplasty ustawiają się przy ścianach komórkowych prostopadłych do kierunku padania promieni świetlnych, co zwiększa ilość pochłanianego przez nie światła.

Przystosowania roślin światłolubnych i ceniolubnych do fotosyntezy

Rośliny światłolubne są przystosowane do wykorzystywania dużej ilości światła i radzenia sobie z jego nadmiarem oraz z brakiem wody. Z kolei rośliny ceniolubne są przystosowane do życia w środowisku ubogim w światło. Obu grupom roślin funkcjonowanie w środowisku umożliwiają adaptacje w budowie liści, łodyg i komórek miękiszu asymilacyjnego, a także struktura aparatu fotosyntetycznego¹. Różnice w budowie aparatu fotosyntetycznego mogą też występować w obrębie tej samej rośliny, jeśli jej liście znajdują się w różnych warunkach świetlnych.



Zależność intensywności fotosyntezy od natężenia światła u roślin światłolubnych i ceniolubnych.

Przystosowania roślin światłolubnych i ceniolubnych do fotosyntezy

Porównywana cecha	Rośliny światłolubne	Rośliny ceniolubne
Budowa liści i łodyg	mięsiste liście lub łodygi magazynujące wodę, które są okryte grubą warstwą kutykuli	liście o cienkiej blaszce liściowej, która jest pokryta cienką warstwą kutykuli; komórki skórki tych roślin często są zaopatrzone w chloroplasty
Budowa miękiszu asymilacyjnego	miękisz palisadowy tych roślin jest silnie rozwinięty i często wielowarstwowy; w miękiszu gąbczastym znajduje się niewiele przestworów międzykomórkowych	stosunkowo krótkie komórki miękiszu palisadowego
Budowa aparatu fotosyntetycznego	mniejsza niż u roślin ceniolubnych zawartość barwników antenowych	większa niż u roślin światłolubnych zawartość barwników antenowych, głównie chlorofilu b
Przykład gatunku	 Agawa amerykańska (<i>Agave americana</i>) jest rośliną światłolubną, która gromadzi wodę w liściach. Pokrywa je gruba warstwa kutykuli i wosku, zabezpieczająca roślinę przed nadmiernym parowaniem wody i przegrzaniem.	 Przylaszczka pospolita (<i>Hepatica nobilis</i>) jest rośliną ceniolubną. Ze względu na dużą zawartość chlorofilu jej młode liście z czasem stają się ciemnozielone.

¹ **Aparat fotosyntetyczny** – zespół wszystkich elementów uczestniczących w fotosyntezie.

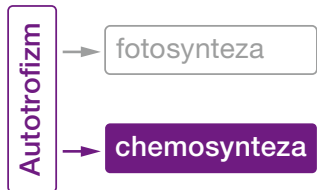
Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij, jak natężenie światła wpływa na intensywność fotosyntezy.
2. Wyjaśnij, jakie znaczenie dla ogrodnictwa ma znajomość czynników wpływających na intensywność fotosyntezy.
3. Zaplanuj doświadczenie, w którym zbadasz, jaki gaz jest wydzielany podczas fotosyntezy.

4.6. Autotroficzne odżywianie się organizmów – chemosynteza

Ważne w tym temacie!

- przebieg i znaczenie chemosyntezy



Chemosynteza polega na wytwarzaniu związków organicznych – węglowodanów – z dwutlenku węgla i wody z udziałem energii chemicznej. Energia ta pochodzi z utleniania prostych substancji nieorganicznych.

Ogólny przebieg chemosyntezy

W przebiegu chemosyntezy wyróżnia się dwie zasadnicze fazy:

- ▶ w pierwszej fazie zachodzi utlenianie prostych substancji nieorganicznych. Energia uwalniana

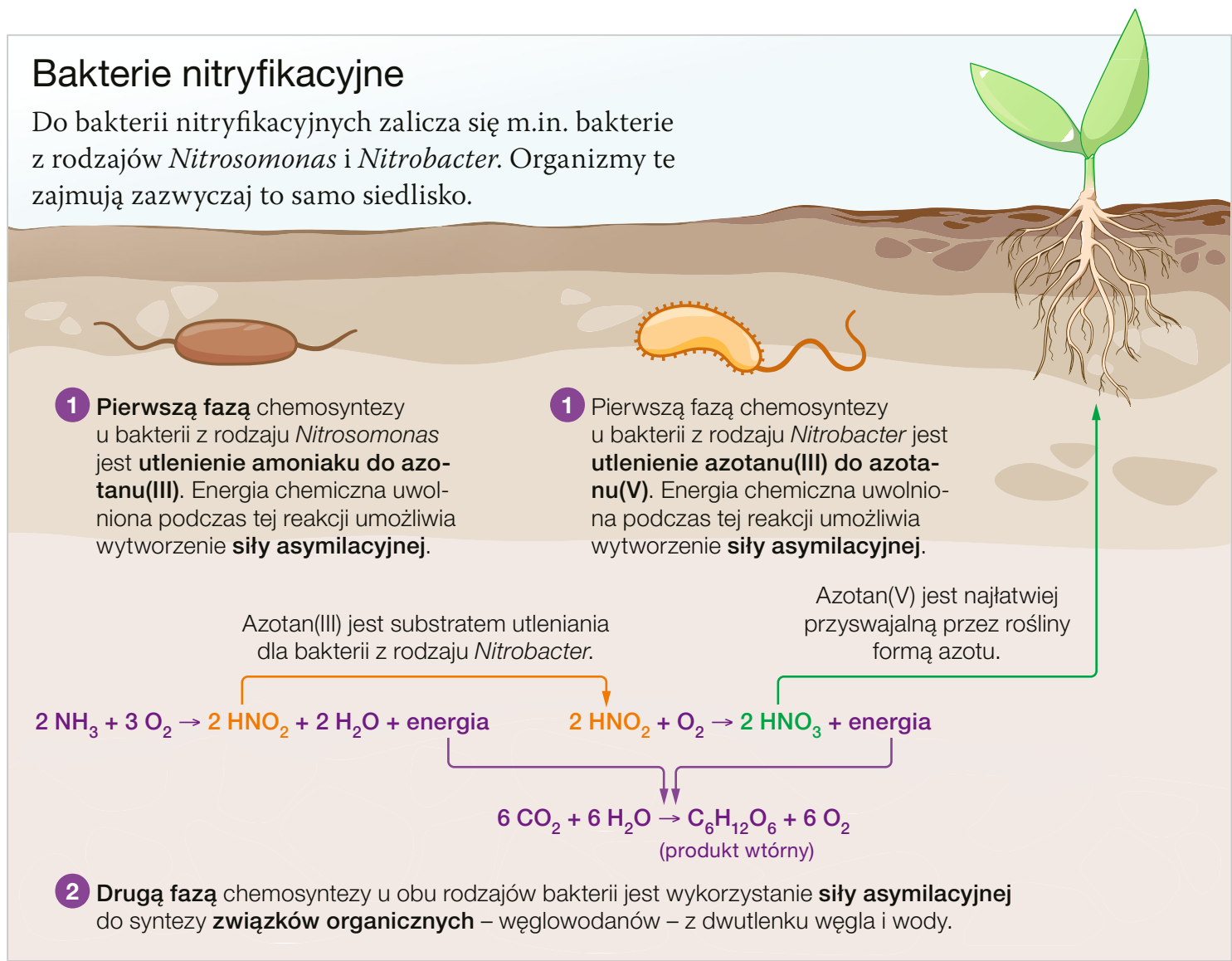
podczas tych reakcji umożliwia wytwarzanie siły asymilacyjnej, czyli ATP i NADPH + H⁺ (lub NADH + H⁺ – u bakterii wodorowych);

- ▶ w drugiej fazie siła asymilacyjna zostaje wykorzystana do syntezy związków organicznych z dwutlenku węgla i wody.

Organizmy zdolne do przeprowadzania chemosyntezy określa się mianem **chemoautotrofów**. Należą do nich niektóre gatunki prokariotów zasiedlających glebę oraz zbiorniki wodne, m.in. bakterie nitryfikacyjne i bakterie siarkowe.

Bakterie nitryfikacyjne

Do bakterii nitryfikacyjnych zalicza się m.in. bakterie z rodzajów *Nitrosomonas* i *Nitrobacter*. Organizmy te zajmują zazwyczaj to samo siedlisko.



Znaczenie chemosyntezy

Chemoautotrofy uczestniczą w globalnej produkcji związków organicznych, ale odgrywają w tym procesie mniejszą rolę niż fotoautotrofy. Doniesienia ostatnich lat wskazują jednak, że chemoautotroficzne bakterie zasiedlające powierzchniowe partie oceanów mogą wytwarzać nawet trzykrotnie więcej węglowodanów niż występujący tam fitoplankton. Ponadto chemoautotrofy są jedynymi producentami w ekosystemach pozbawionych dostępu do światła, np. w głębszych strefach zbiorników wodnych i w jaskiniach.

Chemosynteza ma zasadnicze znaczenie w udostępnianiu roślinom łatwo przyswajalnych składników mineralnych. Istotną funkcję w tym procesie pełnią:

- ▶ **bakterie nitryfikacyjne**, które utleniają amoniak do jonów azotanowych(V),
- ▶ **bakterie siarkowe** z rodzaju *Thiobacillus*, które utleniają siarkę pierwiastkową do jonów siarczanowych(VI).

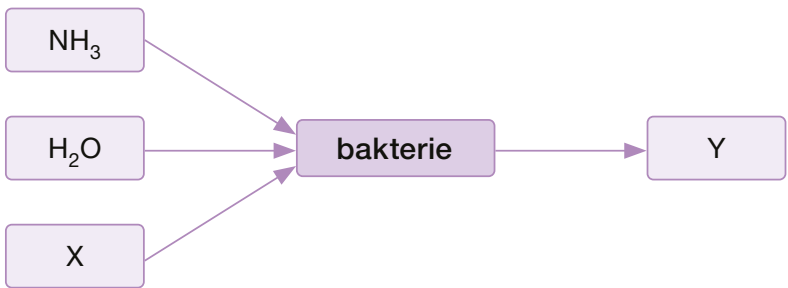
Chemoautotrofy uczestniczą również w neutralizowaniu toksycznych związków znajdujących się w środowisku. Do związków tych należą m.in. siarkowodór, amoniak i azotany(III).

Porównanie fotosyntezy z chemosyntezą

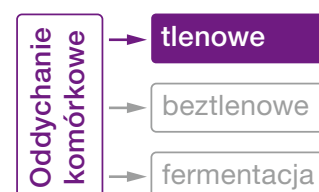
Porównywana cecha	Fotosynteza	Chemosynteza
Ogólne znaczenie	Polega na wytwarzaniu związków organicznych z prostych związków nieorganicznych.	Polega na wytwarzaniu związków organicznych z prostych związków nieorganicznych.
Substraty	dwutlenek węgla i zwykle woda	dwutlenek węgla i woda
Energia wykorzystywana do wytwarzania siły asymilacyjnej	energia świetlna	energia chemiczna
Organizmy przeprowadzające proces	większość roślin i protistów roślinopodobnych, a także niektóre prokarioty (np. sinice)	niektóre prokarioty (np. bakterie z rodzajów <i>Nitrosomonas</i> i <i>Nitrobacter</i> , bakterie siarkowe, bakterie wodorowe)

Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij, dlaczego bakterie nitryfikacyjne z rodzajów *Nitrosomonas* i *Nitrobacter* zajmują zazwyczaj to samo siedlisko.
2. Na schemacie przedstawiono uproszczony przebieg chemosyntezy u bakterii z rodzaju *Nitrosomonas*. Podaj wzór chemiczny związku oznaczonego literą X oraz nazwę grupy związków oznaczonej literą Y.
3. Wyjaśnij, dlaczego chemoautotrofy są jedynymi poducentami w ekosystemach pozbawionych dostępu do światła.



4.7. Oddychanie komórkowe. Oddychanie tlenowe



Ważne w tym temacie!

- związek budowy mitochondrium z przebiegiem oddychania tlenowego
- przebieg oddychania tlenowego
- mechanizm fosforylacji substratowej i fosforylacji oksydacyjnej

Oddychanie komórkowe jest procesem katabolicznym, podczas którego złożone związki organiczne są rozkładane i utleniane do związków prostszych, czemu towarzyszy uwalnianie energii. Część tej energii – zwana energią użyteczną biologicznie – zostaje zmagazynowana w **ATP**, a część rozprasza się w postaci ciepła.

Podstawowym substratem oddychania komórkowego jest **glukoza**. Związek ten może być utleniany:

- ▶ całkowicie (do dwutlenku węgla) lub niecałkowicie (do pirogronianu),
- ▶ z udziałem tlenu lub bez udziału tlenu.

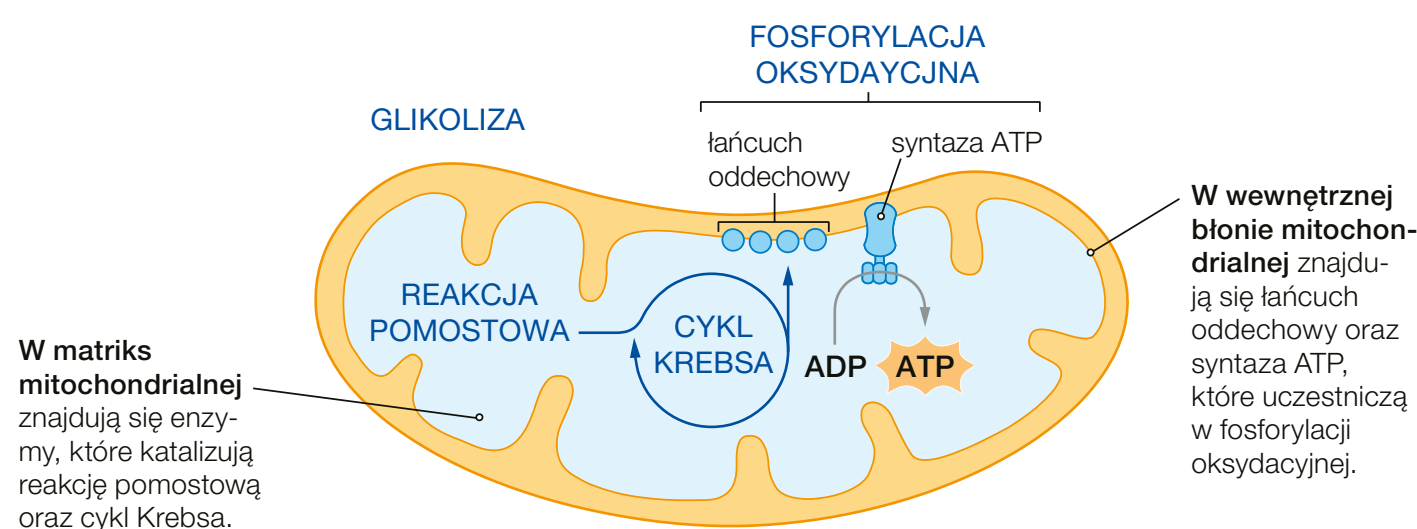


Oddychanie tlenowe

Oddychanie tlenowe to całkowite utlenienie glukozy z udziałem tlenu. Zachodzi ono u organizmów tlenowych (tlenowców, aerobów), do których należy większość eukariontów i prokariotów. W oddychaniu tlenowym wyróżnia się cztery główne etapy: glikolizę, reakcję pomostową, cykl Krebsa i fosforylację oksydacyjną. W komórce eukariotycznej glikoliza przebiega w cytozolu, a pozostałe etapy – w mitochondriach:

- ▶ w matriks mitochondrialnej zachodzą **reakcja pomostowa** oraz **cykl Krebsa**,
- ▶ w wewnętrznej błonie mitochondrialnej zachodzi **fosforylacja oksydacyjna**, w której uczestniczą łańcuch oddechowy oraz syntaza ATP.

Sumaryczne równanie chemiczne oddychania tlenowego:



Związek między budową mitochondrium a przebiegiem oddychania tlenowego.

Przebieg oddychania tlenowego

Utlenienie glukozy do dwutlenku węgla i wody jest reakcją silnie egzoenergetyczną – oznacza to, że ilość uwolnionej w niej energii jest bardzo duża. Z tego powodu oddychanie tlenowe przebiega w komórce wieloetapowo, a energia jest uwalniana niewielkimi porcjami, co chroni struktury komórkowe przed uszkodzeniem.

Glikoliza

Glikoliza polega na rozkładzie i częściowym utlenieniu sześciowęglowej cząsteczki glukozy do dwóch trójwęglowych cząsteczek pirogronianu. W trakcie tego procesu są też wytwarzane cztery cząsteczki ATP oraz dwie cząsteczki $\text{NADH} + \text{H}^+$.

Przebieg glikolizy:

- 1 Glukoza ulega aktywacji przez fosforylację. W tej reakcji na jedną cząsteczkę glukozy zostają przeniesione dwie reszty fosforanowe(V) pochodzące od dwóch cząsteczek ATP. Następnie związek powstały w wyniku

fosforylacji glukozy jest rozkładany do dwóch cząsteczek aldehydu 3-fosfoglicerynowego.

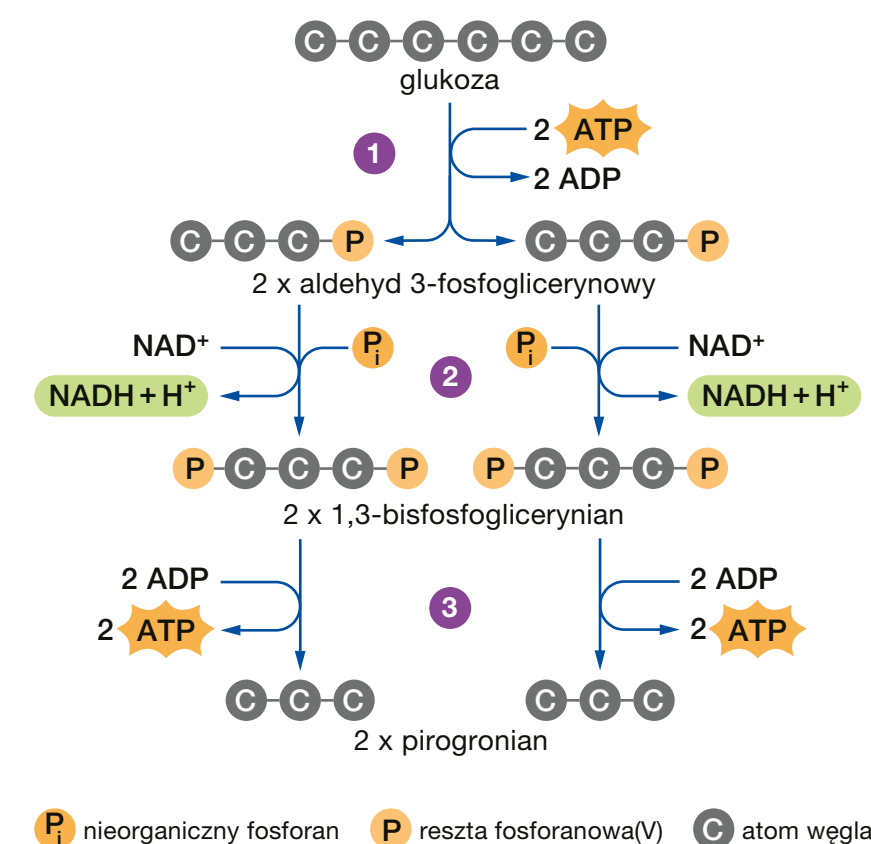
- 2 Każda cząsteczka aldehydu 3-fosfoglicerynowego ulega utlenieniu i fosforylacji do 1,3-bisfosfoglicerynianu. Jednocześnie NAD^+ redukuje się do $\text{NADH} + \text{H}^+$.

- 3 Zachodzą cztery **fosforylacje substratowe** (po dwie na każdą cząsteczkę 1,3-bisfosfoglicerynianu), w wyniku których powstają cztery cząsteczki ATP (→ s. 178). Ponadto w efekcie tych reakcji tworzą się dwie cząsteczki pirogronianu.

Bezpośredni zysk energetyczny glikolizy jest niewielki – wynosi **dwie cząsteczki ATP** w przeliczeniu na jedną cząsteczkę glukozy. Jednak podczas tego procesu powstają także dwie cząsteczki pirogronianu oraz dwie cząsteczki $\text{NADH} + \text{H}^+$. Pirogronian zostaje przetransportowany do mitochondrium, gdzie ulega dalszemu utlenianiu, a elektrony odebrane z $\text{NADH} + \text{H}^+$ uczestniczą w fosforylacji oksydacyjnej.

Bezpośredni zysk energetyczny glikolizy:

4 ATP (4 fosforylacje substratowe) – 2 ATP (aktywacja glukozy) = 2 ATP (→ s. 223)



Uproszczony przebieg glikolizy.

Reakcja pomostowa

Reakcja pomostowa polega na przekształceniu pirogronianu w acetylo-CoA (acetylokoenzym A).

W trakcie tego procesu zachodzą:

- ▶ dekarboksylacja pirogronianu, czyli odłączenie od niego dwutlenku węgla,
- ▶ utlenienie pirogronianu połączone z redukcją NAD^+ do $\text{NADH} + \text{H}^+$.

W wyniku dekarboksylacji pirogronianu powstaje dwuwęglowa grupa acetylowa. Grupa ta łączy się z koenzymem A (CoA) w cząsteczkę acetylo-CoA, który jest jednym z substratów cyklu Krebsa. $\text{NADH} + \text{H}^+$ wytworzony w wyniku reakcji pomostowej uczestniczy w fosforylacji oksydacyjnej, dwutlenek węgla jest zaś usuwany do środowiska

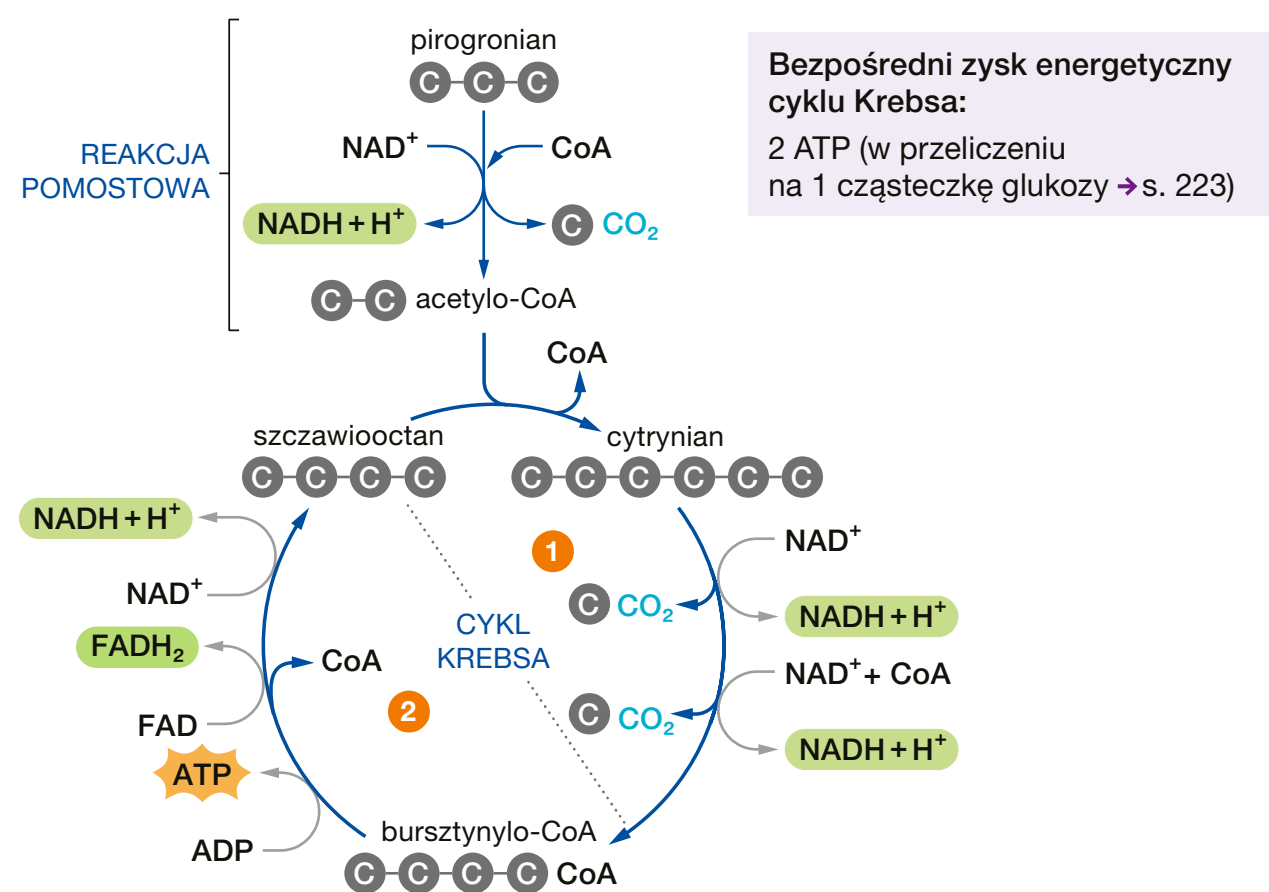
Cykl Krebsa

Cykl Krebsa (cykl kwasu cytrynowego) obejmuje liczne reakcje utlenienia–redukcji, w wyniku których powstają cząsteczki zredukowanych dinukleotydów – $\text{NADH} + \text{H}^+$ i FADH_2 . Zachodzi w nim ponadto **fosforylacja substratowa** prowadząca do wytworzenia ATP.

Przebieg cyklu Krebsa:

- 1 Dwuwęglowa grupa acetylowa zostaje odłączona od acetylo-CoA i przyłączona do czterowęglowego szczawiooctanu – w ten sposób powstaje sześciowęglowy cytrynian. Następnie grupa ta utlenia się całkowicie do dwóch cząsteczek dwutlenku węgla, a dwie cząsteczki NAD^+ redukują się do $\text{NADH} + \text{H}^+$. W efekcie tych reakcji tworzy się czterowęglowy bursztynylo-CoA. Cząsteczki dwutlenku węgla są usuwane do środowiska.
- 2 Bursztynylo-CoA ulega dalszym przemianom, w wyniku których odtwarza się szczawiooctan niezbędny do zajścia kolejnego obiegu cyklu Krebsa. Przemiany te obejmują fosforylację substratową oraz dwie reakcje utlenienia, którym towarzyszy redukcja FAD do FADH_2 oraz NAD^+ do $\text{NADH} + \text{H}^+$.

Bezpośredni zysk energetyczny cyklu Krebsa jest niewielki – wynosi dwie cząsteczki ATP w przeliczeniu na jedną cząsteczkę glukozy. W cyklu tym powstają jednak liczne cząsteczki $\text{NADH} + \text{H}^+$ i FADH_2 , które uczestniczą w fosforylacji oksydacyjnej.



Uproszczony przebieg reakcji pomostowej i cyklu Krebsa.

Zarówno reakcja pomostowa, jak i kolejne przemiany cyklu Krebsa są reakcjami utlenienia–redukcji. W ich trakcie zachodzi utlenianie organicznych substratów połączone z redukcją NAD^+ do $\text{NADH} + \text{H}^+$ i FAD do FADH_2 . Utlenianie odbywa się tylko wówczas, gdy w matriks mitochondrialnej znajdują się utlenione formy dinukleotydów – NAD^+ i FAD . Regeneracja tych form zachodzi podczas fosforylacji oksydacyjnej, czyli ostatniego etapu oddychania tlenowego. W trakcie tego etapu elektrony i protony zostają przekazane z form zredukowanych – $\text{NADH} + \text{H}^+$ i FADH_2 – na tlen, w wyniku czego powstaje woda. Brak tlenu uniemożliwia odtwarzanie NAD^+ i FAD , co może prowadzić do śmierci komórki.

Fosforylacja oksydacyjna¹

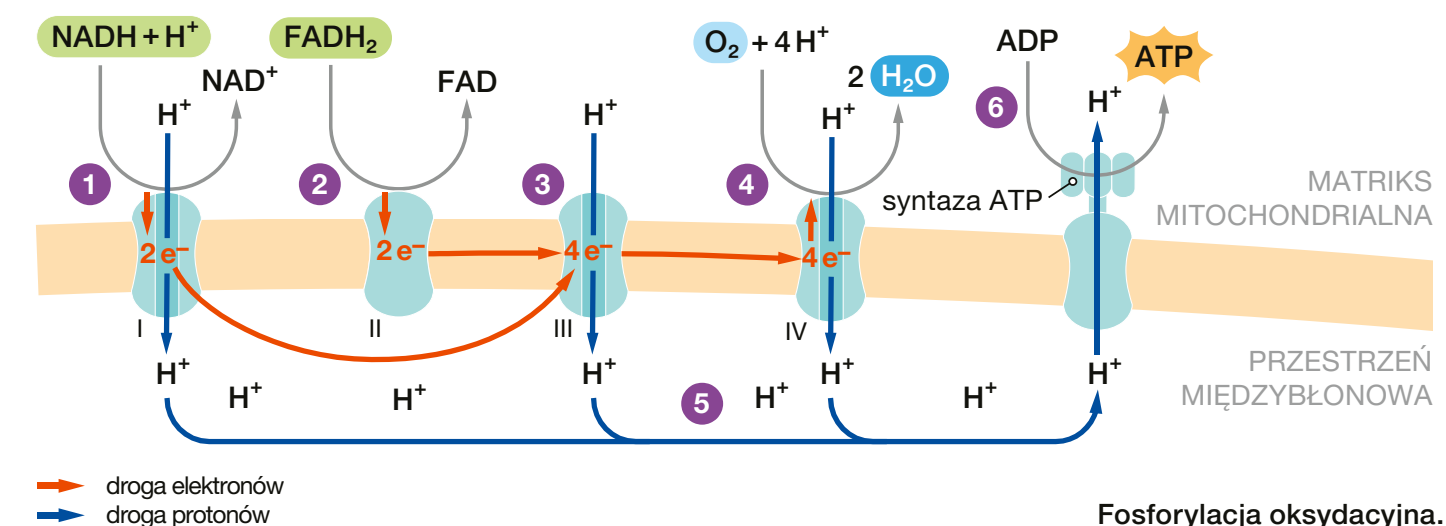
W fosforylacji oksydacyjnej zredukowane dinukleotydy, które pochodzą z wcześniejszych etapów oddychania, ulegają utlenieniu (oksydacji) w łańcuchu oddechowym. Energia uwolniona w wyniku tego procesu zostaje wykorzystana przez syntazę ATP do syntezy ATP.

Łańcuch oddechowy tworzą cztery duże **kompleksy białkowe** (I, II, III i IV) zlokalizowane w wewnętrznej błonie mitochondrialnej. Są one

przenośnikami elektronów, które przekazują elektrony odebrane od $\text{NADH} + \text{H}^+$ i FADH_2 na tlen. Kompleksy I, III i IV pełnią również funkcję **pomp protonowych** – transportują protony (jony H^+) z matriks mitochondrialnej do przestrzeni międzybłonowej.

Przebieg fosforylacji oksydacyjnej:

- 1 Kompleks I odbiera dwa elektrony od $\text{NADH} + \text{H}^+$.
- 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 Elektrony z kompleksu IV są przenoszone na tlen, który ulega redukcji do wody. Woda jest usuwana do środowiska lub wykorzystywana przez organizm (woda metaboliczna).
- 5 Energia elektronów przekazywanych przez kolejne przenośniki łańcucha oddechowego zostaje wykorzystana do aktywnego transportu protonów z matriks mitochondrialnej do przestrzeni międzybłonowej. Dzięki temu w poprzek wewnętrznej błony mitochondrialnej tworzy się gradient protonowy.
- 6 Gradient protonowy jest siłą napędową fosforylacji ADP do ATP z udziałem syntazy ATP.



Zysk energetyczny fosforylacji oksydacyjnej: 28 ATP (w przeliczeniu na 1 cząsteczkę glukozy) (→ s. 223)

¹ Czasami ostatni etap oddychania tlenowego określa się mianem łańcucha oddechowego. Jednak w większości źródeł naukowych etap ten nosi nazwę fosforylacji oksydacyjnej – od nazwy głównego procesu, który w nim zachodzi. Z kolei termin *łańcuch oddechowy* oznacza kompleksy białkowe uczestniczące w transporcie elektronów.

PRZEBIEG ODDYCHANIA TLENOWEGO

W przebiegu oddychania tlenowego wyróżnia się cztery główne etapy: glikolizę, reakcję pomostową, cykl Krebsa i fosforylację oksydacyjną.

1 Glikoliza

Polega na utlenieniu glukozy do dwóch cząsteczek pirogronianu. W trakcie tego procesu zachodzą:

- ▶ redukcja NAD^+ do $\text{NADH} + \text{H}^+$,
- ▶ fosforylacja substratowa ADP do **ATP**.

● reszta fosforanowa(V) ➡ droga elektronów
● atom węgla ➡ droga protonów

CYTOZOL

2 Reakcja pomostowa

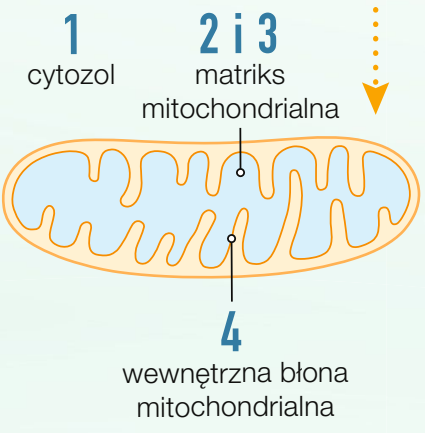
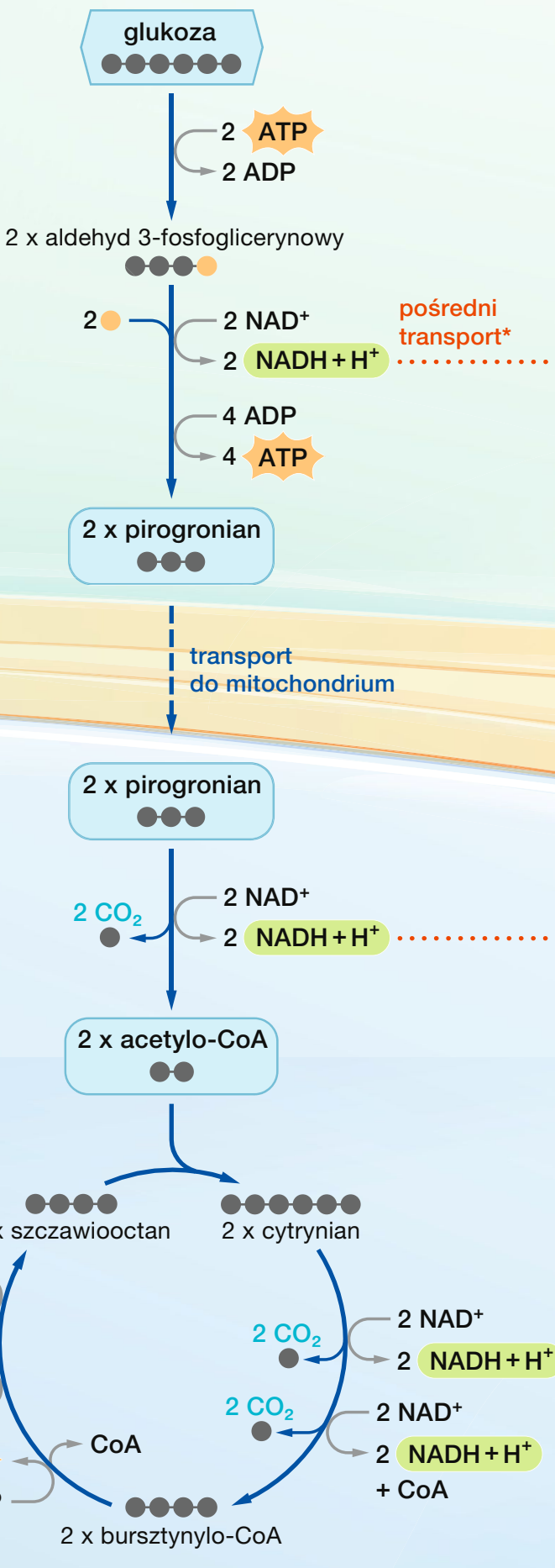
Polega na utlenieniu pirogronianu do acetylo-CoA. W trakcie tego procesu zachodzą:

- ▶ dekarboksylacja pirogronianu,
- ▶ redukcja NAD^+ do $\text{NADH} + \text{H}^+$.

3 Cykl Krebsa

Polega na utlenieniu acetylo-CoA do dwutlenku węgla oraz odtworzeniu szczawiooctanu. W trakcie tych procesów zachodzą:

- ▶ dekarboksylacja produktów pośrednich cyklu Krebsa,
- ▶ redukcja NAD^+ do $\text{NADH} + \text{H}^+$,
- ▶ redukcja FAD do FADH_2 ,
- ▶ fosforylacja substratowa ADP do **ATP**.



Bilans oddychania tlenowego

Bezpośredni zysk energetyczny z trzech pierwszych etapów oddychania tlenowego wynosi tylko 4 cząsteczki ATP w przeliczeniu na cząsteczkę glukozy. Wytwarzanych jest jednak aż 12 cząsteczek zredukowanych dinukleotydów: 10 $\text{NADH} + \text{H}^+$ i 2 FADH_2 . Podczas ostatniego etapu oddychania związki te są utleniane, a uwalniana energia zostaje wykorzystana do syntezy kolejnych 28 cząsteczek ATP.

Związki chemiczne	Glikoliza	Reakcja pomostowa	Cykl Krebsa	Suma
ATP	2	0	2	4
$\text{NADH} + \text{H}^+$	2	2	6	10
FADH_2	0	0	2	2

Przyjmuje się, że utlenienie 1 cząsteczki $\text{NADH} + \text{H}^+$ daje 2,5 cząsteczki ATP, a utlenienie 1 cząsteczki FADH_2 – 1,5 cząsteczki ATP.

1 $\text{NADH} + \text{H}^+$ ----- 2,5 ATP **1 FADH_2 ----- 1,5 ATP**
10 $\text{NADH} + \text{H}^+$ ----- 25 ATP **2 FADH_2 ----- 3 ATP**

Całkowity bilans oddychania tlenowego:

4 ATP + 25 ATP + 3 ATP = 32 ATP

4 Fosforylacja oksydacyjna

Polega na syntezie ATP z wykorzystaniem gradientu protonowego wytworzonego dzięki utlenieniu zredukowanych dinukleotydów. W trakcie tego procesu zachodzą:

- ▶ transport elektronów od $\text{NADH} + \text{H}^+$ i FADH_2 przez przenośniki łańcucha oddechowego na tlen, co prowadzi do powstania wody,
- ▶ pompowanie protonów z matryks mitochondrialnej do przestrzeni międzybłonowej z udziałem energii przepływu elektronów,
- ▶ wykorzystanie gradientu protonowego przez syntazę ATP do syntezy **ATP**.

* $\text{NADH} + \text{H}^+$, który powstał podczas glikolizy, nie wnika do mitochondrium. Specjalne systemy transportowe utleniają ten związek w cytozolu, a następnie redukują NAD^+ znajdujący się w matryks mitochondrialnej.

■ Czynniki wpływające na intensywność oddychania tlenowego

Intensywność oddychania tlenowego zależy od zapotrzebowania energetycznego organizmu. Na przykład zwierzęta stałocieplne (ptaki i ssaki) o małych rozmiarach i małej masie ciała mają większe zapotrzebowanie energetyczne w przeliczeniu na jednostkę masy od zwierząt o dużych rozmiarach i dużej masie ciała. Jedną z przyczyn tego zjawiska jest znaczna skórna utrata ciepła. Małe zwierzęta stałocieplne mają większy stosunek powierzchni ciała do jego objętości niż duże zwierzęta, dlatego tracą przez skórę więcej ciepła.

Zróżnicowane zapotrzebowanie energetyczne wykazują również poszczególne tkanki organizmu. Na przykład tkanki nerwowa i mięśniowa wykorzystują do funkcjonowania znacznie więcej energii niż tkanki kostna i chrzęstna. Tkanki, które mają wysokie zapotrzebowanie energetyczne, charakteryzują się dużą liczbą mitochondriów w komórkach. Mitochondria te mają silnie pofałdowaną błonę wewnętrzną (dużą liczbę grzebieni mitochondrialnych).

Czynniki zewnętrzne wpływające na intensywność oddychania tlenowego:

► **stężenie tlenu.** Tlen jest jednym z substratów fosforylacji oksydacyjnej, dlatego jego stężenie ma bezpośredni wpływ na intensywność oddychania tlenowego. Na niskie stężenie tlenu lub brak tego pierwiastka są zwykle narażone

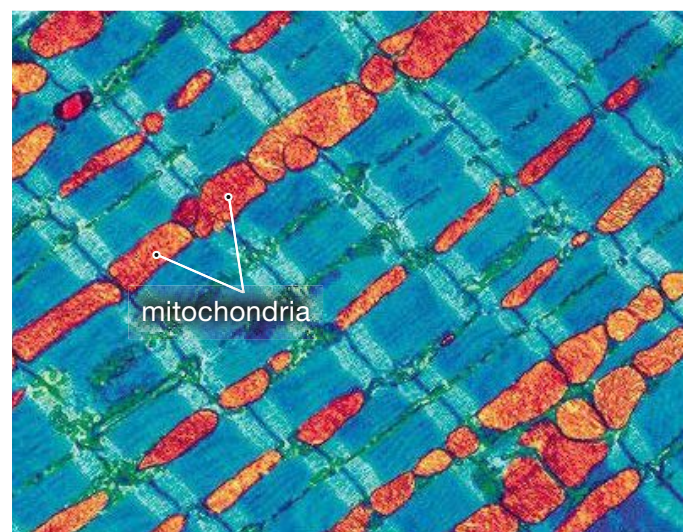
organizmy wodne i glebowe – z tego względu niektóre z nich potrafią zmieniać sposób użytkowania energii z oddychania tlenowego na fermentację lub oddychanie beztlenowe;

► **temperatura.** Temperatura oddziałuje na intensywność oddychania tlenowego m.in. przez wpływ na aktywność enzymów katalizujących poszczególne reakcje tego procesu. Dla zwierząt stałocieplnych, w tym ludzi, optymalna temperatura działania enzymów mieści się w przedziale 35–40°C. Niższa temperatura skutkuje spadkiem aktywności enzymów, a wyższa – całkowitym zahamowaniem ich aktywności w wyniku denaturacji;

► **dostępność wody.** Woda tworzy środowisko reakcji biochemicznych, dlatego odpowiedni poziom uwodnienia komórek zwiększa intensywność procesów oddechowych;

► **sole mineralne.** Niektóre białka uczestniczące w oddychaniu tlenowym zawierają w swojej strukturze np. jony żelaza. Niedobór tego pierwiastka w organizmie może przyczynić się do zmniejszenia intensywności oddychania tlenowego;

► **inhibitory oddychania.** Są to substancje, które hamują przebieg oddychania. Do inhibitorów oddychania tlenowego należą m.in. cyjanki, które łączą się z oksydazą cytochromową (ostatnim przekaźnikiem łańcucha transportu elektronów) i tym samym uniemożliwiają przekazywanie elektronów na tlen.



Tkanka mięśniowa poprzecznie prążkowana serca (obraz spod TEM).

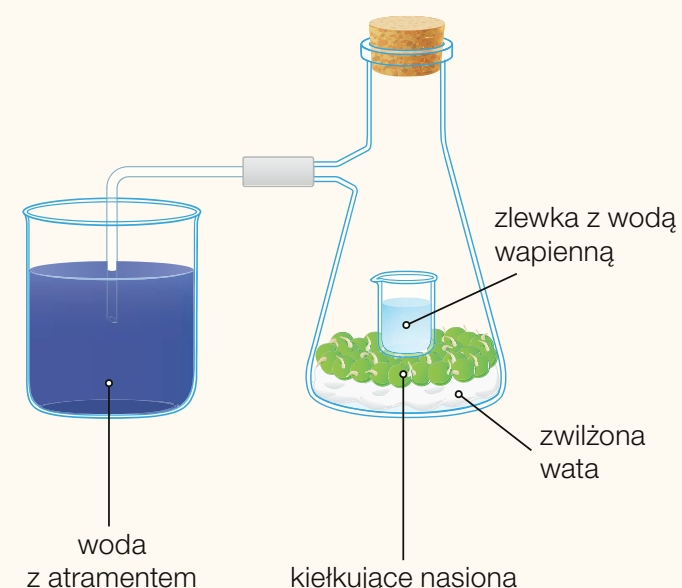


Cyjanki występują naturalnie m.in. w pestkach śliwek, moreli, czereśni i brzoskwiń.

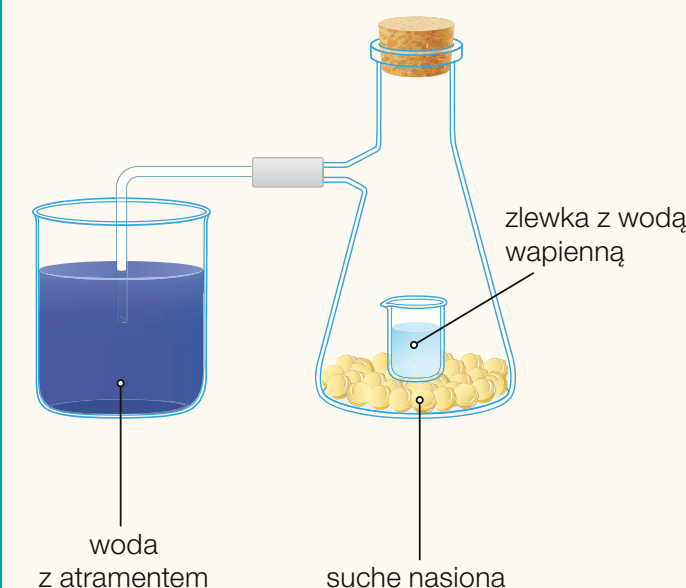
Pochłanianie tlenu przez kiełkujące nasiona

- 1 Problem badawczy:** Czy kiełkujące nasiona zużywają tlen?
- 2 Hipoteza badawcza:** Kiełkujące nasiona zużywają tlen.
- 3 Przebieg doświadczenia:** Przygotuj 60 nasion grochu – 30 kiełkujących i 30 suchych. Wsyp kiełkujące nasiona do kolby stożkowej wyścielonej zwilżoną watą, a suche nasiona do pustej kolby stożkowej. W obu kolbach na nasionach postaw zlewkę z wodą wapienną (nasycony roztwór wodorotlenku wapnia – $\text{Ca}(\text{OH})_2$), a następnie zamknij je szczelnie korkiem. Każdą kolbę połącz szklaną rurką z naczyniem zawierającym wodę z atramentem i pozostaw na jeden dzień.

Próba badawcza: Zestaw zawierający kiełkujące nasiona grochu.



Próba kontrolna: Zestaw zawierający suche nasiona grochu.



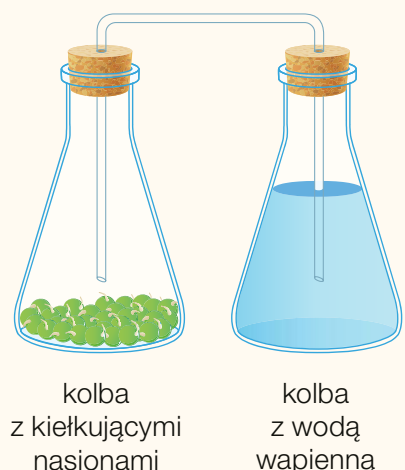
- 4 Wynik doświadczenia:** Zaobserwuj zmiany zachodzące w szklanej rurce.
- 5 Wniosek:** Sformułuj wniosek.

Wyjaśnienie: Kiełkujące nasiona przeprowadzają oddychanie tlenowe, którego substratem jest m.in. tlen (O_2), a jednym z produktów – dwutlenek węgla (CO_2). Woda wapienna to nasycony roztwór wodorotlenku wapnia – $\text{Ca}(\text{OH})_2$. W reakcji $\text{Ca}(\text{OH})_2$ z CO_2 powstaje trudno rozpuszczalna sól CaCO_3 , która powoduje mętnienie wody wapiennej. Skutkuje to ubytkiem dwutlenku węgla z powietrza znajdującego się w kolbach stożkowych. W wyniku pochłaniania CO_2 przez wodę wapienną oraz pochłaniania O_2 przez kiełkujące nasiona ciśnienie w próbie badawczej spada. Powoduje to zasysanie wody z atramentem przez zanurzoną w niej rurkę.

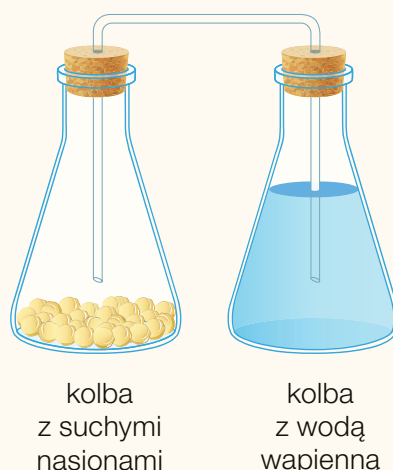
Wydzielanie dwutlenku węgla przez kiełkujące nasiona

- Problem badawczy:** Czy kiełkujące nasiona wydzielają dwutlenek węgla?
- Hipoteza badawcza:** Kiełkujące nasiona wydzielają dwutlenek węgla.
- Przebieg doświadczenia:** Przygotuj 60 nasion grochu – 30 kiełkujących i 30 suchych. Wsyp kiełkujące nasiona do jednej kolby stożkowej (wyścielonej zwilżoną watą), a suche nasiona do drugiej kolby stożkowej. Oba naczynia szczelnie zamknij korkiem. Każdą kolbę połącz szklaną rurką z naczyniem zawierającym wodę wapienną (nasycony roztwór wodorotlenku wapnia – $\text{Ca}(\text{OH})_2$) – zgodnie z przedstawionym rysunkiem.

Próba badawcza: Zestaw zawierający kiełkujące nasiona grochu.



Próba kontrolna: Zestaw zawierający suche nasiona grochu.



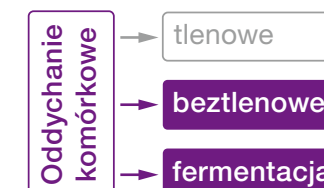
- Wynik doświadczenia:** Zaobserwuj zmiany zachodzące w kolbach z wodą wapienną.
- Wniosek:** Sformułuj wniosek.

Wyjaśnienie: Woda wapienna to nasycony roztwór wodorotlenku wapnia – $\text{Ca}(\text{OH})_2$. W reakcji $\text{Ca}(\text{OH})_2$ z CO_2 powstaje trudno rozpuszczalna sól CaCO_3 , która powoduje mętnienie wody wapiennej. Jeśli nasiona wydzielają dwutlenek węgla, to woda wapienna zmętnieje.

Polecenia kontrolne

- Podaj różnicę między całkowitym utlenieniem glukozy a niecałkowitym utlenieniem glukozy.
- Wymień główny substrat oraz produkty glikolizy.
- Wyjaśnij znaczenie cyklu Krebsa dla efektywnego wytwarzania ATP w komórkach.
- Określ, który z substratów oddychania tlenowego – $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ czy O_2 – jest źródłem tlenu do syntezy wody, która powstaje w tym procesie. Odpowiedź uzasadnij.

4.8. Procesy beztlenowego uzyskiwania energii



Ważne w tym temacie!

- drogi przemiany pirogronianu podczas fermentacji alkoholowej i fermentacji mleczanowej
- różnice energetyczne między utlenianiem substratu w warunkach tlenowych i beztlenowych

Niektóre organizmy uzyskują energię z procesów beztlenowych – **oddychania beztlenowego** lub **fermentacji**. Z tego powodu nazywa się je organizmami beztlenowymi (beztlenowcami, anaerobami). Wyróżnia się beztlenowce:

- **bezwzględne** (obligatoryjne), które oddychają wyłącznie bez udziału tlenu (tlen jest dla nich toksyczny),
- **względne** (fakultatywne), które mogą oddychać tlenowo lub bez udziału tlenu.

Oddychanie beztlenowe

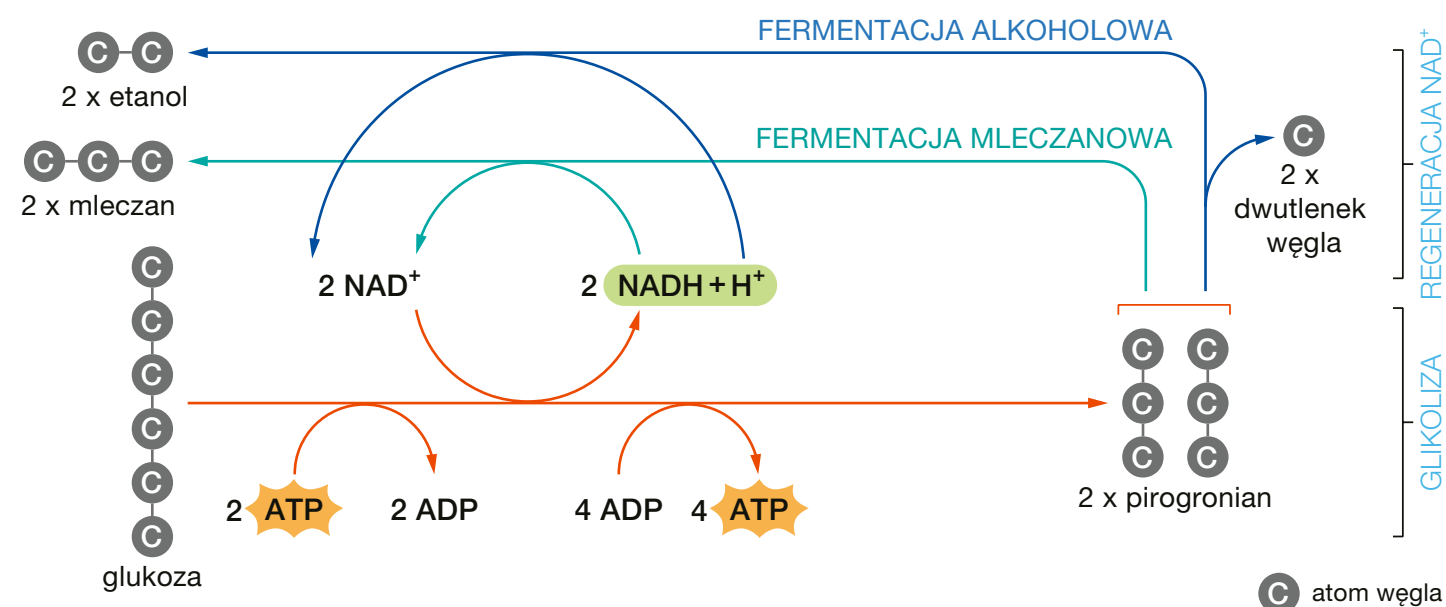
Oddychanie beztlenowe polega na całkowitym utlenieniu organicznego substratu (zwykle glukozy) bez udziału tlenu. Proces ten zachodzi u niektórych organizmów prokariotycznych i przebiega podobnie do oddychania tlenowego, jednak ostatecznym akceptorem elektronów w łańcuchu oddechowym jest substancja inna niż tlen, np. azotan(V) – NO_3^- .

Fermentacja

Fermentacja polega na niecałkowitym utlenieniu organicznego substratu (zwykle glukozy) bez udziału tlenu. Pierwszym etapem tego procesu jest **glikoliza**, podczas której zachodzą m.in. **fosforylacja substratowa** (→ s. 178) oraz **redukcja NAD^+ do $\text{NADH} + \text{H}^+$** . W drugim etapie następuje **regeneracja NAD^+** niezbędnego do zajścia kolejnej rundy glikolizy. Oba etapy fermentacji odbywają się w cytozolu komórki.

Głównymi rodzajami fermentacji są fermentacja alkoholowa oraz fermentacja mleczanowa. Różnią się one sposobem regeneracji NAD^+ .

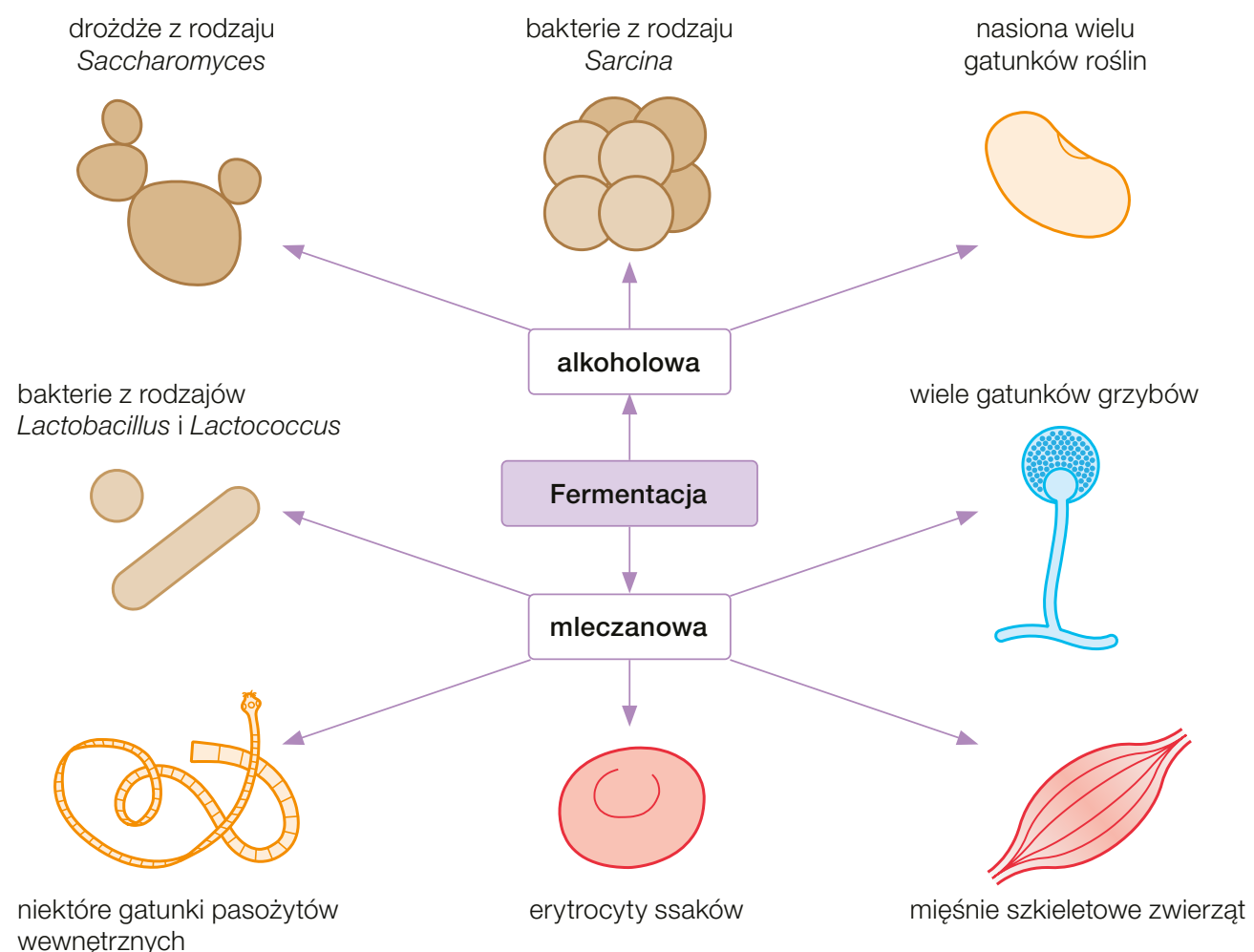
- W **fermentacji alkoholowej** zachodzą:
 - dekarboksylacja pirogronianu,
 - redukcja pirogronianu do etanolu (alkoholu etylowego).
- W **fermentacji mleczanowej** zachodzi redukcja pirogronianu do mleczanu (kwasu mlekowego).



Przebieg fermentacji alkoholowej i fermentacji mleczanowej.

Które organizmy przeprowadzają fermentację?

Fermentacja zachodzi u wielu organizmów beztlenowych (np. licznych bakterii, grzybów czy zwierzęcych pasożytów wewnętrznych), a także w niektórych komórkach organizmów tlenowych (np. w erytrocytach ssaków i we włóknach mięśni szkieletowych zwierząt w warunkach niedoboru tlenu).



■ Zastosowanie fermentacji alkoholowej i fermentacji mleczanowej

Fermentacje alkoholowa i mleczanowa są wykorzystywane np. w przemyśle spożywczym, rolnictwie i gospodarstwach domowych.

► **Fermentację alkoholową** stosuje się do produkcji m.in. napojów alkoholowych oraz pieczywa.

► **Fermentację mleczanową** stosuje się m.in. do:

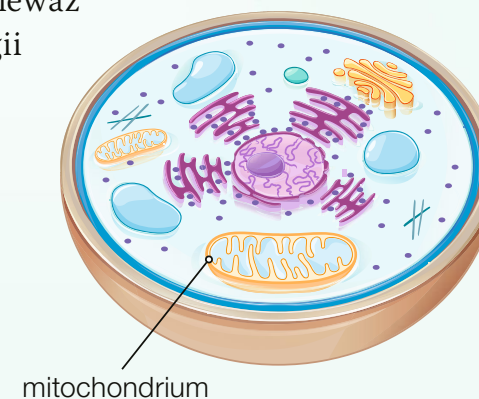
- konserwowania żywności i podwyższania jej walorów smakowych, a także do produkcji serów pleśniowych i jogurtów,
- produkcji pasz (tzw. kiszonek) dla zwierząt.



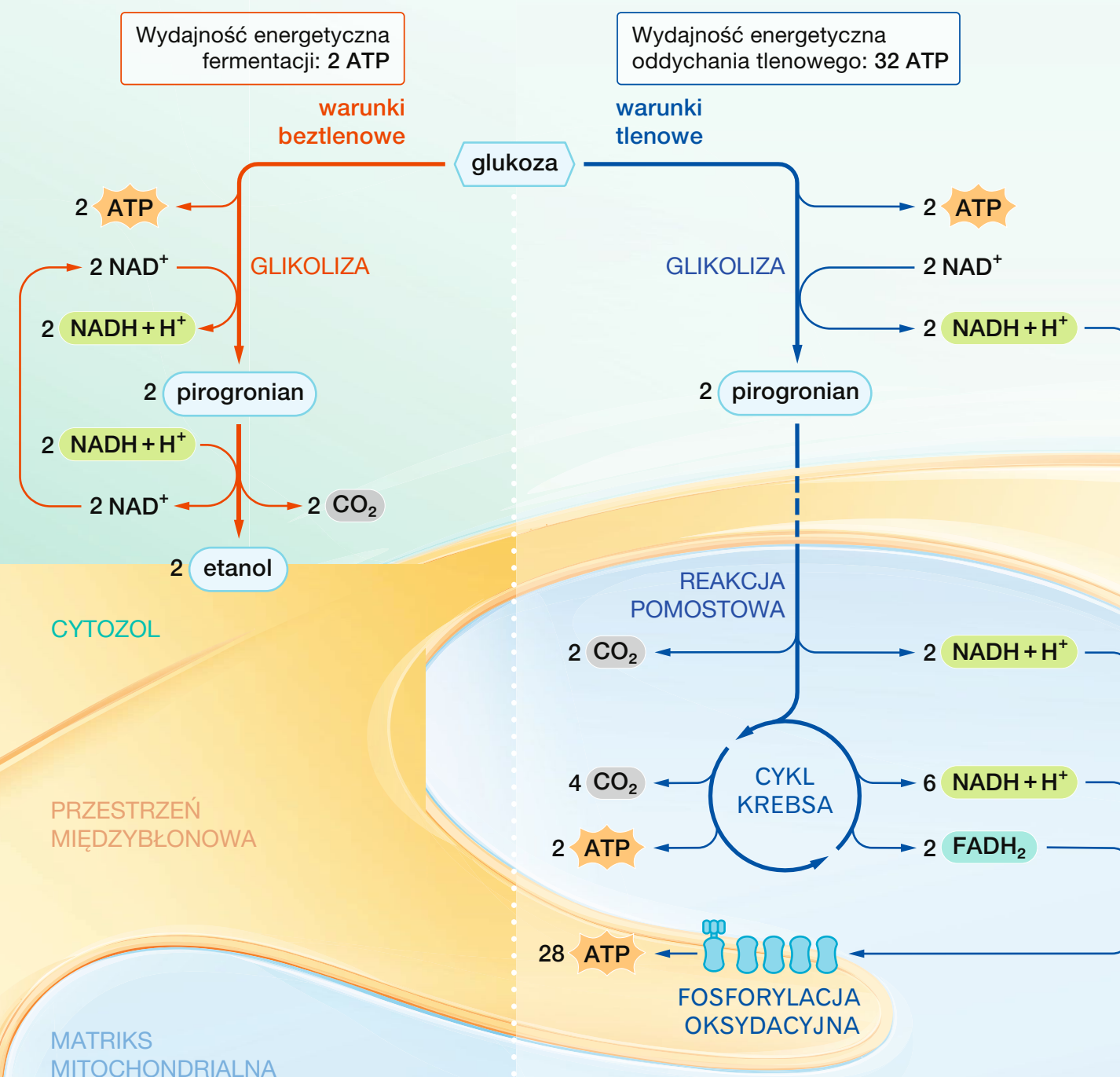
Kiszone warzywa zawierają mniej sacharydów i więcej witamin z grupy B niż ich świeże odpowiedniki.

Wydajność energetyczna fermentacji i oddychania tlenowego

Wydajność energetyczna fermentacji jest znacznie mniejsza niż wydajność energetyczna oddychania tlenowego – w przeliczeniu na jedną cząsteczkę glukozy wynosi zaledwie 2 cząsteczki ATP. Dzieje się tak, ponieważ jedynym etapem fermentacji związanym z uwalnianiem energii jest glikoliza. Natomiast podczas oddychania tlenowego pirogronian powstały w wyniku glikolizy jest całkowicie utleniany w następnych etapach, co wiąże się z wytworzeniem kolejnych 30 cząsteczek ATP (→ s. 223).



Drożdże są względnymi beztlenowcami – przeprowadzają fermentację alkoholową wtedy, gdy w środowisku nie ma tlenu. Skutkuje to powolnym tempem rozmnażania się i wzrostu.



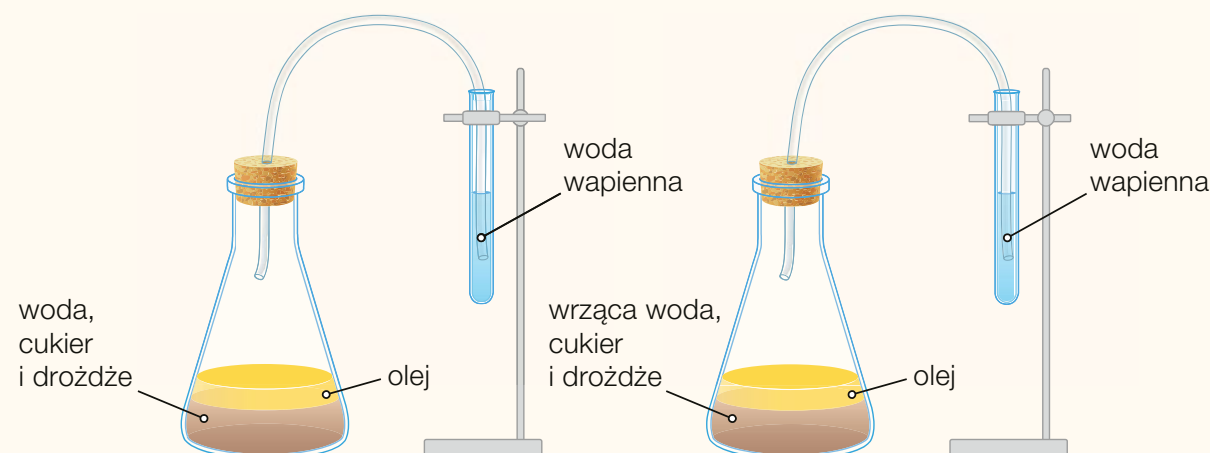


Fermentacja alkoholowa drożdży

- Problem badawczy:** Czy drożdże przeprowadzają fermentację alkoholową?
- Hipoteza badawcza:** Drożdże przeprowadzają fermentację alkoholową.
- Przebieg doświadczenia:** Przygotuj dwie zamykane korkiem kolby stożkowe o pojemności 0,5 dm³, dwie elastyczne rurki (gumowe lub plastikowe) i dwie probówki z wodą wapienną. W pierwszej kolbie stożkowej umieść pół rozdrobnionej kostki drożdży (ok. 50 g) oraz łyżkę cukru, a następnie nalej do niej ok. 150 cm³ ciepłej wody (o temperaturze ok. 30°C) i dokładnie wymieszaj. Na wierzch mieszaniny nanieś warstwę oleju spożywczego. W drugiej kolbie umieść tyle samo drożdży, cukru i oleju, ale dolej do niej wrzącej wody. Zatkaj każdą z kolb korkiem z elastyczną rurką prowadzącą do probówki z wodą wapienną.

Próba badawcza: Kolba stożkowa zawierająca drożdże, roztwór cukru o temperaturze ok. 30°C i warstwę oleju, zamknięta korkiem i połączona rurką z probówką z wodą wapienną.

Próba kontrolna: Kolba stożkowa zawierająca drożdże, roztwór cukru o temperaturze wrzenia i warstwę oleju, zamknięta korkiem i połączona rurką z probówką z wodą wapienną.



- Wynik doświadczenia:** Zaobserwuj zmiany w probówkach z wodą wapienną.
- Wniosek:** Sformułuj wniosek.

Wyjaśnienie: Zamknięcie kolb korkami oraz dodanie do nich oleju uniemożliwiają kontakt mieszaniny z tlenem zawartym w powietrzu. W takich warunkach drożdże nie mogą oddychać tlenowo, dlatego pozyskują energię na drodze fermentacji alkoholowej. Można zatem przypuszczać, że wydzielany przez nie dwutlenek węgla (CO₂) jest produktem fermentacji. Do identyfikacji CO₂ stosuje się wodę wapienną – Ca(OH)₂. W reakcji Ca(OH)₂ z CO₂ powstaje nierozpuszczalny węglan wapnia – CaCO₃ – który powoduje mętnienie wody wapiennej. W próbie kontrolnej zastosowano wysoką temperaturę w celu zdenaturowania enzymów katalizujących proces fermentacji.

Polecenia kontrolne

- Wymień dwa etapy fermentacji mleczanowej i wyjaśnij, na czym one polegają.
- Podaj różnicę między fermentacją alkoholową a fermentacją mleczanową.
- Wyjaśnij, dlaczego wydajność energetyczna fermentacji jest znacznie mniejsza niż wydajność energetyczna oddychania tlenowego.

4.9. Metabolizm głównych substratów energetycznych

Ważne w tym temacie!

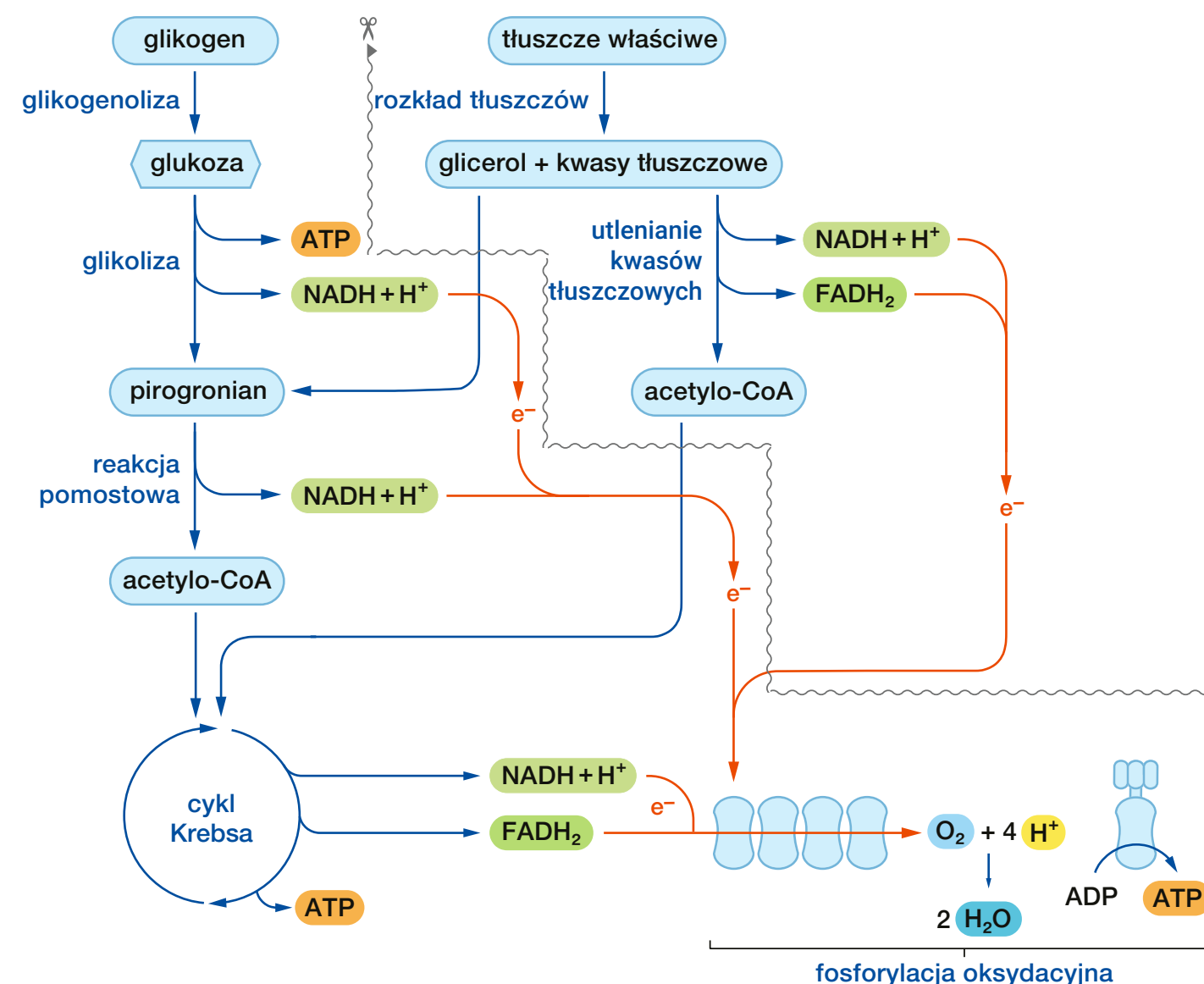
- metabolizm glukozy i glikogenu: glukoneogeneza, glikogenoliza
- metabolizm tłuszczów: utlenianie i synteza kwasów tłuszczowych
- związek między metabolizmem glikogenu i tłuszczów a pozyskiwaniem energii przez komórkę

Podstawowymi substratami oddychania komórkowego są glukoza i tłuszcze właściwe (triglicerydy).

Glukoza pochodzi głównie z pokarmu oraz z rozkładu substancji zapasowych (m.in. skrobi i glikogenu). Ponadto część glukozy powstaje z niecukrowych związków organicznych w procesie zwanym glukoneogenezą.

Tłuszcze właściwe pochodzą z pokarmu lub są wytwarzane w komórkach z glicerolu i kwasów tłuszczowych. Stanowią wydajniejsze źródło energii niż glukoza, jednak ich wykorzystanie do syntezy ATP zawsze wymaga udziału tlenu. Z tego powodu niektóre komórki, np. erytrocyty ssaków, uzyskują energię wyłącznie z rozkładu glukozy.

Związek między metabolizmem glikogenu i tłuszczów a pozyskiwaniem energii przez komórkę



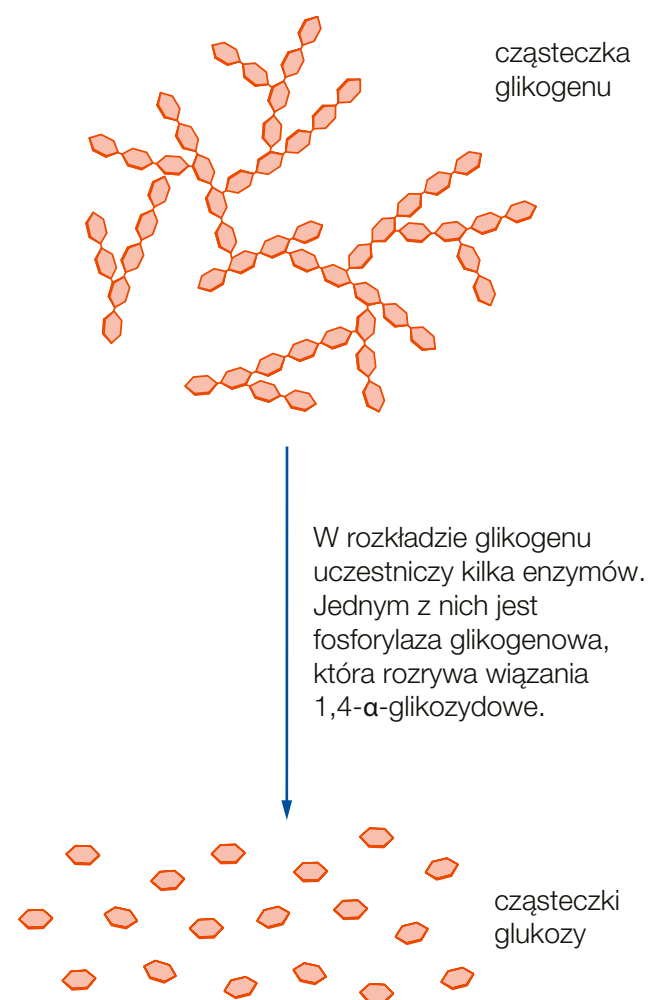
Metabolizm glikogenu

Glikogen to materiał zapasowy zwierząt i grzybów, który występuje w cytozolu komórek w postaci silnie uwodnionych ziaren. Częsteczki tego polisacharydu są bardzo rozgałęzione. Buduje je kilkadziesiąt tysięcy reszt glukozy połączonych wiązaniami α -glikozydowymi (→ s. 50).

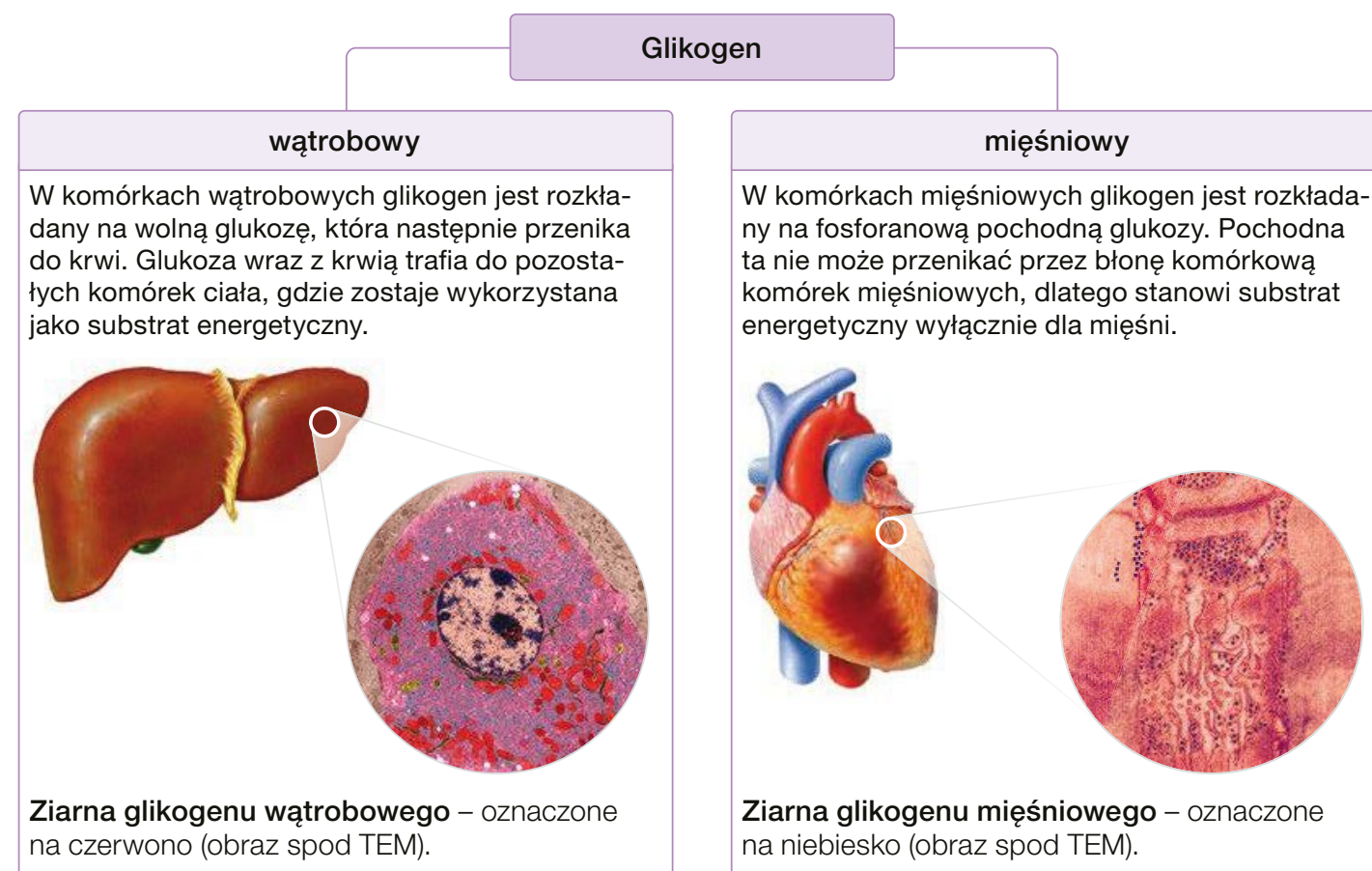
Na metabolizm glikogenu składają się dwa przeciwstawne procesy:

- ▶ **glikogenogeneza**, czyli synteza glikogenu z glukozy; u człowieka proces ten zachodzi głównie w wątrobie i w mięśniach, np. po spożyciu pokarmu lub w trakcie odpoczynku,
- ▶ **glikogenoliza**, czyli rozkład glikogenu do glukozy; u człowieka proces ten zachodzi głównie w wątrobie i w mięśniach, np. podczas głodu lub wysiłku fizycznego.

Glikogen jest łatwo dostępnym źródłem glukozy dla komórek. W jego rozkładzie uczestniczy m.in. fosforylaza glikogenowa, która odłącza skrajne cząsteczki glukozy od końców rozgałęzień. Dzięki temu glikogenoliza może zachodzić jednocześnie w wielu miejscach cząsteczki.



Uproszczony przebieg glikogenolizy.



Metabolizm tłuszczów właściwych

Tłuszcze właściwe to estry glicerolu i kwasów tłuszczowych (→ s. 55). Są one materiałem zapasowym organizmów, magazynowanym m.in. w:

- ▶ komórkach tkanki tłuszczowej (u zwierząt),
- ▶ komórkach tkanki spichrzowej (u roślin).

Tłuszcze właściwe stanowią bardzo wydajne źródło energii, ponieważ:

- ▶ są przechowywane w postaci bezwodnej – dzięki temu zawierają znacznie więcej energii w przeliczeniu na jednostkę masy niż silnie uwodnione ziarna polisacharydów zapasowych;
- ▶ ich utlenienie dostarcza dwa razy więcej energii w przeliczeniu na jednostkę masy niż utlenienie glukozy. Dzieje się tak, ponieważ kwasy tłuszczowe są bardziej zredukowane niż sacharydy – dostarczają więcej elektronów i protonów niezbędnych do syntezy ATP.

Synteza tłuszczów właściwych

Tłuszcze właściwe powstają z glicerolu i kwasów tłuszczowych. Substratem do syntezy kwasów tłuszczowych są cząsteczki acetylo-CoA pochodzące z dekarboksylacji pirogronianu (reakcji pomostowej). W organizmie człowieka

wytwarzanie kwasów tłuszczowych odbywa się m.in. w cytozolu komórek wątroby i tkanki tłuszczowej. Proces ten przeprowadza kompleks enzymatyczny zwany **syntazą kwasów tłuszczowych**.

Rozkład tłuszczów właściwych

Tłuszcze właściwe są rozkładane na glicerol i kwasy tłuszczowe. W organizmie człowieka proces ten zachodzi w komórkach tkanki tłuszczowej. Kwasy tłuszczowe powstałe w wyniku rozkładu tłuszczów stanowią bardzo wydajny substrat energetyczny. Wędrują one do tkanek wymagających dostarczenia energii, w których są utleniane w procesie zwanym **utlenianiem kwasów tłuszczowych** lub **β -oksydacją** [wym. beta oksydacją].

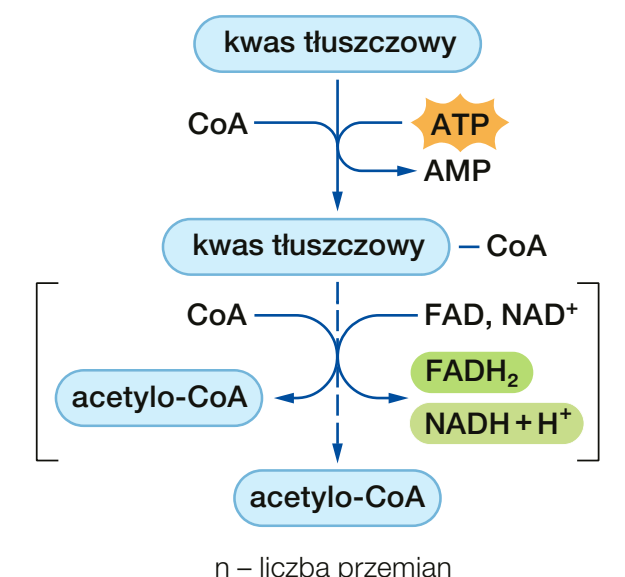
Utlenianie kwasów tłuszczowych zachodzi w mitochondriach oraz w peroksysomach komórek. W jego wyniku powstają:

- ▶ dwuwęglowe cząsteczki **acetylo-CoA**, które zostają włączone do **cyklu Krebsa**,
- ▶ cząsteczki **NADH + H⁺** i **FADH₂**; elektrony pochodzące z ich utlenienia są przekazywane na **łańcuch oddechowy**.

Wydajność energetyczna utleniania kwasów tłuszczowych

Wydajność energetyczna utleniania kwasów tłuszczowych jest ponad dwukrotnie większa (37 kJ/1 g) niż wydajność energetyczna utleniania glukozy (17 kJ/1 g).

Wydajność energetyczna utlenienia kwasu tłuszczowego zależy od długości jego łańcucha węglowego. Im dłuższy jest łańcuch węglowy kwasu, tym więcej cząsteczek acetylo-CoA oraz zredukowanych dinukleotydów powstaje w wyniku jego utlenienia.



Uproszczony przebieg utleniania kwasu tłuszczowego.



Glukoneogeneza

Glukoneogeneza jest procesem anabolicznym zachodzącym u wszystkich grup organizmów. Polega ona na syntezie glukozy ze związków innych niż cukry.

Glukoneogeneza u ssaków

U ssaków, w tym u człowieka, glukoneogeneza przebiega głównie w cytozolu komórek wątroby i nerek. Proces ten odbywa się wtedy, gdy w pokarmie znajduje się zbyt mało sacharydów lub gdy w organizmie brakuje zapasów glikogenu. Glukoneogeneza chroni organizm przed śmiercią, ponieważ zapewnia stały dopływ

glukozy do neuronów i erytrocytów, które nie korzystają z innych substratów energetycznych. U ssaków substratami glukoneogenezy są przede wszystkim mleczan, aminokwasy i glicerol.

Glukoneogeneza u roślin

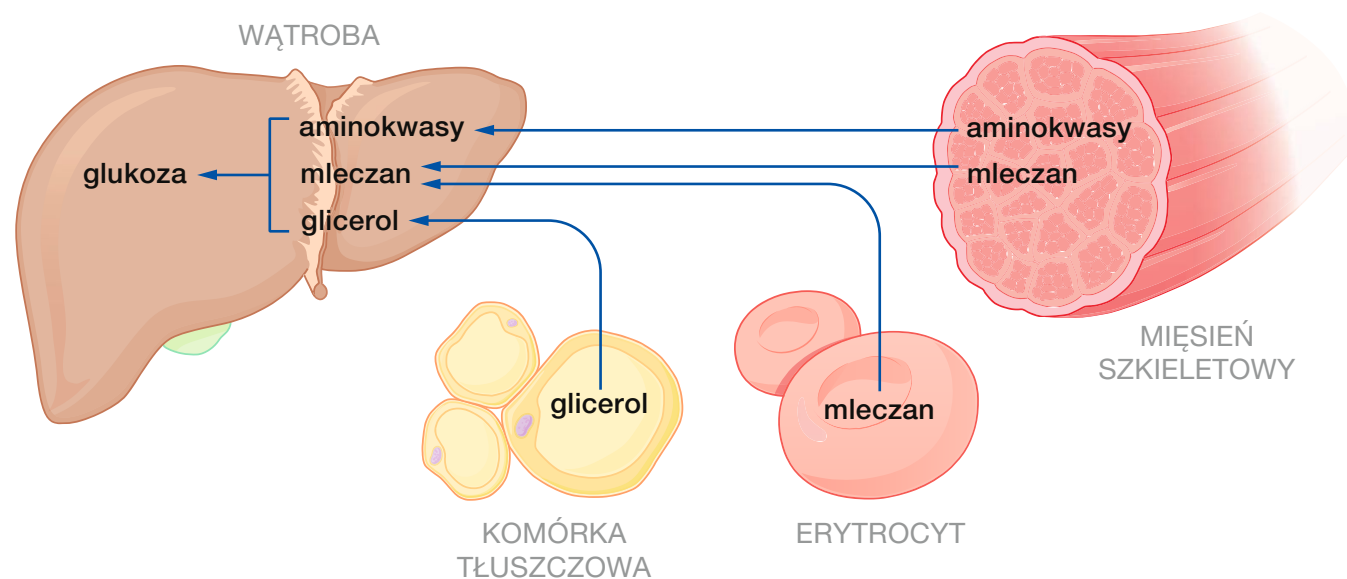
U roślin glukoneogeneza zachodzi m.in. podczas kiełkowania nasion oleistych, np. nasion słonecznika. Tłuszcze zmagazynowane w nasionach są rozkładane na glicerol i kwasy tłuszczowe. Kwasy tłuszczowe ulegają następnie utlenieniu do acetylo-CoA, który jest substratem do syntezy glukozy. Glukoza umożliwia zaś wzrost i rozwój siewki.

Glukoneogeneza w organizmie człowieka

Substratami glukoneogenezy zachodzącej w organizmie człowieka są przede wszystkim:

- ▶ mleczan, który powstaje w erytrocytach i mięśniach szkieletowych w wyniku fermentacji mleczanowej,
- ▶ aminokwasy, które pochodzą z rozkładu białek dostarczanych w pokarmie lub – w okresie głodu – z rozkładu białek mięśni szkieletowych,
- ▶ glicerol, który powstaje w komórkach tkanki tłuszczowej w wyniku rozkładu tłuszczów właściwych.

Związki te są transportowane z krwią do wątroby, gdzie zostają przekształcone w glukozę.



Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij, dlaczego glikogen wątrobowy jest dla komórek dobrym źródłem glukozy.
2. Wymień trzy produkty utleniania kwasów tłuszczowych, a następnie opisz ich przemiany w mitochondriach.
3. Wykaż związek między procesem beztlenowego uzyskiwania energii w erytrocytach i w mięśniach szkieletowych człowieka a procesem glukoneogenezy.



Podsumowanie

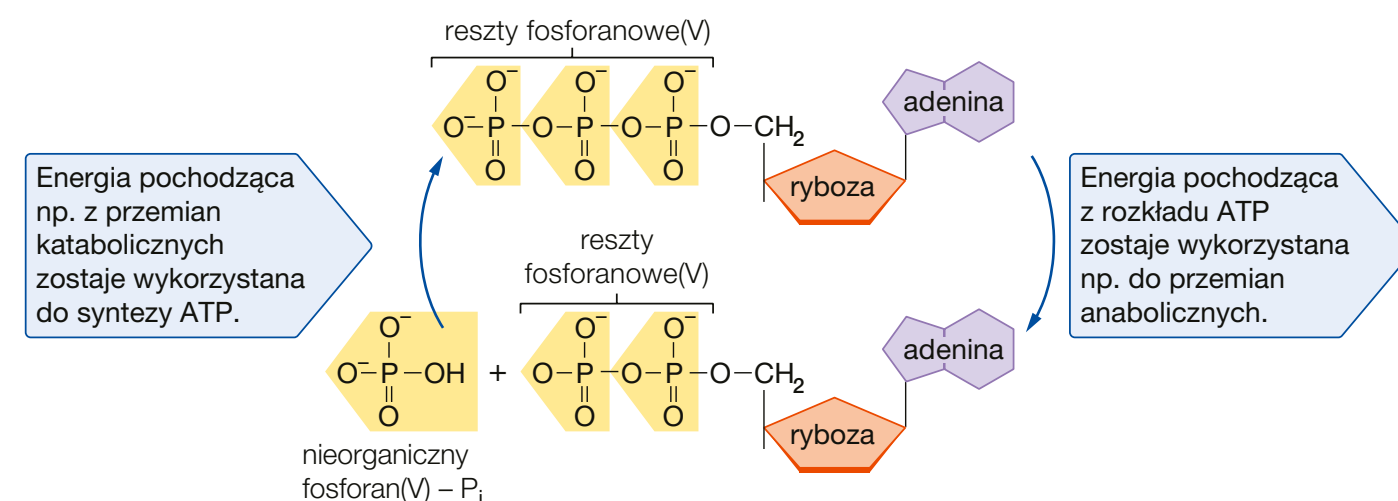


1 Metabolizm – całość przemian chemicznych oraz energetycznych komórki i organizmu.

2 Typy przemian metabolicznych

Przemiany metaboliczne	
anaboliczne	kataboliczne
• polegają na syntezie złożonych związków chemicznych z substancji prostszych • są zwykle endoenergetyczne – wymagają stałego dostarczania energii w postaci energii świetlnej lub energii chemicznej • ich produkty są zwykle bardziej zasobne w energię niż substraty	• polegają na rozkładzie złożonych związków chemicznych na substancje prostsze • są egzoenergetyczne – w ich trakcie zachodzi uwalnianie energii; część tej energii jest wykorzystywana przez komórkę, a część rozprasza się w postaci ciepła • ich produkty są mniej zasobne w energię niż substraty

3 Przenośniki energii w komórce – wysokoenergetyczne związki chemiczne, które kumulują i przenoszą energię w obrębie komórki. Podstawowym przenośnikiem energii jest ATP.



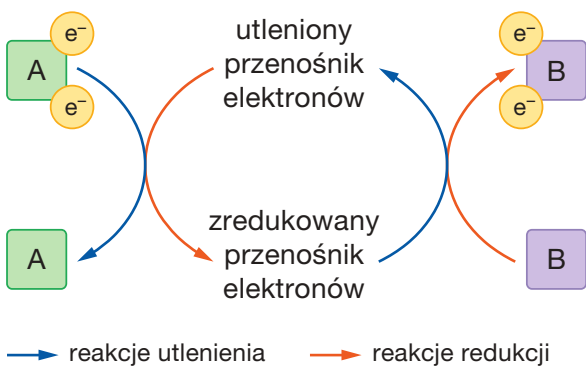
4 Mechanizmy syntezy ATP

Synteza ATP – odbywa się w wyniku fosforylacji ADP, czyli przyłączenia do ADP reszty fosforanowej(V).

Mechanizm fosforylacji	
fosforylacja substratowa	fosforylacja z udziałem gradientu protonowego (chemiosmoza)
Zwykle polega na odłączeniu reszty fosforanowej(V) – $\sim P$ – od organicznego substratu, który ma wysoką energię, i przyłączeniu jej do ADP. W rezultacie powstają związek organiczny o niższej energii oraz ATP.	Polega na syntezie ATP z ADP i nieorganicznego fosforanu – P_i – z udziałem gradientu protonowego – czyli różnicy stężeń protonów (H^+) po dwóch stronach błony biologicznej. Gradient ten jest wykorzystywany przez syntazę ATP do przeprowadzania fosforylacji ADP.

5 Przenośniki elektronów w komórce – dinukleotydy, które uczestniczą w reakcjach utlenienia–redukcji zachodzących w komórce.

Forma utleniona	Forma zredukowana	Rodzaj reakcji
NAD ⁺	NADH + H ⁺	głównie kataboliczne
NADP ⁺	NADPH + H ⁺	głównie anaboliczne
FAD	FADH ₂	głównie kataboliczne



6 Enzymy – biologiczne katalizatory, które przyspieszają przebieg reakcji chemicznych.
Kataliza enzymatyczna – zjawisko przyspieszania reakcji chemicznych przez enzymy.

7 Budowa enzymów

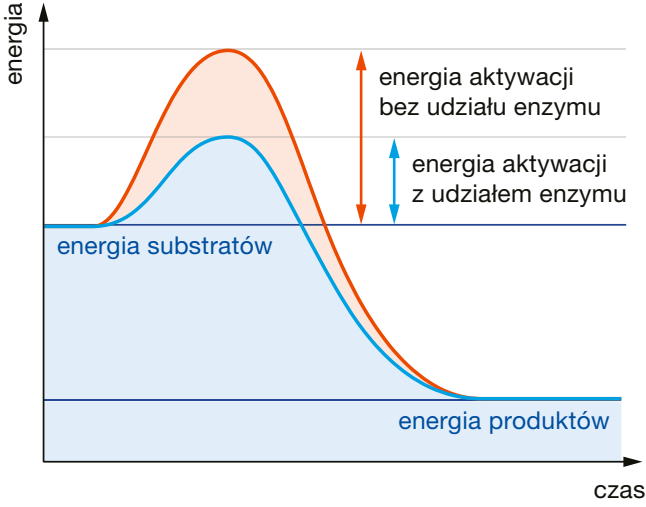
Enzymy	
białka proste	białka złożone (holoenzymy)

Kofaktory		
metale, np. Zn ²⁺ , Mg ²⁺	koenzymy, czyli drobnocząsteczkowe związki organiczne, do których należą witaminy (np. biotyna) lub pochodne witamin (np. FAD)	
	nietrwale związane z apoenzymem	trwale związane z apoenzymem (grupy prostetyczne)

8 Właściwości enzymów

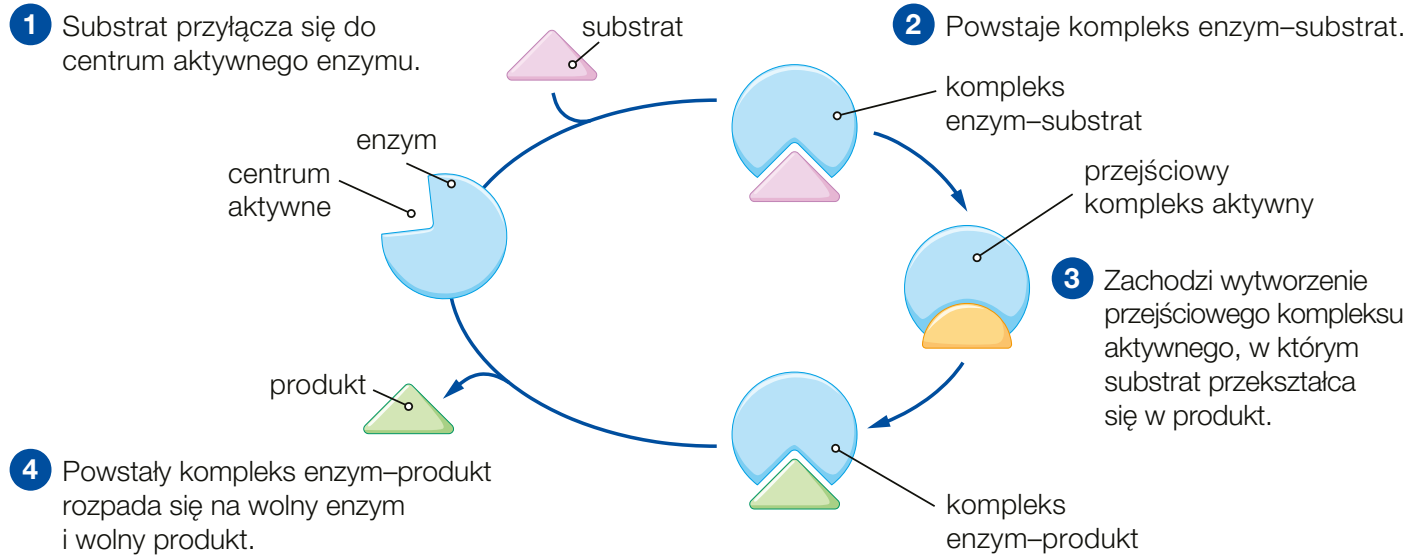
- Enzymy:
- przyspieszają przebieg reakcji chemicznych,
 - katalizują reakcje samorzutne,
 - nie zużywają się w trakcie reakcji chemicznych,
 - wykazują swoistość względem typu katalizowanej reakcji,
 - wykazują swoistość substratową.

Przebieg reakcji z udziałem enzymu i bez udziału enzymu.



9 Przebieg katalizy enzymatycznej

Ogólne równanie reakcji enzymatycznej: $E + S \leftrightarrow ES \leftrightarrow ES^* \leftrightarrow EP \rightarrow E + P$



10 Szlaki i cykle metaboliczne

Szlaki metaboliczne	Cykle metaboliczne
• Liniowe (otwarte) ciągi reakcji chemicznych, które prowadzą do powstania określonego produktu końcowego. • Przykłady: glikoliza, synteza i rozkład glikogenu, synteza i rozkład kwasów tłuszczowych.	• Zamknięte ciągi reakcji chemicznych; jeden z ostatecznych produktów cyklu jest jednocześnie wyjściowym substratem tego cyklu. • Przykłady: cykl Calvina–Bensona, cykl Krebsa.

11 Czynniki środowiska wpływające na szybkość reakcji enzymatycznych

- stężenie substratu
- temperatura
- pH

12 Czynniki regulujące szybkość reakcji enzymatycznych

- **Aktywatory** – substancje, które zwiększają aktywność enzymów, m.in. kalmodulina, cAMP, jony niektórych metali (np. Ca²⁺, Mg²⁺, Mn²⁺), drobnocząsteczkowe związki nieorganiczne (np. CO₂).
- **Inhibitory** – substancje, które hamują aktywność enzymów. Wiążą się one z enzymem, tworząc kompleks enzym–inhibitor. Do inhibitorów zalicza się niektóre trucizny i leki, a także substancje regulatorowe naturalnie występujące w organizmie.

Inhibitory		
nieodwracalne – trwale (zwykle kowalencyjnie) wiążą się z enzymem	odwracalne – nietrwale (odwracalnie) wiążą się z enzymem	
	kompetycyjne	niekompetycyjne
Powodują całkowitą utratę zdolności katalizacyjnych enzymu.	Mają strukturę przestrzenną podobną do struktury przestrzennej substratu. Dzięki temu współzawodniczą z substratem o centrum aktywne enzymu.	Mają strukturę przestrzenną niepodobną do struktury przestrzennej substratu. Łączą się z enzymem poza obszarem centrum aktywnego i nie współzawodniczą z substratem o centrum aktywne.

13 Autotroficzne odżywianie się organizmów

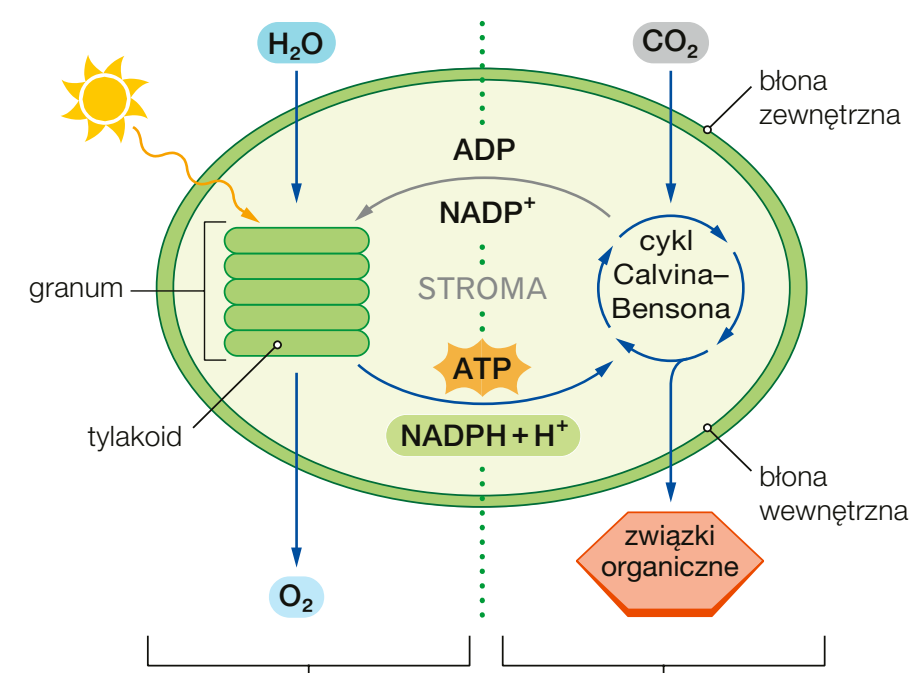
Odżywianie autotroficzne (autotrofizm) – polega na wytwarzaniu związków organicznych z prostych związków nieorganicznych. Podstawowym substratem wykorzystywanym w tym procesie jest dwutlenek węgla.

Odżywianie autotroficzne	
fotosynteza	chemosynteza
- Proces wytwarzania złożonych związków organicznych z prostych związków nieorganicznych z udziałem energii świetlnej. - Zachodzi u roślin, protistów roślinopodobnych oraz niektórych prokariotów, m.in. sinic, bakterii zielonych i bakterii purpurowych.	- Proces wytwarzania złożonych związków organicznych z prostych związków nieorganicznych z udziałem energii chemicznej. - Zachodzi u niektórych prokariotów, m.in. bakterii z rodzajów <i>Nitrosomonas</i> i <i>Nitrobacter</i>.

14 Rodzaje fotosyntezy

Fotosynteza	
oksygeniczna	anoksygeniczna
- Przebiega z uwolnieniem tlenu, ponieważ dawcą elektronów i protonów wykorzystywanych do wytworzenia siły asymilacyjnej jest woda. - Zachodzi u organizmów zasiedlających środowiska tlenowe – roślin, protistów roślinopodobnych oraz niektórych prokariotów, np. sinic.	- Przebiega bez uwolnienia tlenu, ponieważ dawcą elektronów i protonów wykorzystywanych do wytworzenia siły asymilacyjnej jest prosty związek nieorganiczny inny niż woda, np. siarkowodór. - Zachodzi u niektórych prokariotów zasiedlających środowiska beztlenowe, m.in. bakterii zielonych i bakterii purpurowych.

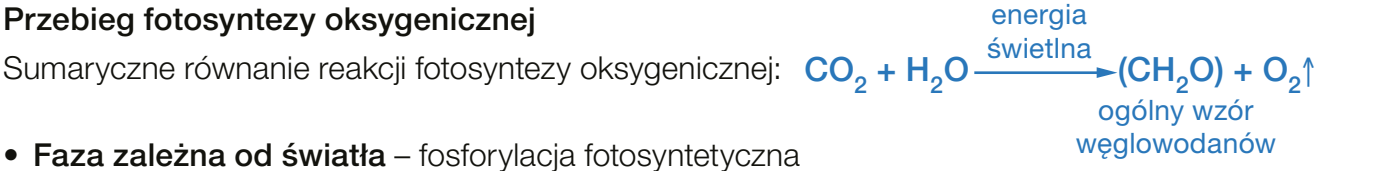
15 Związek budowy chloroplastu z przebiegiem fotosyntezy oksygenicznej



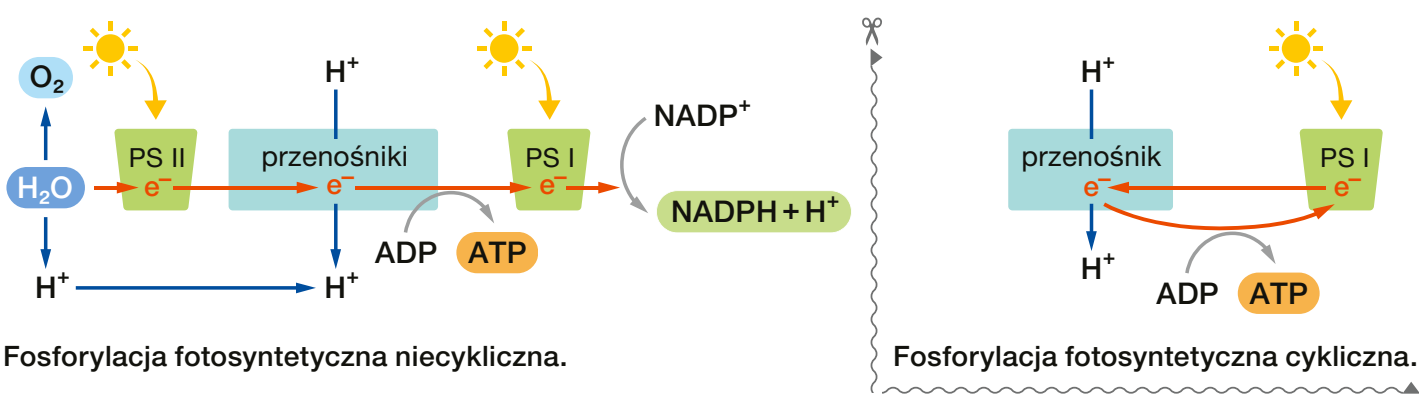
Faza zależna od światła zachodzi w tylakoidach. Polega na przemianie energii świetlnej w energię chemiczną, magazynowaną w postaci siły asymilacyjnej – ATP i NADPH + H⁺.

Faza niezależna od światła zachodzi w stromie. Polega na wykorzystaniu siły asymilacyjnej do wytworzenia związków organicznych z CO₂.

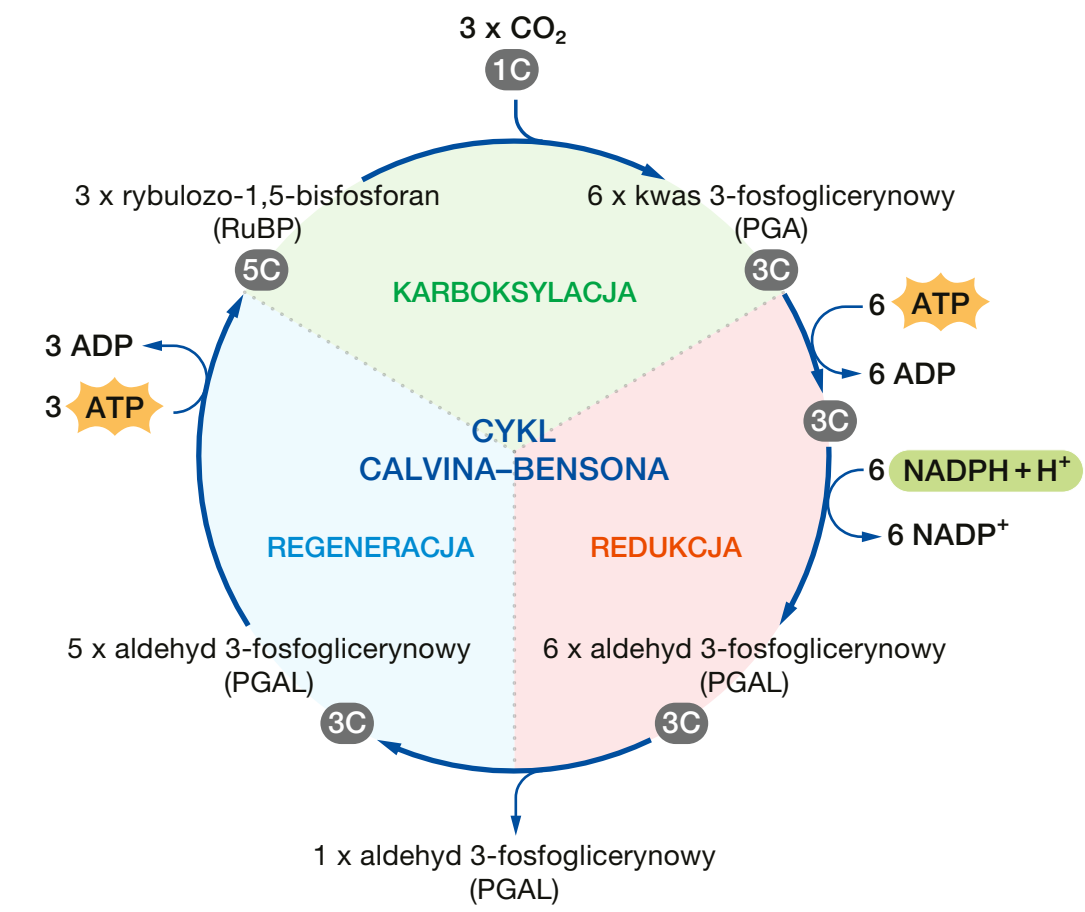
16 Przebieg fotosyntezy oksygenicznej



Fosforylacja fotosyntetyczna	
niecykliczna	cykliczna
- zachodzi z udziałem PS I i PS II - w jej trakcie następuje rozkład wody - w jej wyniku powstają: ATP, NADPH + H⁺ i O₂ - występuje wtedy, gdy stosunek NADPH + H⁺ do NADP⁺ w komórce roślinnej jest niski Sumaryczne równanie reakcji chemicznej: $\text{ADP} + \text{P}_i + 2 \text{NADP}^+ + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{ATP} + 2 \text{NADPH} + 2 \text{H}^+ + \text{O}_2$	- zachodzi z udziałem tylko PS I - w jej trakcie nie następuje rozkład wody - w jej wyniku powstaje tylko ATP - występuje wtedy, gdy stosunek NADPH + H⁺ do NADP⁺ w komórce roślinnej jest wysoki Sumaryczne równanie reakcji chemicznej: $\text{ADP} + \text{P}_i \rightarrow \text{ATP}$



• **Faza niezależna od światła** – cykl Calvin–Bensona



17 Przebieg chemosyntezy

Chemosynteza	
etap 1	etap 2
Polega na utlenianiu prostych substancji nieorganicznych. Energia chemiczna uwolniona w wyniku tych reakcji umożliwia wytworzenie siły asymilacyjnej (ATP i NADH + H ⁺ lub ATP i NADPH + H ⁺).	Polega na redukcji dwutlenku węgla do związków organicznych z wykorzystaniem siły asymilacyjnej pochodzącej z pierwszego etapu chemosyntezy.

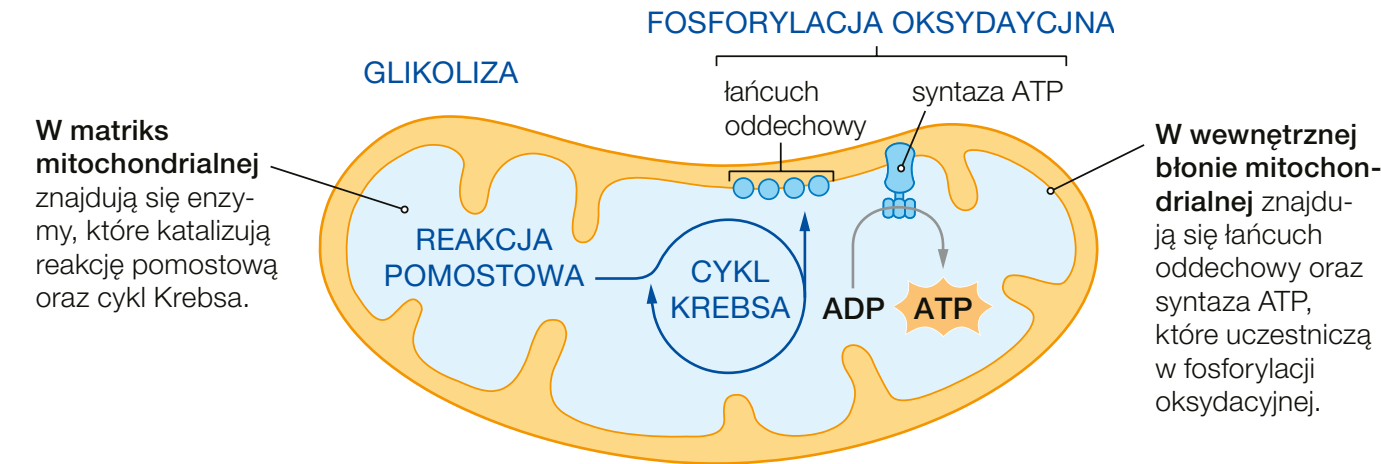
18 Porównanie fotosyntezy z chemosyntezą

Porównywane elementy	Fotosynteza	Chemosynteza
Rodzaj energii wykorzystywanej do wytwarzania siły asymilacyjnej	energia świetlna	energia chemiczna
Składniki siły asymilacyjnej	ATP i NADPH + H ⁺	ATP i NADH + H ⁺ lub ATP i NADPH + H ⁺
Organizmy przeprowadzające proces	rośliny, protisty roślinopodobne, niektóre prokarioty, m.in. sinice, bakterie zielone i bakterie purpurowe	niektóre prokarioty, m.in. bakterie nitryfikacyjne, bakterie siarkowe
Znaczenie procesu dla organizmu	wytwarzanie związków organicznych	wytwarzanie związków organicznych
Znaczenie procesu w przyrodzie	- wytwarzanie związków organicznych - produkcja tlenu	- neutralizacja substancji toksycznych - udział w krążeniu pierwiastków w przyrodzie

19 Oddychanie komórkowe – proces kataboliczny, w którego trakcie złożone związki organiczne są rozkładane i utleniane do związków prostszych, czemu towarzyszy uwalnianie energii.

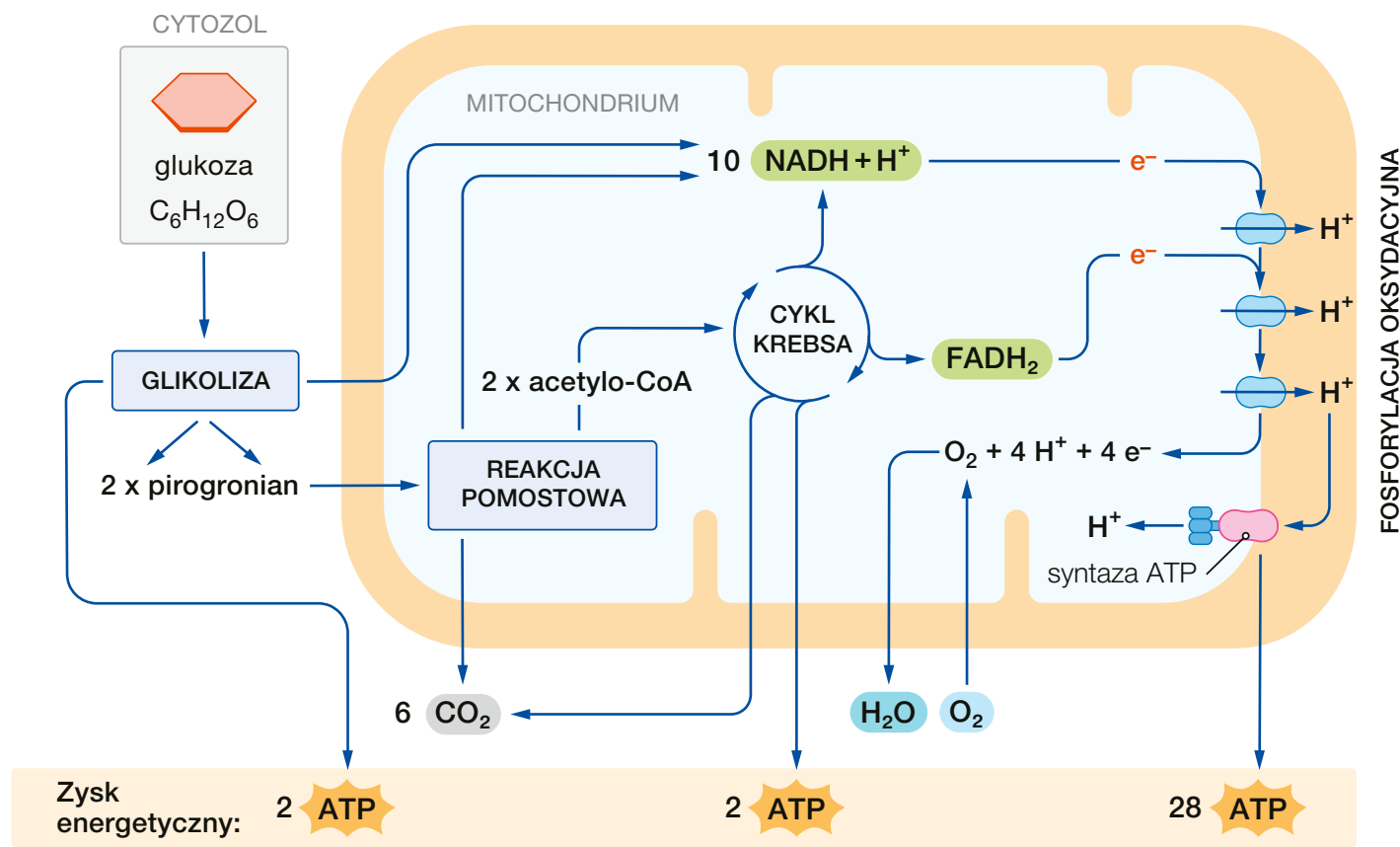
Oddychanie komórkowe		
oddychanie tlenowe	oddychanie beztlenowe	fermentacja
całkowite utlenienie glukozy z udziałem tlenu	całkowite utlenienie glukozy bez udziału tlenu	niecałkowite utlenienie glukozy bez udziału tlenu

20 Związek budowy mitochondrium z przebiegiem oddychania tlenowego

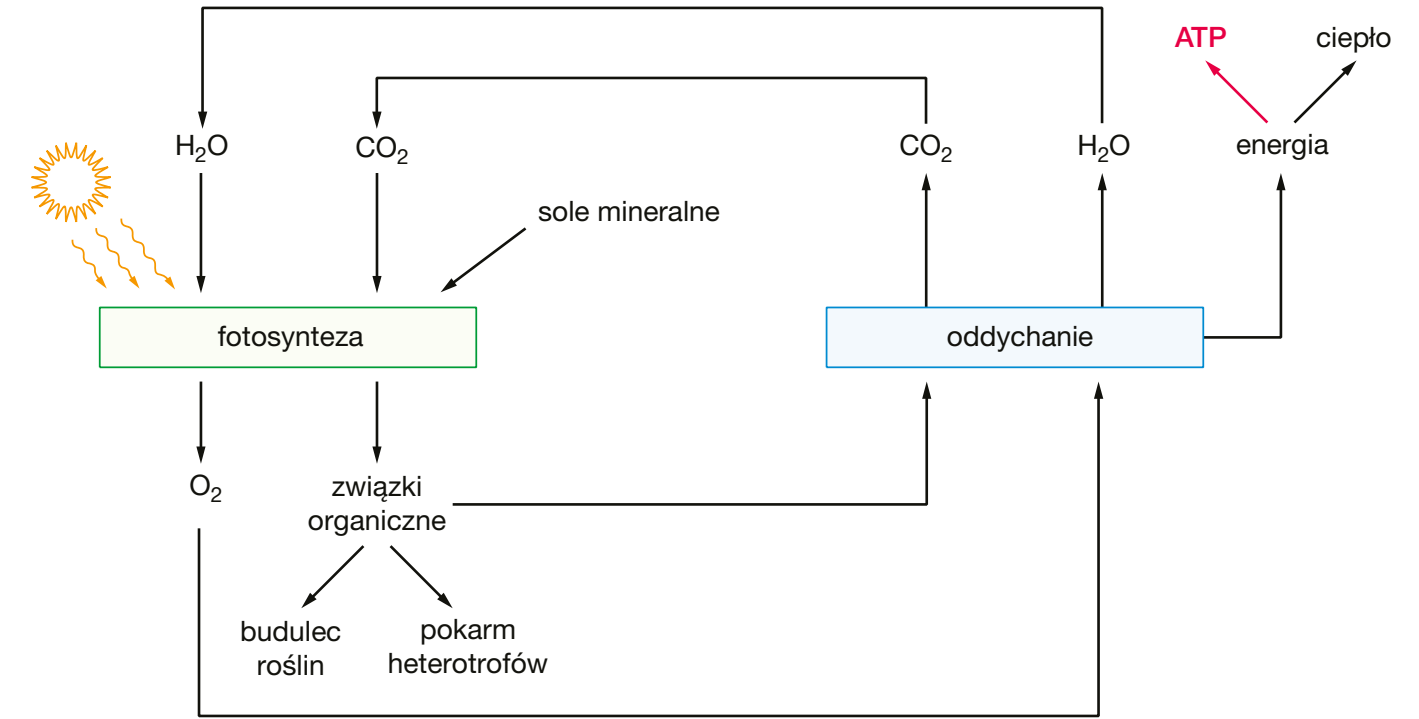


21 Przebieg oddychania tlenowego u organizmów eukariotycznych

Sumaryczne równanie reakcji oddychania tlenowego:



22 Związek między fotosyntezą a oddychaniem tlenowym





23 Fermentacja – proces uzyskiwania energii, który polega na niecałkowitym utlenieniu glukozy bez udziału tlenu. Fermentacja składa się z dwóch etapów – glikolizy oraz regeneracji NAD^+ .

Cecha	Fermentacja	
	alkoholowa	mleczanowa
Lokalizacja w komórce	cytozol	cytozol
Podstawowy substrat organiczny	glukoza	glukoza
Ostateczne produkty procesu	ATP, CO_2 , alkohol etylowy	ATP, kwas mlekowy
Wydajność energetyczna	2 ATP	2 ATP

24 Metabolizm glikogenu

Glikogenogeneza – synteza glikogenu z glukozy; u człowieka proces ten zachodzi głównie w wątrobie i w mięśniach, np. po spożyciu pokarmu lub w trakcie odpoczynku.

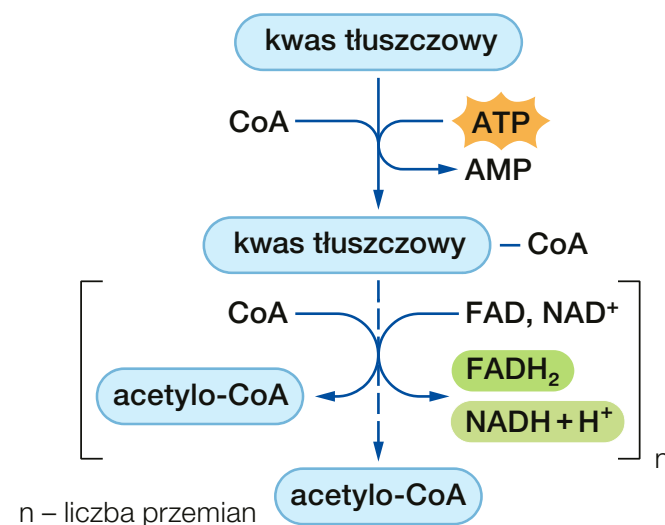
Glikogenoliza – rozkład glikogenu do glukozy; u człowieka proces ten zachodzi głównie w wątrobie i w mięśniach, np. podczas głodu lub wysiłku fizycznego.

25 Metabolizm tłuszczów właściwych

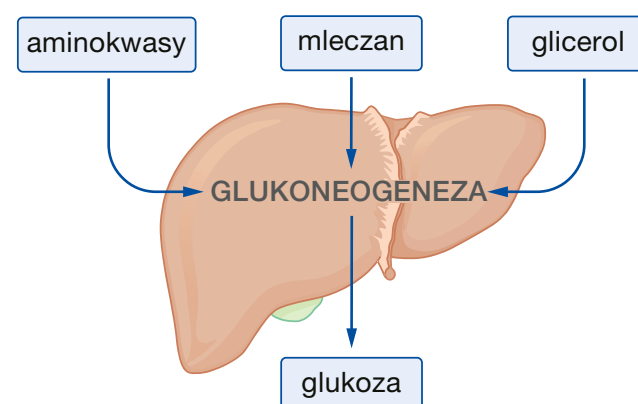
- U zwierząt synteza i rozkład tłuszczów właściwych zachodzą w komórkach tkanki tłuszczowej.
- U roślin synteza i rozkład tłuszczów właściwych zachodzą głównie w komórkach nasion oleistych.

26 Utlenianie kwasów tłuszczowych

Utlenianie kwasów tłuszczowych (β -oksydacja) – rozkład kwasów tłuszczowych na dwuwęgłowe cząsteczki acetylo-CoA (zostają włączone do cyklu Krebsa). W wyniku utleniania kwasów tłuszczowych powstają również cząsteczki $\text{NADH} + \text{H}^+$ i FADH_2 (zostają przekazane na łańcuch oddechowy). Utlenianie kwasów tłuszczowych odbywa się w komórkach wykazujących aktualne zapotrzebowanie energetyczne.



27 Glukoneogeneza – synteza glukozy ze związków innych niż cukry. U człowieka proces ten zachodzi głównie w wątrobie i w nerkach.

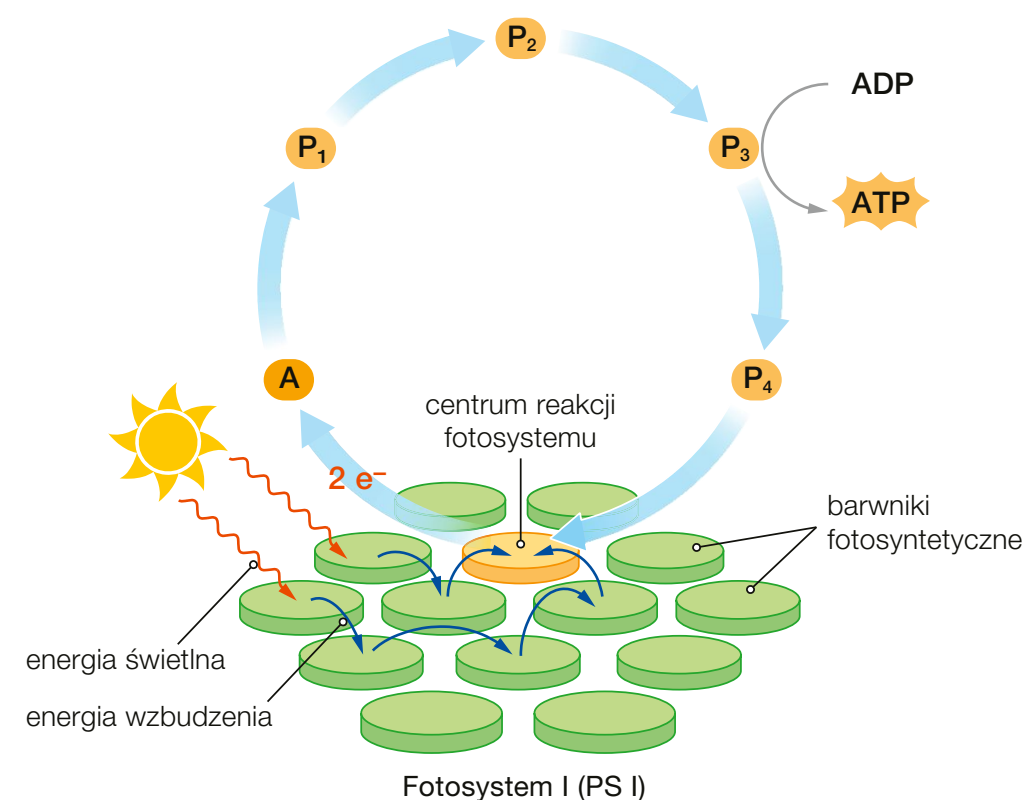


Sposób na zadania

WYKONAJ W ZESZYCIE



1 Schemat przedstawia przebieg fosforylacji fotosyntetycznej. Literą A oznaczono pierwotny akceptor elektronów, a symbolami P_1 – P_4 – kolejne przenośniki elektronów.



a) Określ, czy przedstawiona fosforylacja fotosyntetyczna jest fosforylacją cykliczną czy fosforylacją niecykliczną. Odpowiedź uzasadnij, uwzględniając sposób przepływu elektronów oraz powstające składniki siły asymilacyjnej.

Zwróć uwagę na produkt powstający w wyniku fosforylacji.

W odpowiedzi uwzględnij sposób transportu elektronów wybitych z cząsteczki chlorofilu a w centrum reakcji PS I. Czy transport ten zachodzi liniowo czy zamyka się i tworzy cykl?

Rozwiązanie:

Przedstawiona fosforylacja jest fosforylacją fotosyntetyczną cykliczną, ponieważ elektrony wybite z chlorofilu a w centrum reakcji PS I przepływają z powrotem do tego samego fotosystemu i uzupełniają ubytek elektronów. Tym samym jedynym powstającym składnikiem siły asymilacyjnej jest ATP.



Fosforylacja fotosyntetyczna zachodzi podczas fazy jasnej fotosyntezy. W fosforylacji tej uczestniczy syntaza ATP, która wykorzystuje gradient protonowy (występujący w poprzek błony tylakoidu) do fosforylacji ADP, co skutkuje wytworzeniem ATP.

b) Wybierz nazwę przedziału chloroplastu, w którym zachodzi fosforylacja fotosyntetyczna.

wnętrze tylakoidu stroma błona tylakoidu przestrzeń międzybłonowa

Rozwiązanie:

wnętrze tylakoidu stroma błona tylakoidu przestrzeń międzybłonowa

c) Określ, które stwierdzenia dotyczące fotosystemów są prawdziwe. Wybierz P, jeśli stwierdzenie jest prawdziwe, albo F – jeśli jest fałszywe.

Przypomnij sobie, które związki należą do barwników fotosyntetycznych.

1.	Głównymi składnikami fotosystemów są cząsteczki chlorofilu i karotenoidów.	P	F
2.	W skład fotosystemu I wchodzi kompleks enzymatyczny rozkładający wodę na elektrony, protony i tlen.	P	F
3.	W obrębie kompleksu antenowego dochodzi do przekształcenia energii świetlnej w energię wzbudzenia elektronów.	P	F

Przeanalizuj schemat. Zwróć uwagę na kolorowe strzałki obrazujące przepływ i przekształcenia energii.

Przeanalizuj schemat. Czy jest na nim widoczna reakcja rozkładu wody na elektrony, protony i tlen?

Rozwiązanie:

P, F, P

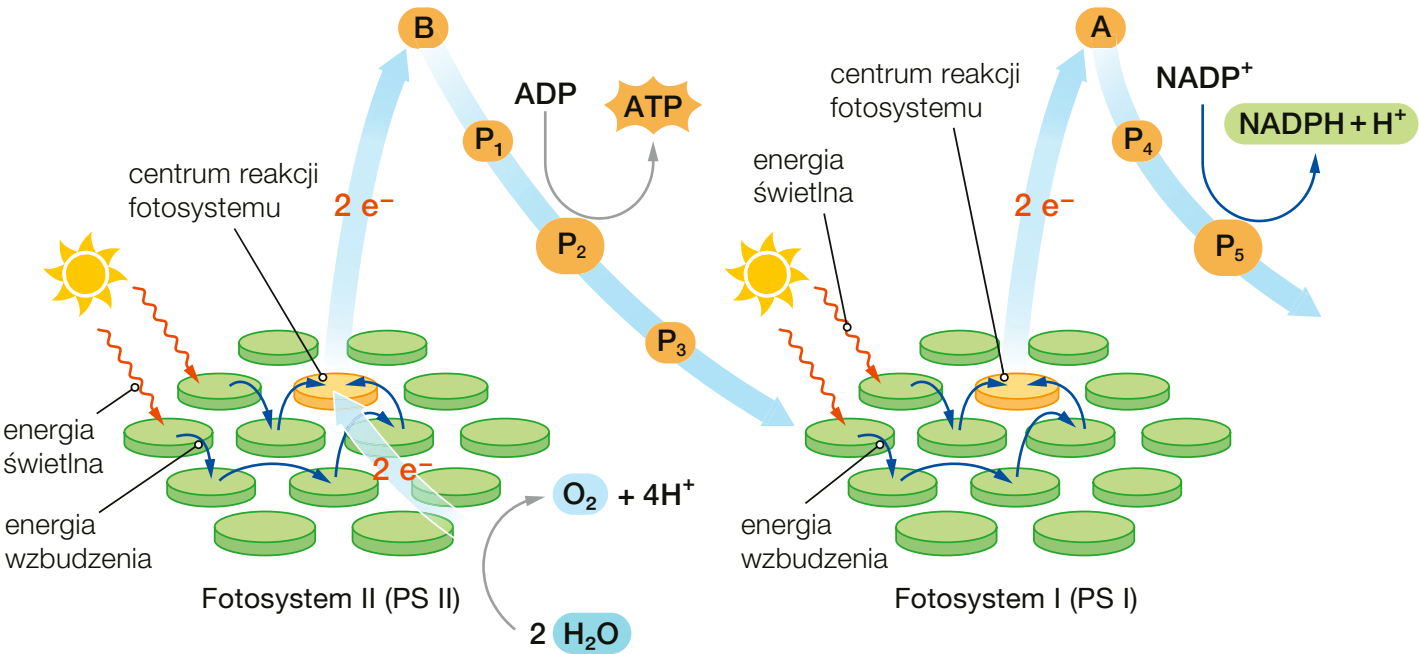


Zadanie analogiczne

WYKONAJ W ZESZCIE



1 Schemat przedstawia przebieg fosforylacji fotosyntetycznej. Literami A i B oznaczono pierwotne akceptory elektronów, a symbolami P₁–P₅ – kolejne przenośniki elektronów.



a) Określ, czy przedstawiona fosforylacja fotosyntetyczna jest fosforylacją cykliczną czy fosforylacją niecykliczną. Odpowiedź uzasadnij, uwzględniając sposób przepływu elektronów oraz powstające składniki siły asymilacyjnej.

b) Wybierz nazwę przedziału chloroplastu, w którym zachodzi asymilacja dwutlenku węgla.

wnętrze tylakoidu stroma błona tylakoidu przestrzeń międzybłonowa

c) Określ, które stwierdzenia dotyczące fotosystemów są prawdziwe. Wybierz P, jeśli stwierdzenie jest prawdziwe, albo F – jeśli jest fałszywe.

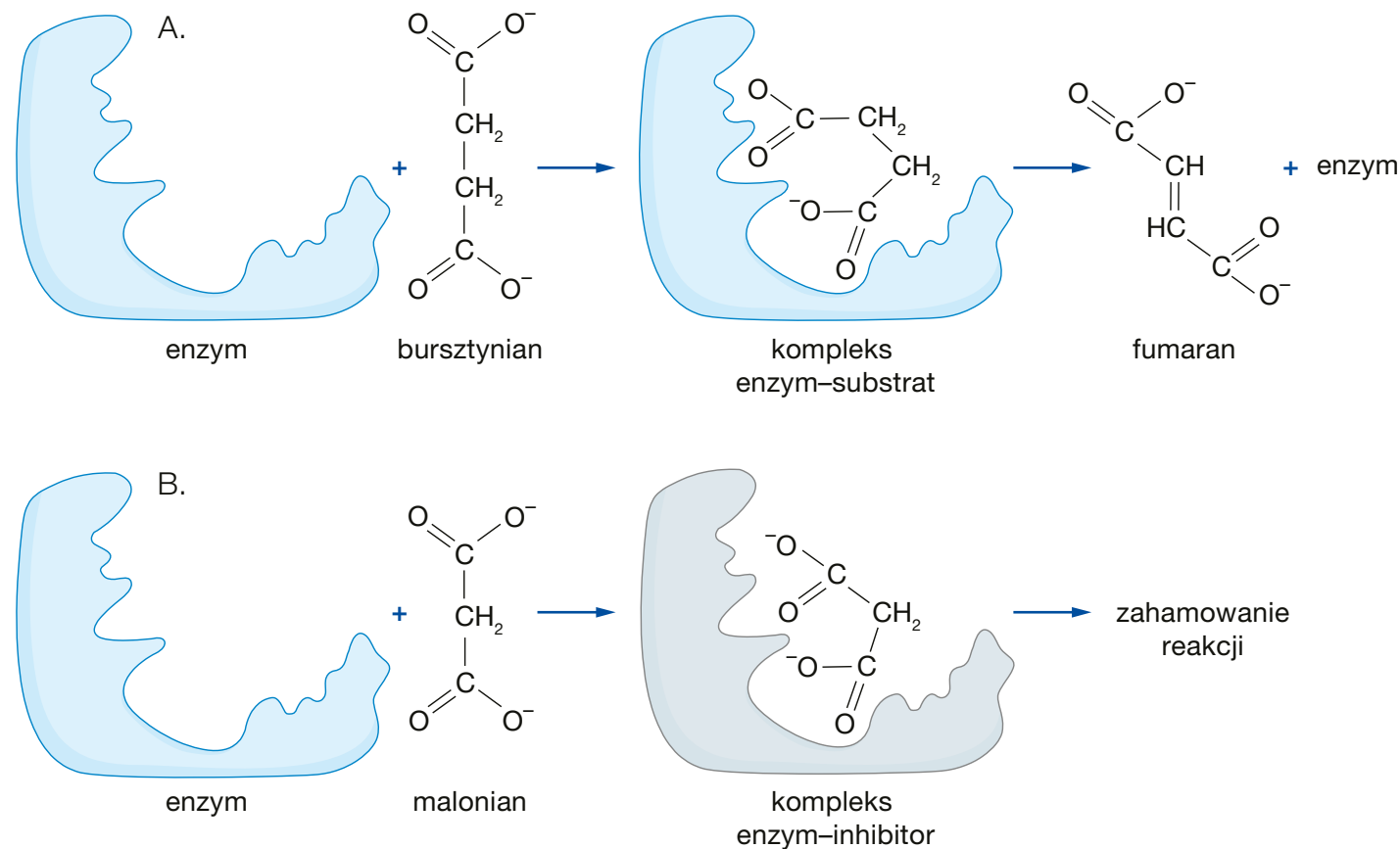
1.	Fotosystemy PS I i PS II pochłaniają światło o takiej samej długości fali.	P	F
2.	W skład fotosystemu II wchodzi kompleks enzymatyczny rozkładający wodę na elektrony, protony i tlen.	P	F
3.	W obrębie fotosystemów dochodzi do asymilacji dwutlenku węgla.	P	F

Zadania powtórzeniowe

WYKONAJ W ZESZYCIE



- 1** Dehydrogenaza bursztynianowa należy do enzymów cyklu Krebsa, który jest jednym z etapów oddychania tlenowego. Enzym ten katalizuje utlenienie bursztynianu do fumaranu, połączone z redukcją NAD^+ do $\text{NADH} + \text{H}^+$. Inhibitorem dehydrogenazy bursztynianowej jest malonian. Schemat przedstawia działanie dehydrogenazy bursztynianowej bez udziału inhibitora (A) oraz z udziałem inhibitora (B).



- a) Wybierz klasę enzymów, do której należy dehydrogenaza bursztynianowa.

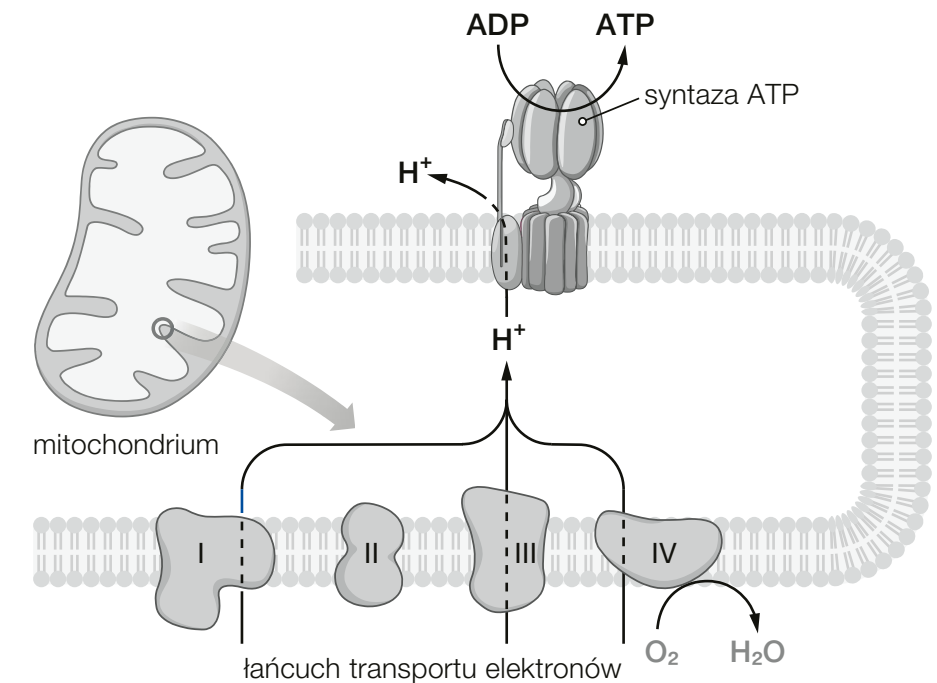
A. Hydrolazy.
B. Oksydoreduktazy.
C. Transferazy.
D. Ligazy.

- b) Wskaż właściwe dokończenie zdania wybrane spośród A–B oraz jego poprawne uzasadnienie wybrane spośród 1–3.

Malonian jest inhibitorem

A.	konkurencyjnym,	ponieważ	1.	wiąże się nietrwale z dehydrogenazą bursztynianową.
B.	niekonkurencyjnym,		2.	wiąże się z centrum aktywnym dehydrogenazy bursztynianowej, co uniemożliwia przyłączenie substratu.
			3.	zmienia kształt centrum aktywnego dehydrogenazy bursztynianowej.

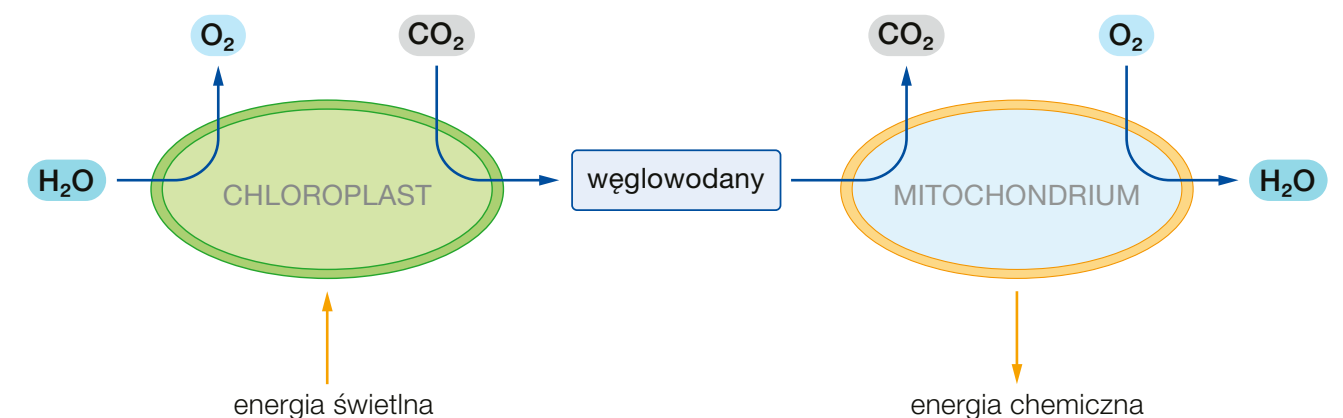
- 2** Schemat przedstawia przebieg fosforylacji oksydacyjnej w komórkach eukariotycznych.



Na podstawie: J.L. Tymoczko, J.M. Berg, L. Stryer, *Biochemia. Krótki kurs*, Warszawa 2013, s. 398.

- a) Podaj dwie funkcje kompleksów oznaczonych na schemacie cyframi I, III i IV.
- b) Uzupełnij poniższe zdania tak, aby zawierały prawdziwe informacje. Wybierz w każdym nawiasie właściwe określenie.
- Fosforylacja oksydacyjna jest jednym z etapów (oddychania beztlenowego / fermentacji / oddychania tlenowego). W jej przebiegu zachodzi (utlenianie / redukcja) cząsteczek $\text{NADH} + \text{H}^+$ i FADH_2 , a następnie transport (elektronów / protonów) przez łańcuch przekaźników zlokalizowanych w (zewnątrznej / wewnętrznej) błonie mitochondrialnej. Transportowi temu towarzyszy pompowanie protonów z (przestrzeni międzybłonowej / matryks mitochondrialnej) do (przestrzeni międzybłonowej / matryks mitochondrialnej). Dzięki temu wytwarza się gradient protonowy wykorzystywany przez syntazę ATP do syntezy ATP.
- c) Określ, czy transport protonów przez kanał syntazy ATP zachodzący w trakcie fosforylacji oksydacyjnej jest transportem czynnym czy transportem biernym. Odpowiedź uzasadnij.

- 3** Schemat przedstawia funkcjonalne powiązania między fotosyntezą a oddychaniem tlenowym w komórkach roślinnych.

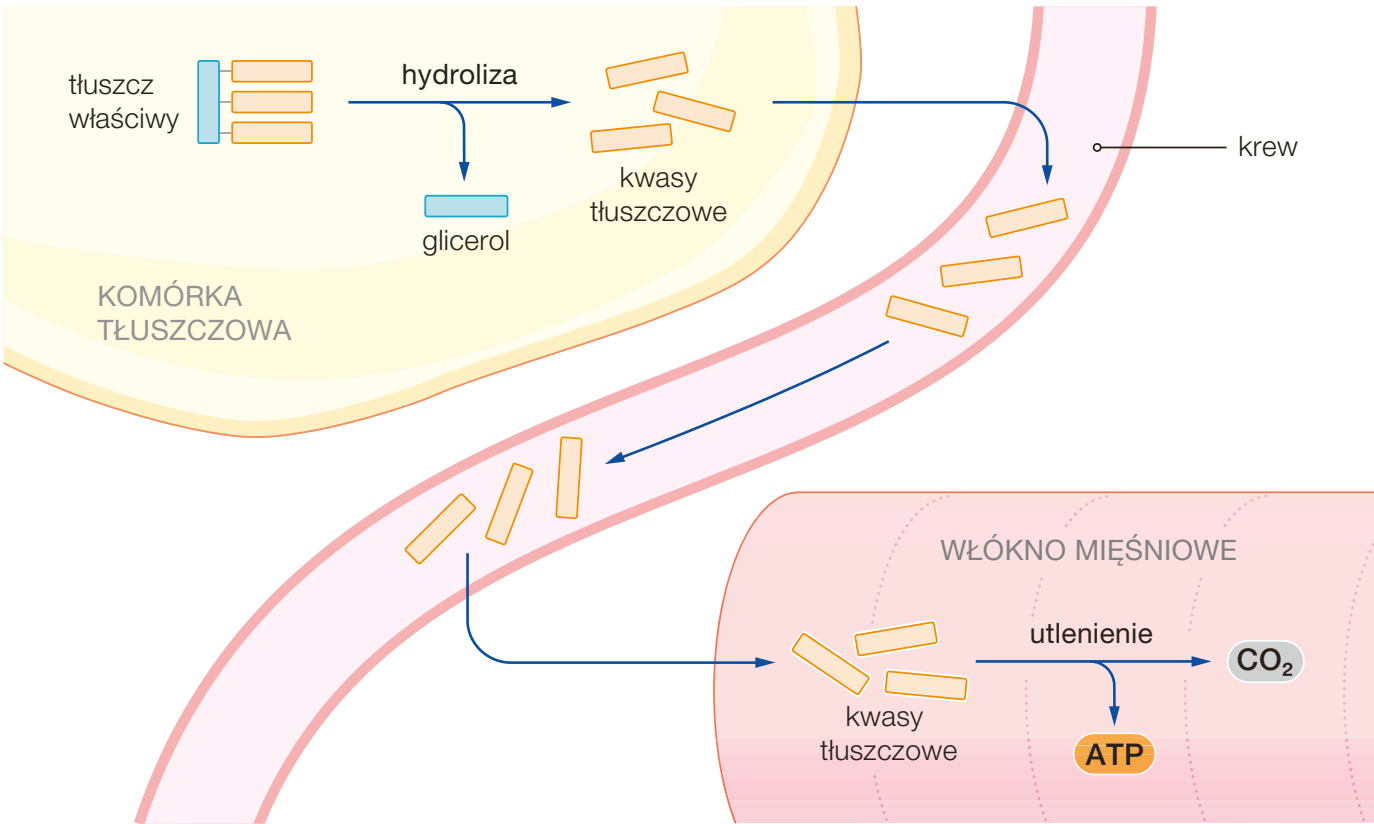




- a) Określ, która z przedstawionych przemian ma charakter anaboliczny, a która – kataboliczny. Odpowiedź uzasadnij jednym argumentem.
- b) Wypisz ze schematu wszystkie produkty fotosyntezy, które są substratami oddychania tlenowego, oraz wszystkie produkty oddychania tlenowego, które są substratami fotosyntezy.
- c) Określ, które stwierdzenia dotyczące fotosyntezy i oddychania tlenowego są prawdziwe. Wybierz P, jeśli stwierdzenie jest prawdziwe, albo F – jeśli jest fałszywe.

1.	Ubocznym produktem fotosyntezy jest tlen cząsteczkowy, który pochodzi z fotolizy wody.	P	F
2.	Dwutlenek węgla powstający w oddychaniu tlenowym jest jednym z produktów glikolizy.	P	F
3.	Część energii uwalnianej w trakcie oddychania tlenowego zostaje zmagazynowana w ATP, a część rozprasza się w postaci ciepła.	P	F

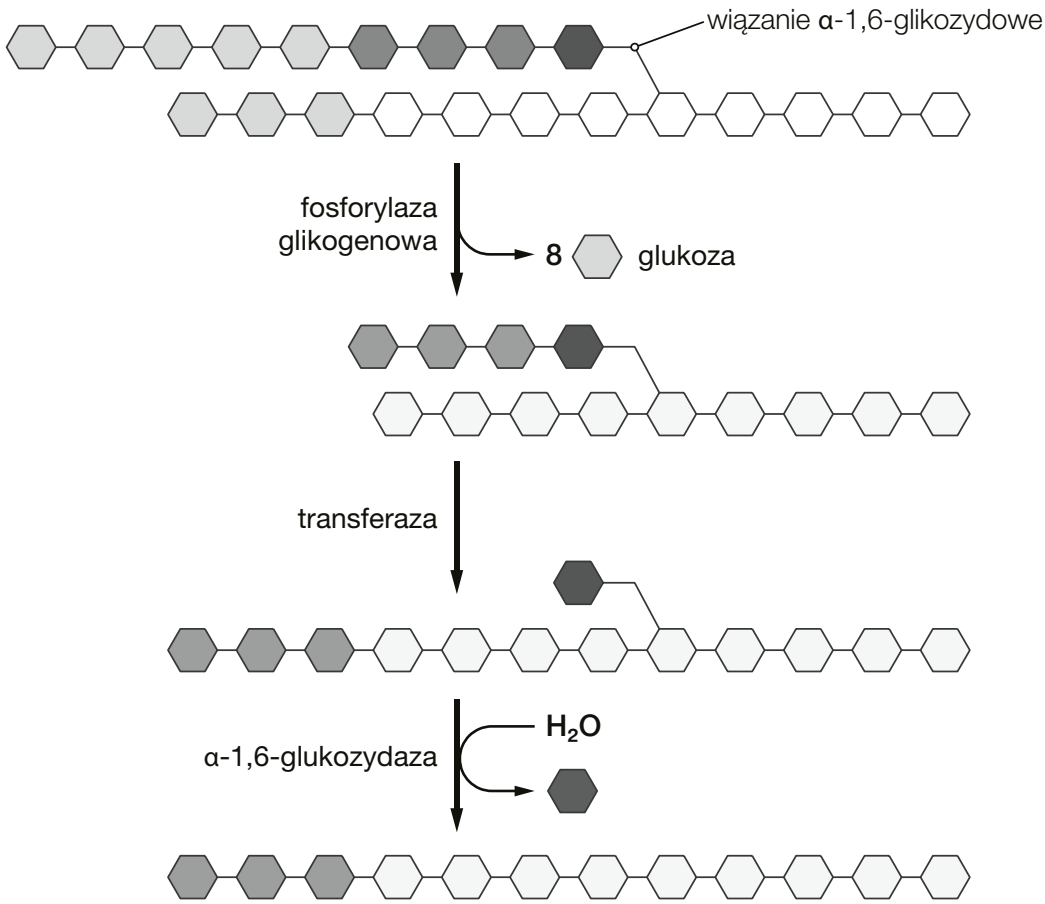
4 Schemat przedstawia katabolizm tłuszczów właściwych w organizmie człowieka.



- a) Określ, jaka funkcja tłuszczów właściwych została przedstawiona na schemacie. Odpowiedź uzasadnij.
- b) Wybierz dwie prawdziwe informacje dotyczące tłuszczów właściwych.
- A. Tłuszcze właściwe są wytwarzane w komórkach z glicerolu i kwasów tłuszczowych.
- B. Tłuszcze właściwe są związkami hydrofilowymi, ponieważ składają się z hydrofilowej głowy (glicerolu) i hydrofobowego ogona (reszt kwasów tłuszczowych).
- C. Większość kwasów tłuszczowych wchodzących w skład tłuszczów właściwych jest zbudowana z nieparzystej liczby atomów węgla.
- D. Tłuszcze właściwe stanowią bardzo wydajny materiał zapasowy, ponieważ są gromadzone w komórkach w postaci bezwodnej.

5 „Fosforylaza glikogenowa, kluczowy enzym w rozkładzie glikogenu, może samodzielnie przeprowadzać ten proces tylko w ograniczonym zakresie, do czasu napotkania przeszkody. Wiązania α -1,6-glikozydowe, występujące w miejscach rozgałęzienia, nie są rozszczepiane przez fosforylazę. [...] Dwa dodatkowe enzymy, transferaza i α -1,6-glikozydaza, przekształcają glikogen w taki sposób, że może być dalej degradowany przez fosforylazę”.

Źródło: J.L. Tymoczko, J.M. Berg, L. Stryer, *Biochemia. Krótki kurs*, Warszawa 2013, s. 453.



Na podstawie: J.L. Tymoczko, J.M. Berg, L. Stryer, *Biochemia. Krótki kurs*, Warszawa 2013, s. 454.

- a) Wymień dwa główne narządy organizmu człowieka, w których jest wytwarzany glikogen.
- b) Podaj funkcję glikogenu w organizmie człowieka.
- c) Podaj pełną nazwę wiązań chemicznych rozkładanych przez fosforylazę glikogenową.
- d) Określ, które stwierdzenia dotyczące rozkładu glikogenu są prawdziwe. Wybierz P, jeśli stwierdzenie jest prawdziwe, albo F – jeśli jest fałszywe.

1.	Fosforylaza glikogenowa przestaje rozkładać wiązania w chwili, gdy dotrze do reszty glukozy odległej o cztery reszty glukozy od punktu rozgałęzienia.	P	F
2.	Transferaza przenosi trzy reszty glukozy z jednego zewnętrznego odgałęzienia na inne rozgałęzienie.	P	F
3.	α -1,6-glikozydaza usuwa rozgałęzienia – rozkłada wiązania α -1,6-glikozydowe, dzięki czemu powstaje wolna glukoza.	P	F

e) Na podstawie schematu określ, do której klasy enzymów należy α -1,6-glikozydaza. Uzasadnij odpowiedź za pomocą jednego argumentu.



Sposób na zadania – odpowiedzi



Strona	Propozycja poprawnej odpowiedzi
1. Badania przyrodnicze	
34	a) Czy brak dostępu do światła wpływa na rozwój młodych pędów ziemniaka? / Wpływ braku dostępu do światła na rozwój młodych pędów ziemniaka. / Czy światło jest niezbędne do prawidłowego rozwoju młodych pędów ziemniaka?
	b) Próba kontrolna: roślina hodowana w świetle.
	c) Młode pędy ziemniaka rosnące w ciemności osiągają większy wzrost niż młode pędy ziemniaka rosnące w świetle / są wyższe niż młode pędy ziemniaka rosnące w świetle. / Młode pędy ziemniaka rosnące w świetle są krótsze niż młode pędy ziemniaka rosnące w ciemności. / Brak światła podczas rozwoju roślin ziemniaka powoduje znaczne wydłużenie pędów.
2. Chemiczne podstawy życia	
93	a) Mioglobina należy do białek złożonych, ponieważ zawiera ona – oprócz łańcucha polipeptydowego – cząsteczkę hemu.
	b) Mioglobina ma strukturę trzeciorzędową, ponieważ składa się tylko z jednego łańcucha zwiniętego w globularne białko.
3. Komórka – podstawowa jednostka życia	
171	a) Pompa sodowo-potasowa transportuje jony Na^+ na zewnątrz komórki, a jony K^+ – do jej wnętrza. Transport odbywa się wbrew gradientowi stężeń (wykorzystuje do tego energię pochodzącą z rozkładu ATP). Dzięki działaniu pompy w poprzek błony komórkowej tworzy się / utrzymuje się gradient jonów Na^+ (ich stężenie na zewnątrz komórki jest większe niż w jej wnętrzu). Gradient ten umożliwia przemieszczaniu symportowemu transport glukozy wbrew gradientowi stężeń – wspólnie z jonami Na^+ , które są przenoszone zgodnie z gradientem stężeń.
	b) pH płynu zależy od stężenia jonów H^+ / jonów wodorowych / protonów – im wyższe stężenie, tym niższe pH. Pompa protonowa czynnie transportuje jony H^+ z cytozolu do lizosomu, co świadczy o tym, że transport ten odbywa się wbrew gradientowi stężeń. Stężenie jonów H^+ jest więc wyższe w lizosomie niż w cytozolu, co oznacza, że pH płynu wypełniającego lizosom jest niższe niż pH cytozolu.
	c) P, P, F
4. Metabolizm	
245	a) Przedstawiona fosforylacja jest fosforylacją fotosyntetyczną niecykliczną, ponieważ polega na liniowym przepływie elektronów od cząsteczki wody przez oba fotosystemy oraz przemieszczaniu elektronów na NADP^+ . Wskutek tego przepływu powstają $\text{NADPH} + \text{H}^+$ i gradient protonowy. Gradient jest wykorzystywany przez syntazę ATP do syntezy ATP.
	b) <i>wnętrze tylakoidu</i> <i>stroma</i> <i>błona tylakoidu</i> <i>przestrzeń międzybłonowa</i>
	c) F, P, F



Doświadczenia i obserwacje – odpowiedzi



Strona	Tytuł doświadczenia lub obserwacji	Propozycja poprawnej odpowiedzi
Chemiczne podstawy życia		
54	Wykrywanie cukrów redukujących w soku z winogron	Wynik obserwacji: Zarówno w próbie badawczej, jak i w próbie kontrolnej wytrącił się ceglastoczerwony osad. Wniosek: W soku z winogron znajdują się cukry redukujące.
61	Wykrywanie tłuszczów w nasionach słonecznika	Wynik obserwacji: Rozgniecione nasiona słonecznika zabarwiły się na czerwono. Wniosek: W nasionach słonecznika znajdują się tłuszcze.
74	Badanie wpływu różnych substancji chemicznych na białko	Hipoteza badawcza: Pod wpływem alkoholi, stężonych kwasów i soli metali lekkich białko ulega denaturacji. / Pod wpływem alkoholi, stężonych kwasów i soli metali lekkich białko ulega wysalaniu. / Pod wpływem alkoholi i stężonych kwasów białko ulega denaturacji, a pod wpływem soli metali lekkich – wysalaniu. Wynik doświadczenia: W próbie badawczej wytrącił się kłaczkowaty biały osad. Po dodaniu wody osad rozpuścił się tylko w probówce 3 / w probówce z roztworem NaCl . Wniosek: Pod wpływem alkoholi i stężonych kwasów białko ulega denaturacji, a pod wpływem soli metali lekkich – wysalaniu.
75	Badanie wpływu wysokiej temperatury na białko	Hipoteza badawcza: Pod wpływem wysokiej temperatury białko ulega denaturacji. / Pod wpływem wysokiej temperatury białko ulega wysalaniu. Wynik doświadczenia: W próbie badawczej wytrącił się kłaczkowaty biały osad. Po dodaniu wody osad się nie rozpuścił. Wniosek: Pod wpływem wysokiej temperatury białko ulega denaturacji.
76	Wykrywanie białek za pomocą reakcji biuretowej	Hipoteza badawcza: Napój sojowy zawiera białka. / Napój sojowy nie zawiera białek. Wynik obserwacji: W próbie badawczej i w próbie kontrolnej zawartość probówek zmieniła barwę z niebieskiej na fioletową. Wniosek: Napój sojowy zawiera białka.



Komórka – podstawowa jednostka życia		
114	Badanie procesu osmozy	Hipoteza badawcza: Chlorek sodu / NaCl / sól kuchenna jest substancją osmotycznie czynną. / Chlorek sodu / NaCl / sól kuchenna nie jest substancją osmotycznie czynną. Wynik doświadczenia: W próbie badawczej poziom roztworu chlorku sodu / NaCl / soli kuchennej w wydrążeniu bulwy się podniósł. Wniosek: Chlorek sodu / NaCl / sól kuchenna jest substancją osmotycznie czynną.
Metabolizm		
191	Badanie wpływu niskiej i wysokiej temperatury na aktywność katalazy	Wynik doświadczenia: W próbie kontrolnej zaobserwowano pojawianie się pęcherzyków gazu. W pierwszej próbie badawczej ilość pęcherzyków gazu była znacznie mniejsza niż w próbie kontrolnej, z kolei w drugiej próbie badawczej pęcherzyki gazu się nie pojawiły. Wniosek: Wysoka i niska temperatura powodują spadek aktywności katalazy.
192	Badanie wpływu pH środowiska na aktywność pepsyny	Wynik doświadczenia: W próbie kontrolnej w probówkach 4–6 nie zaszły żadne zmiany. W próbie badawczej w probówce 1 białko jaja kurzego uległo strawieniu, a w probówkach 2 i 3 nie zaszły żadne zmiany. Wniosek: Pepsyna jest aktywna w niskim pH (pH = 2). W roztworach o wyższym pH pepsyna traci aktywność katalityczną.
211	Badanie wpływu natężenia światła na intensywność fotosyntezy	Wynik doświadczenia: W próbie kontrolnej tempo wydzielania pęcherzyków gazu przez liście moczarki kanadyjskiej oraz przyrost objętości gazu gromadzącego się w probówce miarowej były stałe, natomiast w próbie badawczej tempo wydzielania pęcherzyków gazu i tempo przyrostu objętości gazu zbierającego się w probówce miarowej wzrastały wraz ze wzrostem intensywności światła. Wniosek: Wzrost natężenia światła powoduje wzrost intensywności fotosyntezy u moczarki kanadyjskiej.
212	Badanie wpływu zwiększonej zawartości dwutlenku węgla na intensywność fotosyntezy	Wynik doświadczenia: W próbie badawczej tempo wydzielania pęcherzyków gazu przez liście moczarki kanadyjskiej oraz przyrost objętości gazu gromadzącego się w probówce były wyższe niż w próbie kontrolnej. Wniosek: Zwiększona zawartość dwutlenku węgla powoduje wzrost intensywności fotosyntezy u moczarki kanadyjskiej.

213	Badanie wpływu temperatury na intensywność fotosyntezy	Wynik doświadczenia: W próbie kontrolnej szybkość wydzielania się pęcherzyków gazu z pędów moczarki kanadyjskiej oraz tempo przyrostu objętości gazu w probówce miarowej były stałe, natomiast w próbie badawczej szybkość wydzielania się pęcherzyków gazu z pędów moczarki kanadyjskiej oraz tempo przyrostu objętości gazu w probówce miarowej wzrastały wraz ze wzrostem temperatury. Wniosek: Wraz ze wzrostem temperatury rośnie intensywność fotosyntezy u moczarki kanadyjskiej.
225	Pochłanianie tlenu przez kiełkujące nasiona	Wynik doświadczenia: W próbie badawczej atrament został zassany w głąb rurki. Z kolei w próbie kontrolnej atrament nie został zassany w głąb rurki. Wniosek: Kiełkujące nasiona pochłaniają tlen.
226	Wydzielanie dwutlenku węgla przez kiełkujące nasiona	Wynik doświadczenia: W próbie kontrolnej w kolbie z wodą wapienną nie wytrącił się osad / nie zaobserwowano zmętnienia. Z kolei w próbie badawczej w kolbie z wodą wapienną wytrącił się osad / zaobserwowano zmętnienie. Wniosek: Kiełkujące nasiona wydzielają dwutlenek węgla.
230	Fermentacja alkoholowa drożdży	Wynik doświadczenia: W próbie kontrolnej w probówce z wodą wapienną nie wytrącił się osad / nie zaobserwowano zmętnienia. Z kolei w próbie badawczej w probówce z wodą wapienną wytrącił się osad / zaobserwowano zmętnienie. Wniosek: Jednym z produktów fermentacji alkoholowej jest dwutlenek węgla.

Tablice biologiczne



■ Wzory i nazwy wybranych kwasów organicznych

Wybrane kwasy organiczne	
$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{OH} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{C}-\text{COOH} \\ \\ \text{O} \end{array}$
kwas mlekowy	kwas pirogronowy
$\begin{array}{c} \text{HO}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2-\text{COOH} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{COOH} \\ \\ \text{HO}-\text{C}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2\text{COOH} \end{array}$
kwas jabłkowy	kwas cytrynowy

■ Reakcja hydrolizy ATP

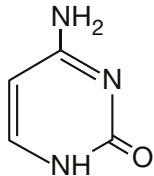
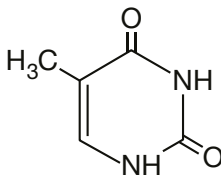
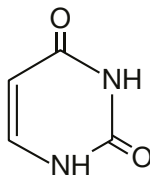
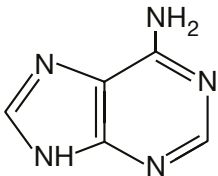
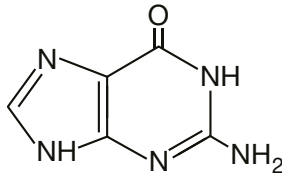
Hydroliza ATP

The diagram illustrates the hydrolysis of ATP. At the top, the ATP molecule is shown, consisting of a triphosphate group (three phosphorus atoms linked by oxygen atoms) and an adenine nucleotide (a ribose sugar and an adenine base). A blue arrow points downwards from the ATP molecule, indicating the reaction. To the left of the arrow, a water molecule (H_2O) is shown. To the right of the arrow, a proton (H^+) is shown. Below the arrow, the products of the reaction are shown: inorganic phosphate (P_i) and ADP (adenosine diphosphate). The P_i is shown as a single phosphate group, and ADP is shown as a diphosphate group and an adenine nucleotide. The adenine base is a purine ring with an amino group (NH_2) at the 6-position. The ribose sugar is a five-membered ring with hydroxyl groups (OH) at the 2' and 3' positions. The phosphate groups are shown as $O^-P(=O)(OH)_2$ for P_i and $O^-P(=O)(OH)-O-P(=O)(OH)_2$ for ADP.

Chemical structures shown:

- ATP (Adenosine Triphosphate)
- H_2O (Water)
- H^+ (Proton)
- P_i (Inorganic Phosphate)
- ADP (Adenosine Diphosphate)

■ Wzory i nazwy zasad azotowych

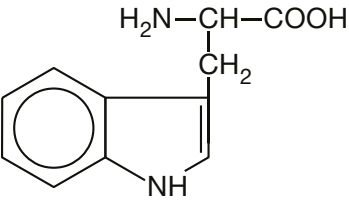
Zasady azotowe		
		
cytozyna (C)	tymina (T)	uracyl (U)
		
adenina (A)	guanina (G)	

■ Wzory i nazwy aminokwasów białkowych

Nazwa aminokwasu	Wzór	Kod	pI
Alanina	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	Ala	6,0
Arginina	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \quad \text{NH} \\ \quad \parallel \\ \text{NH}-\text{C}-\text{NH}_2 \end{array}$	Arg	10,76
Asparagina	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CONH}_2 \end{array}$	Asn	5,41

Nazwa aminokwasu	Wzór	Kod	pI
Kwas asparaginowy	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{COOH} \end{array}$	Asp	2,77
Cysteina	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{SH} \end{array}$	Cys	5,07
Glicyna	$\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{COOH}$	Gly	5,97
Glutamina	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CONH}_2 \end{array}$	Gln	5,65
Kwas glutaminowy	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{COOH} \end{array}$	Glu	3,22
Histydyna	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{NH} \quad \text{N} \end{array}$	His	7,59
Izoleucyna	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_2-\text{CH}_3 \end{array}$	Ile	6,02

Nazwa aminokwasu	Wzór	Kod	pI
Leucyna	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH} \\ / \quad \backslash \\ \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \end{array}$	Leu	5,98
Lizyna	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	Lys	9,74
Metionina	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{S}-\text{CH}_3 \end{array}$	Met	5,74
Feniloalanina	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$	Phe	5,48
Prolina	$\begin{array}{c} \text{HN} \quad \text{COOH} \\ \quad \backslash \\ \text{C} \quad \text{C} \\ \quad / \\ \text{C} \quad \text{C} \end{array}$	Pro	6,30

Nazwa aminokwasu	Wzór	Kod	pl
Seryna	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{OH} \end{array}$	Ser	5,68
Treonina	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}-\text{OH} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	Thr	5,60
Tryptofan		Trp	5,89
Tyrozyna	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{C}_6\text{H}_4 \\ \\ \text{OH} \end{array}$	Tyr	5,66
Walina	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH} \\ / \quad \backslash \\ \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \end{array}$	Val	5,96

Przydatne terminy

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(V). Jest podstawowym nośnikiem energii w reakcjach biochemicznych.

aktywator – substancja, która zwiększa aktywność enzymu, ale nie bierze bezpośredniego udziału w katalizowanej reakcji.

aminokwas – związek organiczny zawierający dwie grupy funkcyjne: kwasową grupę karboksylową (–COOH) oraz zasadową grupę aminową (–NH₂). Aminokwasy białkowe są elementami budulcowymi (monomerami) peptydów i białek.

anabolizm – reakcje syntezy złożonych związków chemicznych z substancji prostszych.

antyport – jednoczesny transport dwóch różnych substancji chemicznych w przeciwnych kierunkach, zachodzący przez niektóre błonowe białka nośnikowe.

aparat Golgiego – organellum otoczone jedną błoną, odpowiadające głównie za modyfikowanie, sortowanie i transportowanie niektórych białek.

apoenzym – zbudowana z aminokwasów część holoenzymu, czyli enzymu należącego do białek złożonych.

apoptoza – genetycznie zaprogramowana śmierć komórki. To naturalny proces regulujący liczbę komórek w organizmie wielokomórkowym.

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 – miejsce połączenia chromatyd siostrzanych w chromosomie eukariotycznym. Do centromerów przyłączają się włókna wrzeciona kariokinetycznego w trakcie podziału jądra komórkowego.

centrosom – centrum organizacji mikrotubul, z którego wyrasta sieć mikrotubul komórki zwierzęcej.

centrum aktywne (miejsce aktywne) – zagłębienie (kieszka) w obrębie cząsteczki enzymu.

W obszarze tym zachodzą wiązanie substratu oraz przekształcenie substratu w produkt.

centrum allosteryczne (miejsce allosteryczne) – zagłębienie (kieszka) w obrębie cząsteczki enzymu allosterycznego. W obszarze tym zachodzi wiązanie efektora allosterycznego (aktywatora lub inhibitora).

chemiosmoza – proces syntezy ATP z ADP i P_i przez syntazę ATP. Zachodzi z udziałem energii gradientu protonowego wytworzonego przez pompę protonową.

chemosynteza – sposób autotroficznego odżywiania się organizmów. Polega na wytwarzaniu związków organicznych – węglowodanów – z dwutlenku węgla i wody z udziałem energii chemicznej pochodzącej z utleniania prostych substancji nieorganicznych. Zachodzi u niektórych prokariotów.

chlorofile – główne barwniki fotosyntetyczne. Mają zieloną barwę i pochłaniają światło widzialne w zakresie fal niebieskich i czerwonych.

chloroplasty – organelle komórkowe odpowiedzialne za przeprowadzanie fotosyntezy. U roślin mają zwykle soczewkowaty kształt i są otoczone dwiema błonami.

chromatyna – kompleks DNA i histonów budujący chromosomy eukariotyczne.

chromoplasty – barwne (żółte, pomarańczowe, czerwone) plastydy występujące m.in. w komórkach kwiatów i owoców.

chromosomy eukariotyczne – liniowe cząsteczki DNA nawinięte na zasadowe białka (histony). Występują w jądrze komórkowym komórek eukariotycznych.

chromosomy homologiczne – w komórkach diploidalnych para odpowiadających sobie chromosomów, mających tę samą wielkość i zawierających geny warunkujące te same cechy.

crossing-over – proces zachodzący w trakcie mejozy, podczas którego następuje wymiana niektórych odcinków chromatyd między chromosomami homologicznymi.

cykl Calvina-Bensona – zamknięty ciąg reakcji chemicznych zachodzący w fazie niezależnej od światła fotosyntezy. Polega na wykorzystaniu siły asymilacyjnej (wytworzonej w fazie zależnej od światła fotosyntezy) do wytwarzania związków organicznych z dwutlenku węgla.



cykl komórkowy (cykl życiowy komórki) – okres trwający od powstania komórki do momentu jej podziału na dwie komórki potomne. W cyklu komórkowym wyróżnia się interfazę (okres między podziałowy) oraz podział komórki.

cykl Krebsa (cykl kwasu cytrynowego) – jeden z etapów oddychania tlenowego. Obejmuje liczne reakcje utlenienia–redukcji, w wyniku których powstają cząsteczki zredukowanych dinukleotydów – $\text{NADH} + \text{H}^+$ i FADH_2 . Zachodzi w nim także fosforylacja ADP do ATP.

cytokineza – podział cytoplazmy komórki.

cytoszkielet – szkielet komórkowy zbudowany z nierozpuszczalnych białek tworzących filamenty (włókna) i mikrotubule (mikrorurki).

cytozol – wodny koloidalny roztwór substancji nieorganicznych i substancji organicznych, głównie rozpuszczalnych białek. W skład cytozolu wchodzi ponadto białka nierozpuszczalne, które tworzą cytoszkielet.

denaturacja białka – koagulacja białka spowodowana zniszczeniem struktury przestrzennej białka w wyniku działania czynników chemicznych lub fizycznych.

deplazmoliza – uwodnienie cytozolu oraz wzrost objętości wakuoli splazmolizowanych komórek roślinnych w wyniku umieszczenia ich w wodzie lub w środowisku hipotonicznym. Deplazmoliza jest spowodowana osmotycznym napływem wody do wnętrza komórek.

dinukleotydy – związki zbudowane z dwóch połączonych ze sobą nukleotydów. Do dinukleotydów należą m.in. $\text{NAD}^+ / \text{NADH} + \text{H}^+$, $\text{NADP}^+ / \text{NADPH} + \text{H}^+$, $\text{FAD} / \text{FADH}_2$.

dyfuzja – samorzutny proces rozprzestrzeniania się substancji w danym ośrodku (np. w gazie, cieczy lub ciele stałym). Odbywa się zgodnie z gradientem stężeń substancji – aż do ustalenia się stanu równowagi.

dyfuzja prosta – bierny (zgodny z gradientem stężeń) transport substancji bezpośrednio przez dwuwarstwę lipidową.

dyfuzja ułatwiona – bierny (zgodny z gradientem stężeń) transport substancji przez błonowe białka kanałowe lub nośnikowe.

egzocytoza – transport pęcherzykowy substancji z wnętrza komórki do otoczenia.

endocytoza – transport pęcherzykowy substancji z otoczenia do wnętrza komórki.

energia aktywacji – najmniejsza ilość energii potrzebnej do zapoczątkowania reakcji chemicznej.

enzymy – biologiczne białkowe katalizatory przyspieszające reakcje chemiczne przez obniżenie ich energii aktywacji.

enzymy allosteryczne – enzymy, których aktywność może być regulowana za pomocą efektorów allosterycznych (aktywatorów lub inhibitorów) wiążących się w centrach allosterycznych.

etioplasty – plastydy występujące w komórkach miękiszku asymilacyjnego liści i łodyg roślin, które wyrosły w ciemności. Zawierają żółty barwnik, który pod wpływem światła przekształca się w chlorofil.

fagocytoza – rodzaj endocytozy, który polega na pobieraniu przez komórkę drobnych nierozpuszczalnych cząstek, m.in. bakterii lub szczątków organicznych.

fermentacja – proces uzyskiwania energii, polegający na niecałkowitym utlenieniu glukozy bez udziału tlenu. Występuje u beztlenowców (anaerobów) względnych i bezwzględnych.

filamenty aktynowe (mikrofilamenty) – elementy cytoszkieletu zbudowane z białka aktyny. Największa ich liczba występuje pod błoną komórkową, co nadaje błonie wytrzymałość mechaniczną i pozwala kontrolować zmiany kształtu komórki.

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 – 1. reakcja chemiczna polegająca na przyłączeniu reszty fosforanowej(V) do związku organicznego; 2. proces zachodzący podczas fazy niezależnej od światła fotosyntezy (fosforylacja fotosyntetyczna), obejmujący: przepływ elektronów przez łańcuch przekaźników elektronów, wytwarzanie gradientu protonowego oraz syntezę ATP z udziałem syntazy ATP; 3. proces zachodzący podczas oddychania tlenowego (fosforylacja oksydacyjna), obejmujący: przepływ elektronów przez łańcuch przekaźników elektronów (łańcuch oddechowy), wytwarzanie gradientu protonowego oraz syntezę ATP z udziałem syntazy ATP; jest ostatnim etapem oddychania tlenowego.

fotoliza – reakcja rozkładu związku chemicznego pod wpływem światła, np. fotoliza wody to rozkład wody na elektrony, protony (jony H^+) i tlen.

fotosynteza – sposób autotroficznego odżywiania się organizmów. Polega na wytwarzaniu związków organicznych – węglowodanów –

z dwutlenku węgla i innego prostego związku nieorganicznego z udziałem energii świetlnej. Zachodzi u roślin, protistów roślinopodobnych oraz niektórych prokariotów.

fotosystemy (PS) – kompleksy fotosyntetyczne zlokalizowane w błonach tylakoidów, emitujące elektrony pod wpływem pobudzenia światłem. W skład każdego fotosystemu wchodzi: barwniki antenowe, centrum reakcji fotosystemu oraz pierwotny akceptor elektronów. U roślin wyróżnia się dwa rodzaje fotosystemów – PS I i PS II.

gen – odcinek DNA zawierający informację dotyczącą syntezy białka lub RNA.

glikogenoliza – rozkład glikogenu do glukozy. U człowieka proces ten zachodzi głównie w wątrobie i w mięśniach.

glikoliza – pierwszy etap oddychania komórkowego, przebiegający w cytozolu. Polega na rozkładzie i częściowym utlenieniu sześciowęglowej cząsteczki glukozy do dwóch trójwęglowych cząsteczek pirogronianu. W trakcie tego procesu są też wytwarzane cztery cząsteczki ATP oraz dwie cząsteczki $\text{NADH} + \text{H}^+$.

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 – koenzym połączony trwale z apoenzymem.

grzebień mitochondrialne – fałdy wewnętrznej błony mitochondrialnej, w której skład wchodzi m.in. przekaźniki elektronów oraz cząsteczki syntazy ATP.

histony – niewielkie zasadowe białka, na które nawijają się odcinki DNA. DNA wraz z histonami tworzą chromatynę.

holoenzym – enzym należący do białek złożonych, zbudowany z apoenzymu i kofaktora. Aktywność katalityczną wykazuje tylko kompletny holoenzym.

inhibicja enzymatyczna – zahamowanie lub obniżenie aktywności enzymów pod wpływem substancji chemicznych zwanych inhibitorami.

inhibicja kompetycyjna (współzawodnicza) – zahamowanie lub obniżenie aktywności enzymu przez inhibitor kompetycyjny (czyli substancję o budowie podobnej do budowy substratu). Inhibitor kompetycyjny konkuruje z substratem o centrum aktywne.

inhibicja niekompetycyjna (niewspółzawodnicza) – zahamowanie lub obniżenie aktywności

enzymu przez inhibitor niekompetycyjny (czyli substancję o budowie niepodobnej do budowy substratu), który łączy się z enzymem poza centrum aktywnym. Inhibitor niekompetycyjny nie konkuruje z substratem o centrum aktywne.

inhibicja nieodwracalna – polega na trwałym zahamowaniu aktywności enzymu przez substancję chemiczną, zwaną inhibitorem nieodwracalnym.

inhibicja odwracalna – polega na nietrwałym zahamowaniu aktywności enzymu przez substancję chemiczną. Do inhibicji odwracalnej należą inhibicja kompetycyjna oraz inhibicja niekompetycyjna.

inhibitor – substancja, która hamuje aktywność enzymu.

jąderko – nieobłoniona, zwykle kulista struktura zlokalizowana w jądrze komórkowym. Zawiera chromatynę jąderkową, RNA i liczne białka.

kariokineza – podział jądra komórkowego. Wyróżnia się dwa rodzaje kariokinezy – mitozę i mejozę.

karotenoidy – lipidy izoprenowe wytwarzane w komórkach roślin oraz protistów roślinopodobnych. Należą do nich pomarańczowe karoteny oraz żółte ksantofile.

katabolizm – reakcje rozkładu złożonych związków chemicznych na substancje prostsze.

kataliza enzymatyczna – przyspieszanie przebiegu reakcji chemicznych przez enzymy.

katalizator – substancja, która przyspiesza reakcję chemiczną przez obniżenie jej energii aktywacji.

koagulacja białka – agregacja białka i jego wytrącanie się z roztworu; wyróżnia się dwa rodzaje koagulacji białka: denaturację i wysalanie.

koenzymy – drobnocząsteczkowe związki organiczne, które mogą być związane z apoenzymem nietrwale lub trwale.

kofaktor – jon metalu lub drobnocząsteczkowy związek organiczny, który stanowi część holoenzymu, czyli enzymu należącego do białek złożonych.

kwas deoksyrybonukleinowy (DNA) – polinukleotyd zbudowany z deoksyrybonukleotydów połączonych ze sobą wiązaniami 3',5'-fosfodiesterowymi. Pełni w organizmach funkcję nośnika informacji genetycznej.

kwas rybonukleinowy (RNA) – polinukleotyd zbudowany z rybonukleotydów połączonych ze sobą wiązaniami 3',5'-fosfodiesterowymi. 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 – pochodne nienasyconego węglowodoru izoprenu. Zalicza się do nich m.in. karotenoidy i steroidy.

lipidy proste – estry alkoholi i kwasów tłuszczowych. Do lipidów prostych należą tłuszcze właściwe (estry glicerolu i kwasów tłuszczowych) oraz woski (estry długołańcuchowych alkoholi monohydroksylowych i kwasów tłuszczowych).

lipidy złożone – lipidy, w których skład, oprócz alkoholu polihydroksylowego i kwasów tłuszczowych, wchodzi również inne związki, np. reszta fosforanowa(V), cukier.

lizosom – organellum otoczone jedną błoną, w którym zachodzi trawienie wewnątrzkomórkowe.

łańcuch oddechowy – łańcuch przenośników elektronów zlokalizowany w wewnętrznej błonie mitochondrialnej. Wspólnie z syntazą ATP uczestniczy w fosforylacji oksydacyjnej (ostatnim etapie oddychania tlenowego).

makroelementy – pierwiastki wchodzące w skład organizmów, których zawartość w suchej masie komórek wynosi 0,01% lub więcej.

macierz jądrowa – sieć białkowych włókien tworzących szkielet jądra komórkowego. Jej główną funkcją jest stabilizowanie struktury przestrzennej chromatyny.

matriks mitochondrialna (macierz mitochondrialna) – koloidalna substancja wypełniająca obszar mitochondriów ograniczony błoną wewnętrzną. Znajdują się w niej m.in. liczne enzymy, rybosomy oraz mitochondrialny DNA (mtDNA).

mejoza – podział jądra komórkowego na cztery jądra potomne. Każde z nich ma zredukowaną o połowę liczbę chromosomów w porównaniu z jądrem komórki macierzystej.

metabolizm – ogół przemian chemicznych i energetycznych komórki.

mikroelementy – pierwiastki wchodzące w skład organizmów, których zawartość w suchej masie komórek wynosi poniżej 0,01%.

mikrotubule (mikrorurki) – elementy cytoszkieletu zbudowane z cząsteczek tubuliny. Głównym ośrodkiem ich formowania w komórkach zwierzęcych jest centrosom.

mitochondria – owalne lub kuliste organelle komórkowe otoczone dwiema błonami. Zachodzą w nich główne etapy oddychania tlenowego.

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 zwykle od 3 do 10 atomów węgla.

mostek disiarczkowy – wiązanie kowalencyjne między grupami –SH dwóch cząsteczek cysteiny w peptydzie lub w białku. Utrzymuje strukturę trzeciorzędową i czwartorzędową białka.

nukleoid – obszar cytozolu zawierający materiał genetyczny komórki bakteryjnej.

nukleoplazma – koloidalny roztwór wypełniający jądro komórkowe, który zawiera m.in. RNA oraz białka enzymatyczne i regulatorowe.

nukleotyd – podstawowa jednostka budulcowa kwasów nukleinowych (monomer), zbudowana 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 histony.

oddychanie beztlenowe – proces uzyskiwania energii polegający na całkowitym utlenieniu glukozy bez udziału tlenu. Występuje u beztlenowców (anaerobów) względnych i bezwzględnych.

oddychanie komórkowe – proces uzyskiwania energii polegający na częściowym lub całkowitym utlenianiu substancji organicznych w komórkach organizmów.

oddychanie tlenowe – proces uzyskiwania energii polegający na całkowitym utlenieniu glukozy z udziałem tlenu. Występuje u tlenowców (aerobów).

oligosacharydy – sacharydy, które powstają przez połączenie się od 2 do 10 cząsteczek cukrów prostych wiązaniem O-glikozydowym.

organelle półautonomiczne – organelle częściowo niezależne od jądra komórkowego: mitochondria i plastydy. Część białek niezbędnych do ich funkcjonowania jest kodowana przez geny, które znajdują się w ich własnym DNA, a pozostała część jest kodowana przez geny jądrowe.

osmoregulacja – regulacja stopnia uwodnienia komórek.

osmoza – odmiana dyfuzji prostej, która polega na przenikaniu wody (rozpuszczalnika) przez błonę półprzepuszczalną.

peptydoglikan – związek zbudowany z peptydów i sacharydów. Przykładem peptydoglikanu jest mureina, która buduje ściany komórkowe komórek bakteryjnych.

peroksysom – organellum otoczone jedną błoną, w którym zachodzą reakcje utleniania różnych związków oraz neutralizacji reaktywnych form tlenu.

pierścień kurczliwy – struktura zbudowana z filamentów aktynowych i miozynowych. Umożliwia cytokinezę w komórkach zwierzęcych.

pierwiastki biogenne – podstawowe składniki związków organicznych. Zalicza się do nich: węgiel (C), wodór (H), tlen (O), azot (N), fosfor (P) i siarkę (S).

pinocytoza – rodzaj endocytozy, który polega na pobieraniu przez komórkę małych kropli płynów zawierających substancje rozpuszczalne w wodzie.

plastydy – otoczone co najmniej dwiema błonami organelle komórkowe, występujące w komórkach roślin i niektórych protistów. Zawierają własny DNA i własne rybosomy. Do plastydów należą: etioplasty, chloroplasty, chromoplasty oraz leukoplasty.

plazmid – mała kolistą cząsteczka DNA. Znajduje się w komórkach prokariotycznych.

plazmodesmy – cienkie pasma cytoplazmy przenikające z komórki do komórki przez jamki zlokalizowane w ścianach komórkowych komórek roślinnych.

plazmoliza – zjawisko odstawania protoplastu od ściany komórkowej w wyniku osmotycznego odpływu wody. Plazmolizę obserwuje się po umieszczeniu komórek otoczonych ścianą komórkową (m.in. roślinnych, grzybowych) w roztworze hipertonicznym.

płytką metafazowa – chromosomy połączone z włóknami wrzeciona kariokinetycznego, ułożone w płaszczyźnie równikowej komórki. Powstaje w trakcie metafazy podczas kariokinezy.

proplastydy – młodociane formy plastydów.

polimeryzacja – łączenie się drobnocząsteczkowych związków organicznych (monomerów) w związki wielocząsteczkowe (polimery).

polisacharydy (wielocukry) – sacharydy, które powstają przez połączenie się ponad 10 cząsteczek

monosacharydów (cukrów prostych) wiązaniem O-glikozydowym.

pory jądrowe – białkowe kompleksy w otocze jądrowej, które odpowiadają za transport substancji między wnętrzem jądra a cytoplazmą.

protoplast – część komórki ograniczona błoną komórkową. Pojęcie protoplastu stosuje się jedynie w przypadku komórek zawierających ścianę komórkową.

przestrzeń międzybłonowa – przestrzeń między dwiema błonami. Występuje w mitochondriach i plastydach. Gromadzą się w niej protony wykorzystywane przez syntazę ATP do syntezy ATP z ADP i P_i.

reakcja endoenergetyczna – reakcja chemiczna, która wymaga stałego dostarczania energii. Produkty reakcji endoenergetycznej są zasobniejsze w energię niż substraty.

reakcja egzoenergetyczna – reakcja chemiczna, w której trakcie jest uwalniana energia. Produkty reakcji egzoenergetycznej są mniej zasobne w energię niż substraty.

reakcja kondensacji – reakcja polimeryzacji, w wyniku której oprócz wielocząsteczkowego polimeru powstają również cząsteczki 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 substancja – utleniacz – przyjmuje elektrony, czyli ulega redukcji.

reakcja pomostowa – etap oddychania tlenowego, który polega na przekształceniu pirogronianu w acetylo-CoA (acetylokoenzym A). Podczas reakcji pomostowej powstaje również NADH + H⁺.

renaturacja – powrót zdenaturowanego białka do jego wyjściowej (aktywnej biologicznie) formy.

replikacja DNA – proces powielania DNA, prowadzący do powstania dwóch potomnych cząsteczek DNA, które są identyczne z cząsteczką macierzystą.

rybosomy – nieobłonione struktury, które przeprowadzają syntezę białek w komórce. Składają się z dwóch podjednostek – dużej i małej. Pod względem chemicznym podjednostki rybosomów są kompleksami nukleoproteinowymi zbudowanymi z rybosomowego RNA (rRNA) i białek.

siateczka śródplazmatyczna (retikulum endoplazmatyczne) – system błon biologicznych

przyjmujących postać spłaszczonych cystern (wo-reczków) i rozgałęziających się kanalików. Wyróż-nia się siateczkę śródplazmatyczną szorstką, któ-ra jest miejscem syntezy niektórych białek, oraz siateczkę śródplazmatyczną gładką, która stano-wi miejsce syntezy lipidów, magazynowania jonów oraz neutralizowania substancji toksycznych.

sok komórkowy – wodny roztwór różnych sub-stancji, wypełniający wnętrze wakuol roślinnych.

stała Michaelisa (K_M) – takie stężenie substratu, przy którym szybkość reakcji enzymatycznej osią-ga połowę szybkości maksymalnej ($\frac{1}{2} V_{\max}$).

steroidy – lipidy izoprenowe o pierścieniowej bu-dowie i niemal płaskich cząsteczkach. Głównym steroidem zwierzęcym jest cholesterol, który wy-stępuje m.in. w błonach komórek oraz w żółci.

stroma – koloidalna substancja wypełniająca wnętrze chloroplastu. Zawiera m.in. białka enzy-matyczne, rybosomy, chloroplastowy DNA (cpD-NA) i ziarna skrobi.

symport – jednoczesny transport dwóch różnych substancji chemicznych w tym samym kierunku. Zachodzi przez niektóre błonowe białka nośnikowe.

szlak metaboliczny – liniowy (otwarty) ciąg reak-cji chemicznych, który prowadzi do powstania określonego produktu końcowego.

tonoplast – błona wakuoli roślinnej.

transport bierny (pasywny) – transport substan-cji przez błony biologiczne, zachodzący zgodnie z gradientem stężeń tej substancji i niewymagają-cy nakładu energii.

transport czynny (aktywny) – transport substan-cji przez błony biologiczne, zachodzący wbrew gradientowi stężeń tej substancji i wymagający bezpośredniego lub pośredniego nakładu energii.

transport pęcherzykowy – transport błonowy, który polega na przenoszeniu substancji za po-mocą pęcherzyków utworzonych z fragmentów błon biologicznych.

tylakoidy – błoniaste struktury znajdujące się w komórkach fotosyntetyzujących prokariontów

oraz w chloroplastach roślin i protistów roślinopo-dobnych. Zawierają m.in. barwniki fotosyntetycz-ne oraz przenośniki elektronów.

ujemne sprzężenie zwrotne (hamowanie przez sprzężenie zwrotne) – regulacja ciągu reakcji bio-chemicznych, która polega na hamowaniu aktyw-ności enzymu katalizującego pierwszą reakcję ciągu przez ostateczny produkt tego ciągu (wy-stępujący w nadmiarze).

uniport – transport polegający na biernym prze-noszeniu przez błonę tylko jednej określonej sub-stancji. Odbywa się z udziałem niektórych białek nośnikowych.

wakuole (wodniczki) – organelle występujące w komórkach eukariotycznych, mające postać pę-cherzyków otoczonych jedną błoną i wypełnionych płynem.

wiązanie 3',5'-fosfodiestrowe – wiązanie mię-dzy trzecim atomem węgla pentozy jednego nu-kleotydu a piątym atomem węgla pentozy drugie-go nukleotydu za pośrednictwem reszty fosforanowej(V). Występuje w polinukleotydach (kwasach nukleinowych).

wiązanie O-glikozydowe – wiązanie za pośred-nictwem tlenu zwykle między pierwszym atomem węgla jednego monosacharydu a czwartym ato-mem węgla drugiego monosacharydu.

wiązanie peptydowe – wiązanie między grupą karboksylową połączoną z atomem węgla α jed-nego aminokwasu a grupą aminową połączoną z atomem węgla α drugiego aminokwasu. Wystę-puje w peptydach i w białkach.

wrzeciono kariokinetyczne (wrzeciono podzia-łowe) – zbudowana z mikrotubul struktura obecna w komórkach eukariotycznych, która umożliwia kontrolowane przemieszczanie się chromosomów podczas podziału komórki.

wysalanie – koagulacja białka spowodowana od-wodnieniem białka w wyniku działania soli metali lekkich.

Indeks

α -aminokwasy 62

α -helisa 66, 87, 109

β -harmonijka 66, 87, 109

β -oksydacja 233, 242

A

acetylokoenzym A (acetylo-CoA) 183, 220, 222, 231, 233, 241–242, 259

adenina 77–79, 88, 177, 235

adenozynodifosforan (ADP) 78, 117, 139, 169, 171, 177–178, 181, 186, 201, 204–207, 218–222, 227, 231, 235, 238–240, 254

adenozynomonofosforan (AMP) 78, 233, 242

adenozynotrifosforan (ATP) 77–78, 88, 117, 127, 132, 139, 169, 171, 176–178, 181, 186, 200, 204–207, 218–219, 221–223, 227, 229, 231, 233, 235, 238–242, 254, 259

aktyna 124

aktywacja 196–197, 219

aktywator 39, 193, 197, 237, 259

alanina 47, 72, 183, 255

albuminy 69, 86, 87

alkaloidy 140

alkohol etylowy 47, 133, 139, 227, 242

allel 157, 159

aminokwas 62–68, 81, 86, 89, 234, 242

– białkowy 62–63, 65, 72, 86, 255–259

– hydrofilowe 63–64

– hydrofobowe 63–64

– kwasowy 63–64

– niebiałkowy 62

– obojętny 63–64

– zasadowy 63

amoniak 216–217

amyloza 90

anabolizm 176, 259

anafaza 150, 156–157

antyport 115, 117, 164, 259

aparat

– fotosyntetyczny 215,

– Golgiego 101–102, 105, 107, 136–138, 152, 161–163, 166, 168

apoenzym 180, 236, 259

apoptoza 153–154, 168, 259

autotrof 199, 209

autotrofizm 199, 216, 238

azotany 216–217

B

badany czynnik 7–11, 30

bakterie 98, 130–131, 153, 216–217, 228, 240

– nitryfikacyjne 199, 216–217, 240

– siarkowe 217, 240

bańka informacyjna 25

barwniki

– antenowe 203–204, 215

– fotosyntetyczne 103, 128–129, 201–203

– pomocnicze 60, 85

beztlenowce 227

– bezwzględne (obligatoryjne) 227

– względne (fakultatywne) 227, 229

białka 37, 62, 67, 73, 81, 86–87, 91–92, 109, 134–135, 180

– fibrylarne 65, 70–71, 86

– globularne 65, 86

– histonowe 104

– nośnikowe 115–116, 164

– proste 65, 180, 236

– złożone 65, 180, 236

biwalent 156

blaszka środkowa 143–144, 152, 168, 259

błona

– biologiczna 108, 111, 115, 164, 178, 181

– komórkowa 101–105, 108, 114, 116, 118, 124, 126, 137, 138, 144, 161–163

– półprzepuszczalna 110–113, 165

– śródplazmatyczna 104, 108, 110

bruzda podziałowa 152, 168, 259

C

celuloza 51–52, 84, 102, 105, 142

centriola 125, 150, 163

centromer 149–150, 156–157, 259

centrosom 101, 125, 152, 166, 259

centrum

– aktywne 180–181, 184–185, 194–195, 197, 236–237, 259

– allosteryczne 197, 259

– reakcji fotosystemu 203, 245

chemiosmoza 178, 235, 259

chemosynteza 199, 216–217, 238, 240, 259

chityna 25, 51–52, 84, 102, 105, 142, 161

chloroplast 102, 105, 126, 128, 129, 131–132, 135, 161–162, 166, 178, 186, 201, 207, 214, 238, 245, 259

cholesterol 60–61, 85, 108, 164

chromatofor (patrz: tylakoid)

chromatyda 149–150, 156–157

chromatyna 69, 87, 119, 148–149, 159, 166, 259

chromoplasty 128–129, 259

chromosom 103, 130, 145, 147, 149, 150–151, 155–160

– bakteryjny 103–104, 162

– eukariotyczny 104, 166, 259

– homologiczny 145, 156, 157, 259

– piciowy 145

– potomny 150
ciałko
– apoptotyczne 154, 168
– podstawowe 126
clickbait 25, 28
crossing-over 156–158, 259
cukry redukujące 54, 90, 251
cykl
– Calvina–Bensona 201, 205, 207, 237–239, 259
– komórkowy 145–147, 167, 260
– Krebsa 218, 220, 222–223, 229, 231, 233, 237, 240–241, 260
cykliczny adenozymonofosforan (cAMP) 78, 88, 193, 237
cytokineza 145–146, 152, 156–157, 167–168, 260
cytoplasma 119–121, 135, 145–146, 152, 166, 168
cytoskielet 100, 105, 124, 161–163, 166, 260
cytozol 100, 102–105, 116–119, 121, 124, 126, 135–136, 159, 161, 164, 166, 168, 170, 222–223, 229, 241–242, 260
cytozyna 77, 79, 88, 255

D

defosforylacja 196
denaturacja 73–75, 91, 251, 260
deoksyrybonukleotydy 77, 79, 88–89
deoksyryboza 49, 77, 80, 84, 88–89
deplazmoliza 112–113, 165, 260
dinukleotyd flawinoadeninowy (FAD) 78, 88, 179, 220–223, 233, 236, 242
dinukleotyd nikotynamidoadeninowy (NAD⁺) 78, 88, 179, 219–223, 227, 229, 233, 236, 242
disacharydy 50–51
DNA (kwas deoksyrybonukleinowy) 37, 49, 69, 79–80, 87, 89, 99–100, 103–104, 120, 127, 129–130, 146–149, 151, 156, 158, 160, 166, 167, 261
dominanta 22, 32
doświadczenie 5–8, 10–11, 20, 30–32, 34, 74–75, 114, 122–123, 172–173, 191–192, 208–209, 211–213, 225–226, 230, 251–253
dyfuzja 118, 260
– prosta 111, 164–165, 260
– ułatwiona 111, 164, 260

E

efekt
– obserwatora 27
– skupienia 27
efektor allosteryczny 197
egzocytoza 118, 164, 260
ekspresja genów 120
endocytoza 118, 164, 260
endosymbioza

– teoria 127, 130
energia aktywacji 182–183, 236, 260
enzym 39, 46, 52–53, 82–83, 121, 127, 132, 134, 136, 139, 142, 146, 180–198, 205, 212, 218, 224, 232, 236–237, 246, 260
– allosteryczny 197, 260
estry 55–56, 85, 262
etioplasty 128, 260

F

fagocytoza 118, 130, 260
fake news 25, 28
fermentacja 175, 218, 227–240, 242, 260
– alkoholowa 227–230, 242, 253
– mleczanowa 227, 228, 242
fibrynogen 69
filamenty 124
– aktynowe 124, 166, 260
– miozynowe 152
– pośrednie 124, 166, 260
fitol 202
fosfataza 196
fosfolipid 55, 58–59, 85, 108, 133, 134
fosforan dinukleotydu nikotynoamidoadeninowe-go (NADP⁺) 78, 88, 179, 201, 204–207, 236, 238–239, 245
fosforylacja 178, 196, 204–206, 218–223, 235, 260
– fotosyntetyczna 204–206, 239, 243–245
– oksydacyjna 218, 221–223, 229, 231, 240–241, 247
– substratowa 178, 219–220, 222, 227, 235
fotoliza 203, 260
fotooksydacja chlorofilu 210
fotosynteza 43, 49, 60, 82, 85, 102, 127, 129, 132, 162, 166, 176, 193, 199, 200–202, 205–215, 217, 238, 240–241, 260
– anoksygeniczna 200, 238
– oksygeniczna 200–201, 213, 238–239
fotosystem 203, 243, 245, 261
fruktoza 49–50, 84

G

galaktoza 49–51, 84
garbniki 140
gen 80, 103, 120, 132, 145, 157, 261
glicerol 55, 58, 85, 231, 233–234, 242
glicyna 68, 72, 256
glikogen 51, 53, 84, 100, 102, 196, 231, 232, 242
– mięśniowy 232
– wątrobowy 232
glikogenogeneza 232, 242
glikogenoliza 231–232, 242, 261
glikokaliks 110
glikolipid 55, 58, 85, 108, 110, 164

glikoliza 218–219, 222–223, 227, 229, 231, 240–241, 261
glikoproteiny 49, 108–110, 164
globuliny 69, 86–87
glukoneogeneza 231, 234, 242, 261
glukoza 47, 49–51, 54, 84–85, 113, 116–117, 143, 171, 175–176, 179, 196, 218–219, 221–222, 227, 229, 231–232, 234, 240–242
gradient
– protonowy 178, 204, 206, 221, 223, 235, 261
– stężenie 111, 115, 164, 250
grupa
– acetylowa 52, 220
– aldehydowa 47, 49, 84, 90
– aminowa 47, 52, 62–65, 86
– funkcyjna 46–47, 63, 84, 190
– hydroksylowa 47, 49, 84
– karboksylowa 47, 62–63, 65, 86, 190
– karbonylowa 47, 49, 84
– ketonowa 47, 49, 84
– prostetyczna 180, 236, 261
– tiolowa 62
grzebień mitochondrialny 261
guanina 47, 77, 79, 88, 255

H

heksozy 49
hemiceluloza 142–143, 152
hemoglobina 39, 69, 82, 86–87
heterotrof 199, 241
heterotrofizm 199
hipoteza 5, 7–12, 30, 54, 61, 74–76, 114, 122, 191–192, 208–209, 211–213, 225–226, 230, 251
histony 69, 87, 104, 119, 121, 130–131, 146, 148, 166, 261
histydyna 181, 256
holozoik 199
hormon steroidowy 60, 85, 133
hydrolazy 181
hydroliza 177, 248, 254

I

inhibicja 194–195, 197, 261
inhibitor 193–197, 224, 237, 261
– kompetycyjny 194, 237
– niekompetycyjny 194, 237
– nieodwracalny 194, 237
interfaza 145–146, 151–152, 155, 158, 167
izomerazy 181

J

jąderko 119–120, 150, 156–157, 159, 261
jądro komórkowe 15, 97, 99–100, 102, 105–107, 119–126, 130–131, 136, 145–146, 155, 159,

161–163, 166, 169, 171
jon obojnaczy 63
jonizacja atomu 203

K

karboksylacja 205, 207, 239
kariokineza 145–146, 167, 261
kariotyp 145
karotenoidy 55, 60, 85, 129, 202–203, 261
karoteny 60, 85, 202
katabolizm 176, 248, 261
katalaza 139, 191, 252
kataliza enzymatyczna 180, 185, 236, 237, 261
katalizator 180, 236, 261
keratyna 69, 71, 124
ketoza 47, 49
kinaza 193, 196
koagulacja 73, 261
kod genetyczny 80
koenzym 180, 236, 261
kofaktor 180, 236, 261
kolagen 69, 70, 86
komórka
– bakterii 97, 103–107, 161–162
– diploidalna 145, 151, 155, 159, 167
– eukariotyczna 99, 104–105, 130–131, 161
– haploidalna 151, 155, 159, 167
– nowotworowa 147
– prokariotyczna 99, 103, 126, 161–162, 164
kondensacja 47, 50, 60, 65, 148, 150, 156, 261
krzywa Michaelisa–Menten 188–189
ksantofile 60, 85, 202
kutykula 57, 143, 215
kutyna 142–143
kwas
– γ-aminomasłowy 62
– asparaginowy 181, 190, 256
– deoksyrybonukleinowy (patrz: DNA)
– glutaminowy 256
– karboksylowy 47, 55, 90
– mlekowy 227, 242, 254
– palmitynowy 47
– rybonukleinowy (patrz: RNA)
– tłuszczowy 55–56, 58, 85, 109, 172, 231, 233, 237, 242

L

laktoza 50–51, 54, 84,
leukoplasty 128, 162, 262
liazy 181
ligazy 181
ligniny 142–143
lipidy
– fosfolipidy 55, 58–59, 85, 108, 133–134
– glikolipidy 55, 58, 85, 108, 164

– izoprenowe 55, 60, 85, 262
– proste 55–56, 85, 262
– złożone 55, 58, 85, 262
lipoproteiny 109
lizosom 15, 100, 105, 138–139, 161, 163, 262

Ł

łańcuch
– cukrowy 108, 110
– oddechowy 127, 218, 221, 233, 240, 262
– polinukleotydowy 78

M

makroelementy 38–39, 82, 262
maksimum 22, 32
maltoza 50–51, 84
matriks mitochondrialna 127, 132, 186, 218, 222–223, 229, 240, 262
mediana 23, 32
mejospora 155, 158, 167
mejoza 97, 155–156, 158–160, 167, 262
metabolizm 175–177, 179, 196, 231–233, 235, 242, 262
metafaza 150, 156–157
metionina 63, 257
mikroelementy 38–39, 82, 262
mikrofilamenty 124, 260
mikroskop
– elektronowy 15, 18, 31
 – skaningowy 15, 31
 – transmisyjny 15, 31
– optyczny 13–14, 18, 31, 51, 70, 107, 141
mikrotubule 67, 124–126, 152, 157, 163, 166, 168, 262
minimum 22, 32
mioglobina 39, 69, 82, 87, 93
mitochondrium 15, 100, 102, 105, 124, 127, 130–132, 161–163, 166, 178, 186, 218, 222, 229, 240, 242
mitoza 97, 145–146, 150, 153, 159, 167, 262
model
– indukowanego dopasowania 185
– klucza i zamka 185
monosacharydy 49–50, 84, 262
mostek disiarczkowy 262
mRNA 81, 89, 120–121, 134, 187
mureina 103–105, 142, 144, 161

N

napięcie powierzchniowe 41, 83
Nitrobacter 216–217, 238
Nitrosomonas 216–217, 238
nukleoid 103, 105, 161, 262
nukleosom 148, 262
nukleotyd 47, 77–79, 83, 88, 121, 262

O

obiekt badań 7–8, 10, 12, 30
obserwacja
– makroskopowa 13
– mikroskopowa 13, 16–17, 31, 107, 129, 141
oddychanie
– beztlenowe 218, 227, 240, 262
– komórkowe 49, 175–176, 218, 231, 240, 262
– tlenowe 127, 162, 175, 218–219, 221–224, 229, 240–241, 262
oddziaływania
– międzycząsteczkowe 41
– hydrofobowe 59, 67, 87
oksydoreduktazy 181
oligosacharydy 50, 84, 262
organelle półautonomiczne 132, 262
osmoregulacja 141, 262
osmoza 111–112, 114, 118, 165, 263
otoczka jądrowa 119, 121, 133, 150, 156–157

P

pasożyt 199, 228
pektyny 142–143
pentoza 49, 77, 88
pepsyna 180, 192, 196, 252
pepsynogen 196
peptydoglikan 104, 263
peroksysomy 100, 102, 105, 107, 139, 161–163, 166, 263
pinocytoza 118, 263
pirogonian 179, 183, 219–220, 222, 227, 229, 231, 241
plazmid 103, 162, 263
plazmodesma 144, 263
plazmoliza 112–113, 165, 263
płytką metafazowa 150, 263
pole sitowe 106
polimeryzacja 47, 125, 263
polipeptydy 65
polisacharydy 49, 51–53, 84, 94, 103, 142, 232, 263
pompa protonowa 117, 139, 169, 171, 178, 204, 221
problem badawczy 5, 7–8, 10, 12, 30–31, 33, 54, 61, 74, 76, 114, 191, 212
proenzym 196
profaza 150, 156, 157
proplastydy 128, 263
proteasom 198
proteoliza 196
protoplast 106, 112, 142, 165, 263
próba
– badawcza 8–9, 11, 20–21, 31, 54, 74, 114, 191, 208, 225
– Fehlinga 54, 90

– jodowa 90
– kontrolna 8–9, 11, 20–21, 31, 54, 74, 114, 191, 208, 225
 – pozytywna (kontrola pozytywna) 9, 31, 76
 – negatywna (kontrola negatywna) 9, 31
przedmiot badań 7–8, 10, 30, 33
przewężenie pierwotne (patrz: centromer)
punkt izoelektryczny 63, 72

R

reakcja
– biuretowa 76, 91, 251
– egzoenergetyczna 176, 183, 219, 235, 263
– endoenergetyczna 176, 183, 235, 263
– pomostowa 218, 220, 222–223, 229, 231, 240–241, 263
– redoks 179, 263
reaktywne formy tlenu 60, 85, 100, 166
reduktor 179
renaturacja 73, 263
replikacja DNA 80, 146–149, 151, 156–158, 160, 167, 263
RNA 49, 78, 81, 89, 120, 187, 261
rośliny
– ceniolubne 215
– światłolubne 215
roztwór
– hipertoniczny 111–112, 114, 165
– hipotoniczny 111–112, 141, 165
– izotoniczny 112, 165
– koloidalny (koloid) 73, 91, 100, 113, 120, 124, 166
rRNA 81, 89, 101, 103, 120, 135
rybonukleotyd 49, 77, 81, 88–89
rybosom 18, 39, 81–82, 89, 101–105, 120–121, 127, 129, 133–136, 161–163, 166, 187, 263
ryboza 49, 77–78, 84, 88, 177, 235
rybozym 187
rzęska 103, 125–126, 162

S

sacharoza 50–51, 84, 117–118, 169
sacharydy 39, 47, 49, 83–84, 228
saprobiont 199
suberyna 142–143
seryna 58, 72, 85, 181, 258
siateczka śródplazmatyczna 101–102, 104–105, 107, 124, 133–137, 161, 263
– gładka 101–102, 133–134, 139, 162–163, 166
– szorstka 101–102, 133–134, 138, 162–163, 166
siarkowodór 217, 238
skrobia 9, 51, 53, 84, 90, 94, 102, 113, 128, 129, 207
sok komórkowy 140, 264
spermacet 57

sprężenie zwrotne 198, 264
stała Michaelisa 188–189, 264
steroidy 55, 60, 85, 264
stroma 129, 186, 201, 204–207, 238, 264
substrat 49, 51, 61, 78, 81, 84, 88–89, 178, 180–190, 194–195, 197–198, 207, 209–210, 214, 216–218, 224, 227, 231–232, 234–235, 237–238, 242
Sudan III 61, 90
symport 115, 117, 164, 169, 171, 264
syntaza ATP 127, 132, 178, 186, 218, 221, 240, 241
szlak metaboliczny 187, 198, 237, 264

Ś

ściana
– komórkowa 52, 82, 84, 102–105, 112, 126, 140, 142–144, 161–163, 165, 169
– pierwotna 142–144
– wtórna 142
średnia
– arytmetyczna 22–23, 32
– ważona 23, 32
światłny punkt wysycenia 210

T

telofaza 150, 156–157
tetradą chromatyd 156
tetrozy 49
tłuszcze właściwe 55, 59, 85, 134, 231, 233
tłuszczowce (patrz: lipidy)
tonoplast 140, 264
transferazy 181, 187
transformacja nowotworowa 147
transpiracja 41, 44, 83, 210
transport
– bierny (pasywny) 111, 115–116, 164, 264
– czynny (aktywny) 111, 115, 117, 164, 264
– pęcherzykowy 118, 164, 264
trawienie wewnątrzkomórkowe 100, 139, 166
triglicerydy (patrz: tłuszcze właściwe)
triozy 49
tRNA 81, 89, 120–121, 187
tubulina 125
turgor 112, 140, 210
tylakoid 103, 105, 129, 162, 186, 201–202, 204–206, 238, 264
tymina 77, 79, 88, 255

U

ubikwityna 198
uracyl 77, 88, 255
utleniacz 179
utlenianie kwasów tłuszczowych 231, 233, 242

- W**
wakuola 101–102, 105, 112, 140–141, 161–163, 166, 169, 264
– lityczna 105, 140, 161
wiązanie
– 1,4-glikozydowe 50–53, 143
– 3',5'-fosfodiestrowe 78–79, 264
– α-glikozydowe 50–51, 53, 84
– β-glikozydowe 50–52, 84, 143
– disiarczkowe 67, 71, 87
– estrowe 55–56, 77, 88
– jonowe 67, 87
– kowalencyjne 67, 86, 262
– O-glikozydowe 50, 84, 264
– peptydowe 65–66, 68, 86–87, 184, 264
– wodorowe 40–41, 52, 59, 66–67, 79–81, 87, 89, 142
wić 125–126
wielocukry (patrz: polisacharydy)
wodniczka (patrz: wakuola)
– pokarmowa 141
– tętniąca 141

woski 55–57, 85
wrzeciono
– cytokinetyczne 152, 168
– kariokinetyczne (podziałowe) 150, 152, 156–157, 166, 264
wykres
– jednośłupkowy 21
– kolumnowy 20–21
– kołowy 21
– liniowy 20
– punktowy 20
wysalanie (patrz: koagulacja)
wzbudzenie atomu 203
- Z**
zakres zmienności 22, 32
zasada azotowa 47, 77–81, 88–89, 255
zmienna
– kontrolowana 7, 30
– niezależna 7–8, 21, 30
– zależna 7–8, 21, 30
zymogen (patrz: proenzym)

Literatura uzupełniająca

Alberts B. i in., *Podstawy biologii komórki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2015.
Bartel H., *Embriologia*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2016.
Bielański A., *Podstawy chemii nieorganicznej*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2014.
Brown T.A., *Genomy*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2009.
Campbell N.A. i in., *Biologia*, Dom Wydawniczy REBIS, Poznań 2012.
Drewa G., Ferenc T. (red.), *Genetyka medyczna*, Elsevier Urban & Partner, Wrocław 2013.
Epstein R.J., *Biologia molekularna człowieka*, Wydawnictwo Czelej, Lublin 2005.
Gołąb J., Jakóbisiak M., Lasek W., Stokłosa T. (red.), *Immunologia*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2019.
Jaroszyk F. (red.), *Biofizyka*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2014.
Hall D.O., Rao K.K., *Fotosynteza*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne WNT, Warszawa 1999.
Hejnowicz Z., *Anatomia i histogeneza roślin naczyniowych*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2012.
Kawiak J. i in. (red.), *Podstawy cytofizjologii*, Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa 2008.
Kączkowski J., *Podstawy biochemii*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2017.
Kłyszejko-Stefanowicz L., *Cytobiochemia. Biochemia niektórych struktur komórkowych*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2015.
Kopcewicz J., Lewak S. (red.), *Fizjologia roślin*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2012.
Kunicki-Goldfinger W.J.H., *Życie bakterii*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2008.
McMurry J., *Chemia organiczna*, PWN, Warszawa 2013.
Minakowski W., Weidner S. (red.), *Biochemia kręgowców*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005.
Murray R.K., Granner D. K., Rodwell V.W., *Biochemia Harpera ilustrowana*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2016.
Rabek J.F. Polimery. Otrzymywanie, metody badawcze, zastosowanie, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2013.
Roberts R., Shettles L.B., *Od poczęcia do narodzin*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 1998.
Sawicki W., *Histologia*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2016.
Strumiło S., Tylicki A., *Enzymologia podstawy*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2020.
Tymoczko J.L., Berg J.M., Stryer L., *Biochemia. Krótki kurs*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2013.
Wojtaszek P., Woźny A., Ratajczak L. (red.), *Biologia komórki roślinnej. Struktura*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2012.
Wojtaszek P., Woźny A., Ratajczak L. (red.), *Biologia komórki roślinnej. Funkcja*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2015.

Projekty graficzne:

Elena Grikurova-Wojnowska: 14, 16–17; **Maciej Galiński, Marcin Oleksak:** 42–43; **Marcin Kołacz:** 10–11, 24, 25, 26–27, 28–29, 52–53, 56–57, 59, 66–67, 70, 71, 106, 120, 134, 186, 200–201, 203, 216; **Marcin Oleksak:** 44–45, 130–131; **Joanna Pta̧k:** 222–223; **Joanna Pta̧k, Marcin Kołacz:** 206–207; **Marcin Pta̧k:** 148–149; **Wojciech Sendal:** 100–103, 137; **Agnieszka Stankiewicz:** 146, 150, 156–157.

Autorzy ilustracji:

Ewelina Baran: s. 108 (błona), 117 (komórka roślinna), 124 (mikrotubula, filamenty); **Elżbieta Buczkowska:** s. 20, 21, 81 (mRNA), 116 (neuron), 117 (komórka roślinna), 118 (osmoza, dyfuzja), 165 (osmoza), 202 (cząsteczka chlorofilu); **Rafał Buczkowski:** s. 18 (mitochondrium), 40 (atomy), 43 (atomy), 66, 67 (struktura trzeciorzędowa, rodzaje oddziaływań), 80 (przestrzenna budowa DNA, replikacja DNA), 81 (mRNA), 89 (przestrzenna budowa DNA, mRNA), 141, 232 (wątroba); **Marta Długokoęcka:** s. 18, 29 (wykresy), 40 (kompozycja ilustracji), 43 (kompozycja w lupkach), 48, 65 (schemat struktur), 66, 67 (struktura trzeciorzędowa, rodzaje oddziaływań), 70 (ilustracje z podpunktów 1–3), 71, 80 (replikacja DNA), 86 (aminokwas), 87, 93 (schemat po prawej), 109 (cząsteczki kwasów tłuszczowych), 110 (gliko-kaliks), 219, 220, 221; **Zuzanna Dudzic:** s. 107, 136, 139; **Justyna Dybala:** s. 72 (wzory w tabelce), 95 **Marcin Franczak:** s. 34 (rośliny); **Natalia Helman:** s. 11 (termometr), 69 (histony), 104, 121 (histony), 187 (przebieg szlaku i cyklu), 227 (fermentacja), 228, 231 (układ), 232 (układ schematu), 236 (przenośniki elektronów), 247 (schemat powiązania), 248, 254, 255, 256, 257, 258; **Wioleta Herczyńska:** s. 44 (aparat szparkowy), 61 (tętnica), 81 (mRNA), 110 (krwinki), 113 (stojak), 118 (osmoza, dyfuzja), 124 (przekrój), 126, 133, 143, 144 (plazmodezmy), 162, 163, 165 (osmoza), 191 (stojak, korek), 200 (przekrój liścia), 201 (komórka), 203 (działanie fotosystemu), 209, 211 (roślina), 212 (roślina, stojak), 213 (roślina), 223 (komórka), 225 (nasiona, korek), 226 (nasiona, korek), 230 (korek, stojak); **Ewa Kaletyn:** s. 47 (lipidy, aminokwasy i białka), 55 (budowa cząsteczki), 58, 59 (wnętrze pęcherzyka), 60, 61 (próba badawcza i próba kontrolna), 63, 64, 68, 72 (tripeptyd), 77 (budowa nukleotydu), 79 (pary zasad azotowych), 88 (budowa nukleotydu), 113 (lejek, tkanina), 114 (pinezka, ziemiak), 181, 182, 183 (wykresy), 184 (schematy trypsyna i chymotrypsyna), 188 (wykres), 190, 191 (wykres), 192 (białko jaja), 195 (wykres), 242 (schemat glukoneogenezy), 246; **Agata Knaidek:** s. 8 (słońce), 9 (dłoi, pipeta), 16, 174, 176 (ikona termometru), 209; **Laura Maziewska:** s. 9 (ziemiak z płamą), 14 (oko), 16, 25 (ikonki), 42 (napiecie powierzchniowe), 43 (schemat wody w jeziorze jesienią i zimą), 44 (aparat szparkowy, ściana naczyni/cewek), 45 (skóra, blaszki opłucnej), 47 (DNA), 69 (albuminy, włókno mięśniowe, globuliny, fibryna), 115 (białka, kulki), 116 (kanały potasowe, białka, kulki), 117 (białko, nabłonek jelita), 120 (DNA), 131 (drzewo rodowe), 132 (pompa), 134 (białka rozpuszczalne, siateczka gładka), 138, 140, 144 (budowa ściany komórkowej), 169, 171, 176 (mitochondrium), 178 (mitochondrium, syntaza ATP, pompa), 186 (pompa), 187 (rybozym), 196 (układ treści w ramkach), 235, 239 (cykl Calvina), 241 (schemat oddychania tlenowego), 249; **Krzysztof Mrawiński:** s. 73 (wysyłanie białka), 81 (mRNA), 122, 123, 128, 196 (aktywacja), 210, 211 (wykres), 212 (wykres), 215, 231 (układ); **Marek Nawrocki:** s. 56, 76 (tetrapeptyd), 92; **Marcin Oleksak:** s. 232 (serce); **Paulina Podolska:** s. 33; **Joanna Pta̧k:** s. 6 (nawigator), 8 (stokrotka, chloroplast), 9 (naczynia, przykrywka), 11 (kropla), 14 (mikroskop, obraz widziany), 36, 38 (układ okresowy, nawigator), 46 (szkielet węglowy), 47 (sacharydy, polimeryzacja), 49 (nawigator), 50, 52, 53, 54 (próbówka), 55 (nawigator, budowa cząsteczki), 59 (błona), 62 (nawigator, aminokwas), 65 (wiązania peptydowe), 69 (krwinki), 73 (nawigator), 74, 75 (próbówki), 76 (próbówki), 77 (nawigator, budowa nukleotydu, budowa zasad azotowych), 78, 79 (fragment nici), 80 (schemat budowy DNA), 81 (tRNA), 84, 86 (aminokwas, wiązania peptydowe), 88, 89 (schemat budowy DNA, tRNA), 94, 96, 98 (nawigator), 99 (komórki, sześciiany), 108 (nawigator), 110 (cukry), 111 (nawigator, błona, białko), 112 (krwinka), 113 (naczynie), 114 (naczynie), 115 (błona), 116 (błona, krwinka, cukry), 117 (komórka roślinna, błona, pompa), 121 (nukleotydy), 132 (błona), 134 (błona siateczki), 145 (nawigator), 146, 147, 150, 151, 154 (schemat cyklu), 155 (nawiga-tor), 156, 157, 158, 160, 164 (błona), 167, 176 (nawigator, ikona słońca), 177, 178 (fosforylacja), 179 (wątroba, schemat treści), 186 (błona), 189, 191 (próbówka), 192 (próbówki), 196 (glikogen, glukoza), 199 (nawigator), 201 (chloroplast), 204, 205, 206, 207, 211 (naczynia, regulator), 212 (naczynie), 213 (naczynia, termometr), 216 (nawigator), 218 (nawigator), 219, 220, 221, 222 (infografika, schemat, błona), 223 (infografika, schemat, błona, mitochondrium), 225 (naczynia), 226 (naczynia), 227 (nawigator), 229 (infografika, schemat), 230 (naczynia), 231 (białka, pompa, kapsułki), 232 (schemat), 233, 234, 235 (ryboza, adenina), 236 (wykres), 238, 239 (fosforylacja, cykl Calvina), 241 (glukoza, kapsułki, schemat związków), 242 (schemat utleniania kwasów, wątroba), 247 (błona); **Marcin Pta̧k:** s. 183 (prze-miany pirogronianu), 225 (układ); **Wojciech Sendal:** s. 7 (kielki, nasiona rzodkwi, wata), 9 (nasiona rzodkwi), 54 (palnik), 75 (palnik), 97 (komórka), 99 (sześciiany), 100, 101, 102, 103, 119, 127, 129, 130, 131 (komórki przestrzenne), 137, 148, 149, 175, 191 (palnik, lód, naczynie), 213 (palnik), 230 (płyn); **Marta Sieczkowska:** s. 172, 173; **Ewa Sowulewska:** s. 9 (górkí skrobi i glukozy), 10 (rzeżucha, okno), 11 (zegar, rzeżucha), 17, 44 (komórka), 45 (komórka), 46 (ślimak, ząb, kość), 69 (struktura białka, albuminy), 70 (ilustracja w podpunkcie 4), 73 (denaturacja białka), 75 (denaturacja białka), 81 (rybosom), 86 (białka), 89 (rybosom), 91 (denaturacja białka), 93 (białko), 109 (podział białek błonowych), 111 (układ transportu), 112 (komórki roślinne, komórka pęczniąca i komórka kurcząca się), 118 (transport pęcherzykowy), 120 (rRNA, tRNA rybosom, białko), 121 (mRNA, tRNA, rybosom, białko, enzym), 125, 134 (ilustracje w lupach), 135, 150, 152, 154 (przebieg apoptozy), 164 (białka, łańcuchy cukrowe, cholesterol), 165 (komórki roślinne), 168, 176 (chloroplast), 178 (chloroplast), 179 (mięsień), 180, 183 (enzymy niezużywające się), 184 (swoistość substratowa enzymów), 185, 186 (schematy syntezy ATP mitochondrium i chloroplastu), 188 (stężenie substratów), 193 (ilustracje schematyczne), 194, 195 (inhibicja kompetencyjna i inhibicja niekompetencyjna), 197, 198, 202 (wykresy), 203 (budowa i działanie fotosystemu, atom), 206 (błona), 207 (komórki), 208, 209 (jądro), 211 (żarówka), 212 (żarówka), 213 (żarówka), 214, 216 (ilustracja), 218 (mitochondrium), 222 (przestrzenność błony), 223 (przestrzenność błony i komórki), 229 (komórka, przestrzenności), 236 (enzymy), 237, 240, 243, 245, 247 (fosforylacja oksydacyjna); **Monika Wiśniewska:** s. 212 (układ prób), 213 (układ).

Zdjęcia pochodzą ze zbiorów:

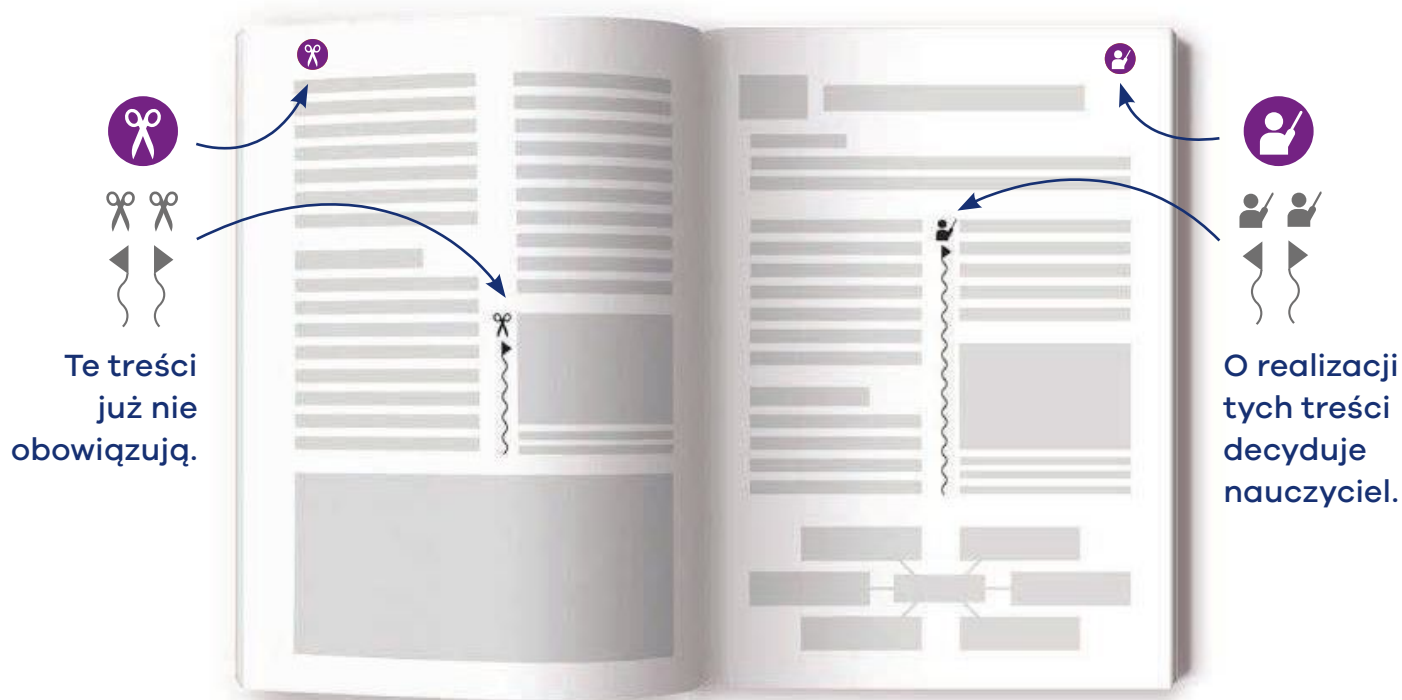
BE&W: Alamy Stock Photo/Conrad Elias s. 6 (obserwowanie ptaków), naturepl.com/David Fleetham s. 26 (rekin), Science Source/SciMat s. 54 (ziarna skrobi jęczmienia), naturepl.com/Jack Dykinga s. 57 (opuncja), naturepl.com/Solvin Zankl s. 57 (pszczoła), naturepl.com/Lynn M. Stone s. 60 (motyl), naturepl.com/Thomas Lazar s. 60 (larwa), Photo Researchers, Inc./Gregory G. Dimijian s. 98 (grzyby), Alamy Stock Photo/Science History Images s. 100 (mitochondrium, lizosom), Science Source/Biophoto Associates s. 101 (aparat Golgiego), 102 (ściana komórkowa), Science Source/Don W. Fawcett s. 101 (centrosomy), Photo Researchers, Inc./Biology Pics s. 105 (komórki mięksizu), Science Source/Biophoto Associates s. 105 (komórka drożdży), Alamy Stock Photo/Peter Hermes Furian s. 107, Science Source/Aaron J. Bell s. 125 (mikrotubule w komórkach eukariotycznych), Science Source/Don W. Fawcett s. 125 (centrosomy, mikrotubule), Alamy Stock Photo/Science History Images s. 128 (chloroplast), Alamy Stock Photo/blickwinkel s. 129 (chloroplasty), Alamy Stock Photo/Michael Gadomski s. 143 (drewno), Photo Researchers, Inc./Don. W. Fawcett s. 148 (sznur nukleosomów), Photo Researchers, Inc./E. R. Degginger s. 209, Science Source/Don W. Fawcett s. 232 (ziarna glikogenu w komórce mięśnia sercowego); **EAST NEWS:** Visuals Unlimited/Wim van Egmond s. 98 (okrzemki), Science Source s. 101 (siateczka śródpłazmatyczna gładka), Science Photo Library s. 102 (chloroplast), Visuals Unlimited, Inc./David Wrobel s. 128 (liście bez chlorofilu), Media Drum/Lynn Wu s. 132; **FLASH PRESS MEDIA:** Diomedia/Marka/Franco Valoti s. 141 (krystalny szczawianu wapnia), MEDICAL Images/Medical Images RM/Claude Bucau s. 145 (kariotyp mężczyzny – kompletny zestaw); **GETTY IMAGES:** iStock/Ponomaríova_Maria s. 11 (ilustracja kobiety czytającej listę), iStock/Getty Images Plus/Ponomarinova Maria s. 26, Image Source/Peter Muller s. 27 (pasieka), Image Source/Rodrigo Friscione s. 42 (wielkomorszcz), Science Photo Library RF s. 45 (ilustracja płuc), Moment RF/JACKY PARKER s. 52 (kwiaty podwojnika), Moment Open/Abigail Thompson s. 53 (kolba kukurydzy), 500px Plus/Marco Redaelli s. 56, Moment RF/Dave Soldano s. 57 (baran), Moment RF/James R.D. Scott s. 57 (kaszałot), 500px/delFuenteDario/Dario de la Fuente s. 71 (papuga), Moment RF/Jeff R. Clow s. 71 (nosorożec), Stone RF/Ed Reschke s. 106 (neurony), iStock/ROMAOSLO s. 215 (Przylaszczka pospolita), iStock/javarman3 s. 215 (agawa); **IMAGESELECT:** Tetra Images s. 17 (chłopak przed mikroskopem); **INDIGO IMAGES:** SPL/Jose Calvo s. 15 (obraz LM), SPL/Steve Gschmeissner s. 15 (obraz SEM, obraz TEM), SPL/Andrew Syred s. 44 (naczynia i cewki roślin), SPL/Steve Gschmeissner/S.C. s. 52 (ściana komórkowa), SPL/Eye of Science s. 53 (ziarna skrobi), SPL/Medimage s. 53 (ziarna glikogenu), SPL/Andrew Lambert Photography s. 54 (próba Fehlinga), Science Photo Library s. 59 (tkanki tłuszczowe), SPL/Dennis Kunkel Microscopy s. 59 (ściana komórkowa), SPL/Carlos Clarivan s. 67 (struktura trzeciorzędowa), SPL/MOLEKUUL s. 67 (struktura czwartorzędowa), SPL/NIBSC s. 70 (włókno kolagenowe), SPL/Jacob C. Zbinden s. 70 (komórka tkanki łącznej), SPL/Dennis Kunkel Microscopy s. 71 (pióro), SPL/Power & Syred s. 71 (włos ssaka, keratyny w naskórku), SPL/Eye Of Science s. 71 (keratyna w kopycie), SPL/Martyn F. Chillmaid s. 76, Science Photo Library s. 81 (rRNA – sprężynki), 89 (rRNA – sprężynki), SPL/Andrew Lambert Photography s. 90 (próba Fehlinga), SPL/Martyn F. Chillmaid s. 91 (reakcja biuretowa), SPL/Dr Linda Stannard, UC s. 98 (bakteria *E. coli*), Science Photo Library s. 100 (jądro komórkowe), SPL/Prof Cinti & V. Gremet s. 100 (peroksysom), Science Photo Library s. 101 (siateczka śródpłazmatyczna szorstka), SPL/Dr Jeremy Burgess s. 102 (wakuola), Science Photo Library s. 104 (chromosom bakteryjny), SPL/Andrew Syred s. 104 (chromosom eukariotyczny), Science Photo Library s. 105 (*Helicobacter pylori*), SPL/Eye Of Science s. 105 (eukocyty), SPL/Dennis Kunkel Microscopy s. 106 (kwinki czerwone, komórki roślinne), Science Photo Library s. 106 (rurki sitowe), SPL/Eye Of Science s. 113, Minden Pictures/Oceanwide/Gary Bell s. 122, SPL/Dennis Kunkel Microscopy s. 125 (rzęski i wici), SPL/Steve Gschmeissner s. 126 (wici u prostityw), SPL/Andrew Syred s. 126 (rzęski i protistów), Science Photo Library s. 128 (kwiat *Strelitzia reginae*), SPL/Dr Jeremy Burgess s. 128 (etioplasty), SPL/Eye Of Science s. 128 (leukoplasty), SPL/Gerd Guenther s. 128 (chromoplasty), SPL/Igor Stevanovic s. 128 (kolba kukurydzy), Science Photo Library s. 135, SPL/J.C. Revy, ISM s. 140, SPL/Frank Fox s. 141 (pantofelek), SPL/Le Vigan s. 143 (liść agawy), SPL/Edwin Remsberg, VW PICS s. 143 (kora drzewa), SPL/Moreduñ Animal Health s. 147 (komórka nowotworowa), SPL/Professor Oscar Miller s. 148 (replikacja DNA), SPL/Andrew Syred s. 149 (chromosomy metafazowe), SPL/Steve Gschmeissner s. 150, SPL/Dr Alexey Khodjakov s. 152, Science Photo Library s. 153 (bakteria E. coli), SPL/Eye of Science s. 155, SPL/Dennis Kunkel Microscopy s. 159, Science Photo Library/Laguna Design s. 193 (model 3D), Science Photo Library s. 224 (tkanka mięśniowa), SPL/Dennis Kunkel Microscopy s. 232 (ziarna glikogenu w komórce wątroby); **SHUTTERSTOCK:** Jes2u.photo – okładka, Sebastian Duda s. 5, Gorodenkoff s. 6 (naukowcy w laboratorium), Mary Long s. 10, 11, lilialucida s. 13, Vereshchagin Dmitry s. 14, Charoenrak Sonthirat s. 17 (robienie zdjęcia smartfonem), Inside Creative House s. 17 (tło zdjęcia z mikroskopem), Mary Long s. 24, Master1305 s. 25 (kockajt warzywny), nicemypfoto s. 25 (jadalne owady), Oksana Shufrych s. 25 (lek homeopatyczny), Fercast s. 26 (bocian), Ground Picture s. 26 (uczeń), nechaevkon s. 26 (komar), Daniel Prudek s. 27 (pszczoła miodna), Pixel-Shot s. 27 (lekarka i pacjentka), polinaloves s. 27 (kobieta pijąca kawę), unpict s. 27 (murarka), grafius s. 28–29 (ekran tabletu), Mary Long s. 29 (ilustracje kobiet), Juan Gaertner s. 37, Anna-Nas s. 42 (meduza), David A Litman s. 42 (mątwą), Diveivanov s. 42 (kałamarnica), VRVIRUS s. 42 (bąble powietrza pod wodą), Wirestock Creators s. 42 (nartnik), Yellow Cat s. 42 (macki ośmiornicy), optimarc s. 42–43 (chmara nartników), sondem s. 42–43 (powierzchnia wody), pemsanitfoto s. 44 (krople wody na liściu), ValentiñT s. 44 (komórki liścia), Billion Photos s. 45 (pot na skórze), Kuteev Gennadii s. 45 (włókna tkanki mięśniowej), Ekky Ilham s. 51, As Arsyil s. 52 (modliszka), Pixel-Shot s. 53 (ciało kobiety), eranicle s. 53 (wątroba), Mari Swanepoel s. 71 (zebra), Aleksey Stemmer s. 98 (drzewołaz), Kyilki s. 128 (liście ziemniaka), Kallayanee Naloka s. 156, Tim UR s. 200, Elena Sherengovskaya s. 224 (owoce pestkowców), Tatevosian Yana s. 228 oraz Piotr Kubat s. 74, Bogdan Wańkowicz/Patryk Budzich s. 90 (próba jódowa, barwienie tłuszczów Sudanem III), Agnieszka Obarska-Kosińska/EMBL Hamburg and MPI of Biophysics s. 121 (modele ludzkiego porowego kompleksu jądrowego), Robert Stawarz s. 126 (komórki liścia moczark), Izabella Kołodziejek s. 129 (chromoplasty), Farin H.F., Lüttke T.H.-W., Schmidt M.K., Placzko S., Schuster-Gossler K. et al. (2013), *Tbx2 Terminates Shh/Fgf Signaling in the Developing Mouse Limb Bud by Direct Repression of Gremlin1*, https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1003467 (udostępnione na licencji Creative Commons Attribution License) s. 153 (formowanie się łapki zarodka myszy).

Za co polubisz podręczniki **NOWA Biologia na czasie?**

- ★ przystępnie podane treści
- ★ wypunktowania, schematy i wyróżnienia, które wspomagają naukę
- ★ atrakcyjne infografiki i liczne ilustracje
- ★ zilustrowane wszystkie doświadczenia
- ★ czytelne wskazówki do rozwiązywania zadań



W podręczniku znajdziesz oznaczenia treści, które od września 2024 r. nie są już wymagane.



Fioletowa ikona na górze strony wskazuje, że na tej stronie znajdują się treści, które nie są wymagane – oznaczono je szarą ikoną i falką.

Nowa Era Sp. z o.o.



www.nowaera.pl



nowaera@nowaera.pl



Centrum Kontaktu: 58 721 48 00

ISBN 978-83-267-5021-2



9 788326 750212