Nowość
EDYCJA 2024

NOWA Biologia na czasie

ZMIANY W PODSTAWACH 2024

podręcznik w pełni dostosowany

2

PODRĘCZNIK • LICEUM • TECHNIKUM

ZAKRES ROZSZERZONY



nowa era

NOWA

Biologia na czasie

2

PODRĘCZNIK • LICEUM • TECHNIKUM

ZAKRES ROZSZERZONY

MAREK GUZIK
RYSZARD KOZIK
RENATA MATUSZEWSKA
WŁADYSŁAW ZAMACHOWSKI

nowa era Twoje mocne strony

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 Sternickiej, mgr. Adama Pukocza, dr Marii Jolanty Piaseckiej.

Etap edukacyjny: III
Typ szkoły: liceum ogólnokształcące i technikum
Rok dopuszczenia: 2025

Numer ewidencyjny w wykazie MEN: 1225/2/2025

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

Podręcznik został opracowany z uwzględnieniem zmian w zasadach polskiej ortografii, uchwalonych przez Radę Języka Polskiego w 2024 r. i obowiązujących od 1.01.2026 r.

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.

Szanujmy cudzą własność i prawo. Więcej na **www.legalnakultura.pl**

Wykorzystywanie treści niniejszego Utworu, w jakiejkolwiek 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. 2025
ISBN 978-83-267-5219-3

Konsultacja merytoryczna: dr Anna Tyc (specjalność: florystyka, fitosocjologia i ochrona przyrody), dr hab. Dorota Juchno (specjalność: zoologia).
Koordynacja prac i redakcja merytoryczna: Magdalena Bujnowska.
Redakcja merytoryczna: Aleksandra Mazur. **Redakcja językowa:** Roksana Blech.
Autorka zadań w części *Wiesz, umiesz, zdasz*: Anna Tyc.
Nadzór artystyczny: Ewa Kaletyn, Kaia Pichler. **Opieka graficzna:** Maciej Galiński, Marcin Oleksak.
Projekt okładki: Maciej Galiński, Krzysztof Mrawiński. **Projekt graficzny:** Marcin Kołacz.
Opracowanie graficzne: Elena Grikurova-Wojnowska, Klaudia Jarocka, Marcin Kołacz, Krzysztof Mrawiński, Marcin Oleksak, Agnieszka Skopińska, Zuzanna Sri, Grażyna Truchlińska, Sławomir Włodarczyk.
Ilustratorzy: Ewelina Baran, Katarzyna Borek-Polkowska, Elżbieta Buczkowska, Rafał Buczkowski, Marta Długokęcka, Zuzanna Dudzic, Robert Dzwonkowski, Natalia Helman, Wioleta Herczyńska, Paulina Jarmusik, Przemysław Kłosin, Adam Kłodecki, Agata Knajdek, Laura Maziewska, Małgorzata Motyka, Krzysztof Mrawiński, Ewa Nawrocka, Marek Nawrocki, Marcin Oleksak, Nikola Pelcer, Paulina Podolska, Poszarpani, Joanna Ptak, Marcin Ptak, Wojciech Sendal, Ewa Sowulewska, Przemysław Szukaj, Monika Wiśniewska, Magdalena Wolnicka-Maryniak.
Fotoserwis: Bogdan Wańkowicz. **Realizacja projektu graficznego:** Ewa Pietras.

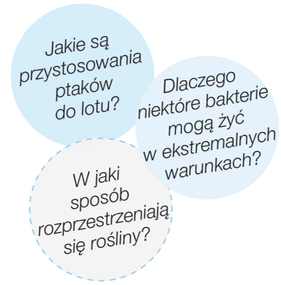
Wydawnictwo dołożyło wszelkich starań, aby odnaleźć posiadaczy praw autorskich do wszystkich utworów zamieszczonych w publikacji. Pozostałe osoby prosimy o kontakt z Wydawnictwem.

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 2* znajdziesz informacje dotyczące różnorodności prokariontów, protistów, grzybów, porostów, roślin i zwierząt. Dzięki tym wiadomościom odpowiesz na wiele pytań dotyczących ich budowy i funkcjonowania.



Do czego służą poszczególne elementy podręcznika?

Przypomnij sobie

Najważniejsze treści omawiane **w klasie 1** pomogą Ci zrozumieć nowe wiadomości.

Samouczek

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.

Doświadczenie

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

Dowiedz się więcej

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

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. Wirusy, bakterie, protisty i grzyby

1.1. Wirusy – molekularne pasożyty ... 6
1.2. Klasyfikowanie organizmów ... 14
1.3. Organizmy prokariotyczne – bakterie i archeowce ... 20
1.4. Protisty – proste organizmy eukariotyczne ... 33
1.5. Grzyby i porosty ... 50
Podsumowanie ... 58
Sposób na zadania ... 64
Zadania powtórzeniowe ... 66

2. Różnorodność roślin

2.1. Rośliny pierwotnie wodne ... 72
2.2. Cechy roślin lądowych ... 77
2.3. Tkanki roślinne ... 81
2.4. Korzeń – organ podziemny roślin ... 93
2.5. Pęd. Budowa i funkcje łodygi ... 100
2.6. Budowa i funkcje liści ... 108
2.7. Mchy – rośliny o dominującym gametoficie ... 116
2.8. Paprotniki – zarodnikowe rośliny naczyniowe ... 122
2.9. Rośliny nagonasienne ... 132
2.10. Rośliny okrytonasienne ... 140
Podsumowanie ... 156
Sposób na zadania ... 171
Zadania powtórzeniowe ... 173

3. Funkcjonowanie roślin

3.1. Gospodarka wodna roślin ... 176
3.2. Gospodarka mineralna roślin ... 189
3.3. Fotosynteza. Transport asymilatów w roślinie ... 192
3.4. Hormony roślinne ... 199
3.5. Wzrost i rozwój roślin. Kiełkowanie nasion ... 201
3.6. Rozwój wegetatywny i rozwój generatywny roślin ... 207
3.7. Spoczynek i starzenie się roślin ... 213
3.8. Ruchy roślin ... 215
Podsumowanie ... 220
Sposób na zadania ... 226
Zadania powtórzeniowe ... 228

4. Różnorodność bezkręgowców

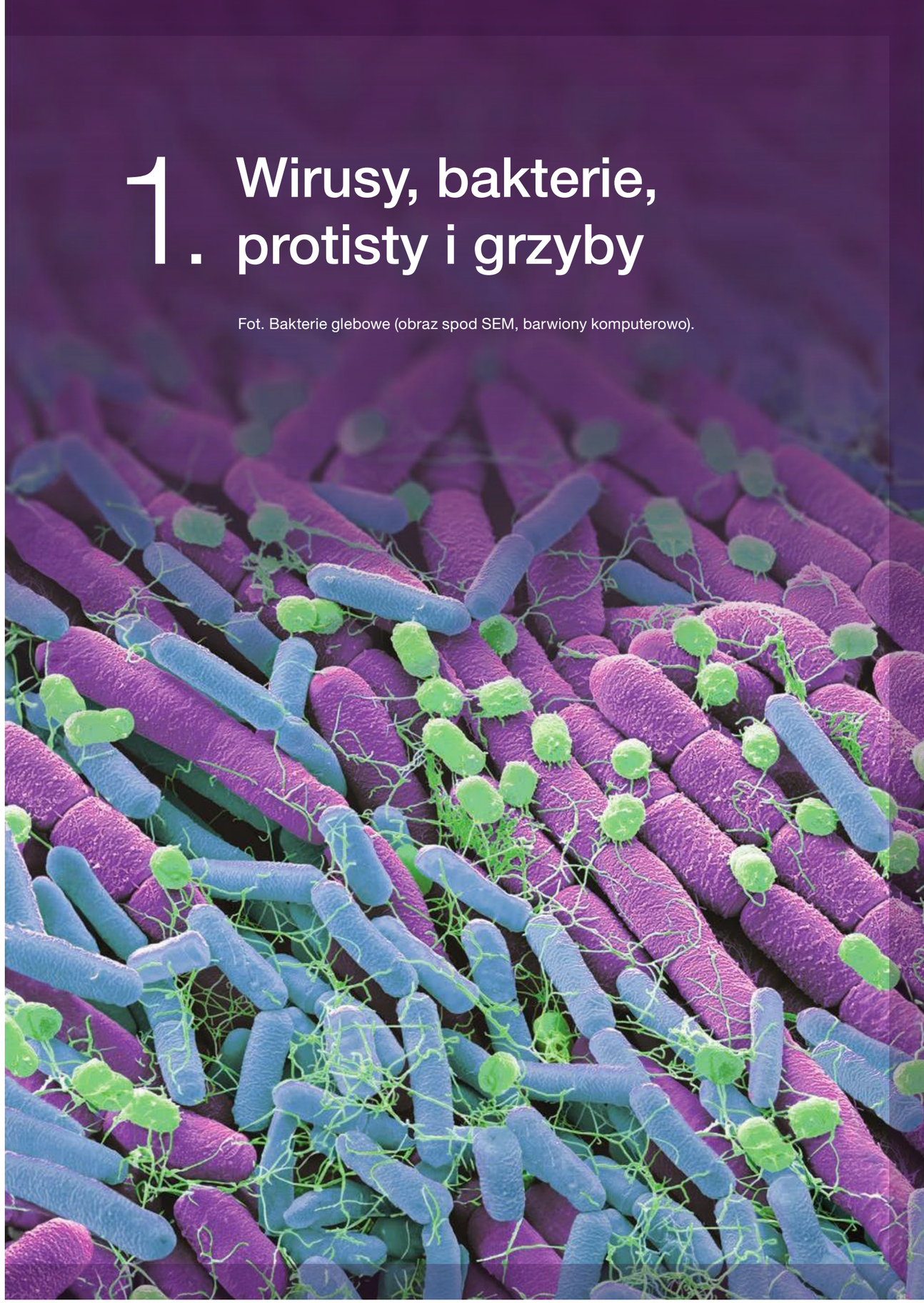
4.1. Kryteria klasyfikacji zwierząt ... 232
4.2. Tkanka nabłonkowa ... 238
4.3. Tkanka łączna ... 243
4.4. Tkanki nerwowa i mięśniowa ... 251
4.5. Parzydełkowce – tkankowe zwierzęta dwuwarstwowe ... 257
4.6. Płazińce – zwierzęta spłaszczone grzbieto-brzusznie ... 266
4.7. Nicienie – zwierzęta o obłym, nieczłonowanym ciele ... 275
4.8. Pierścienice – bezkręgowce o wyraźnej metamerii ... 281
4.9. Stawonogi – zwierzęta o członowanych odnóżach ... 289
4.10. Mięczaki – zwierzęta o miękkim, niesegmentowanym ciele ... 306
4.11. Szkarłupnie – bezkręgowce z układem wodnym ... 314
Podsumowanie ... 320
Sposób na zadania ... 327
Zadania powtórzeniowe ... 329

5. Różnorodność kręgowców

5.1. Cechy charakterystyczne kręgowców ... 334
5.2. Ryby – kręgowce pierwotnie wodne ... 341
5.3. Płazy – kręgowce dwuśrodowiskowe ... 357
5.4. Gady – pierwsze owodniowce ... 367
5.5. Ptaki – latające zwierzęta pokryte piórami ... 377
5.6. Ssaki – kręgowce wszechstronne i ekspansywne ... 391
Podsumowanie ... 404
Sposób na zadania ... 411
Zadania powtórzeniowe ... 413
Sposób na zadania – odpowiedzi ... 416
Doświadczenia i obserwacje – odpowiedzi ... 417
Przydatne terminy ... 419
Indeks ... 426
Literatura uzupełniająca ... 430

1. Wirusy, bakterie, protisty i grzyby

Fot. Bakterie glebowe (obraz spod SEM, barwiony komputerowo).



1.1. Wirusy – molekularne pasożyty

Wirusy
- wirusy DNA
- wirusy RNA

Ważne w tym temacie!

- budowa wirusów
- różnorodność morfologiczna i genetyczna wirusów
- związek budowy wirusów ze sposobem infekowania komórek
- cykle infekcyjne wirusów
- znaczenie mechanizmu odwrotnej transkrypcji w namnażaniu się retrowirusów
- znaczenie wirusów w przyrodzie i dla człowieka

Wirusy to mikroskopijne czynniki zakaźne zbudowane z białka i kwasu nukleinowego. Wirusy nie są organizmami, ponieważ nie mają budowy komórkowej i nie przejawiają samodzielnej aktywności metabolicznej – nie oddychają, nie odżywiają się i nie wydalają. Są zdolne jedynie do **namnażania się**, które może przebiegać wyłącznie wewnątrz komórki organizmu gospodarza. To dlatego wirusy nazywa się molekularnymi pasożytami.

Budowa wirusa

Kompletną cząstkę wirusa występującą w środowisku pozakomórkowym i zdolną do atakowania komórek nazywa się **wirionem**. Pojedynczy wirion składa się z:

- materiału genetycznego (DNA lub RNA),
- białkowego płaszcza zwanego **kapsydem**,
- lipoproteinowej osłonki zewnętrznej (u części wirusów).

W skład wirionu niektórych wirusów wchodzą dodatkowe białka budulcowe lub cząsteczki specyficznych enzymów wirusowych.

Materiał genetyczny wirusów

Materiałem genetycznym wirusów jest kwas deoksyrybonukleinowy – DNA – lub kwas rybonukleinowy – RNA. W zależności od rodzaju wirusa cząsteczki kwasów nukleinowych są jednoniciowe bądź dwuniciowe.

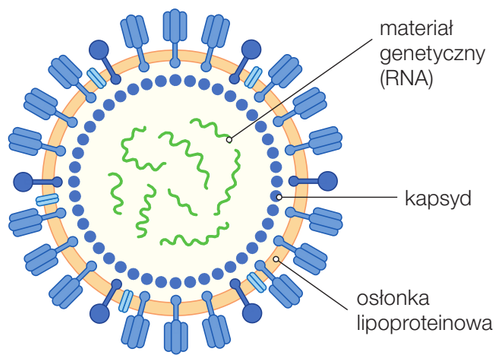
Kompletną informację genetyczną wirusów (i organizmów) nazywa się **genomem**. Genomy wirusów są bardzo małe i zawierają geny, które kodują białka wirusowe.

Kapsyd

Kapsyd składa się z małych białkowych jednostek strukturalnych, tzw. kapsomerów. Kapsyd chroni materiał genetyczny wirusa w środowisku pozakomórkowym oraz umożliwia wirusowi rozpoznawanie komórek gospodarza.

Osłonka zewnętrzna

Niektóre wirusy mają dodatkowo lipoproteinową osłonkę zewnętrzną. Jej lipidowa część powstaje z fragmentu błony komórkowej komórki gospodarza, przez co wniknięcie wirusa do wnętrza komórki jest łatwiejsze. Natomiast część białkową tworzą specyficzne białka wirusowe o charakterze glikoprotein. Pełnią one funkcję receptorów, a także łączą kapsyd z osłonką lipidową.



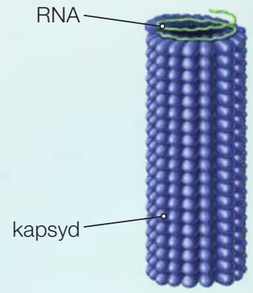
Budowa wirusa grypy.

Formy morfologiczne wirusów

Wirusy mają zróżnicowaną budowę morfologiczną. Najczęściej występują formy helikalne (spiralne) i bryłowe (20-ścienne, rzadziej 12-ścienne), ale spotyka się też wirusy o bardziej skomplikowanym kształcie, będące kombinacją obu wymienionych form. Kształt wirusów otoczonych osłonką lipidową jest kulisty, sam kapsyd ma jednak formę helikalną lub bryłową.

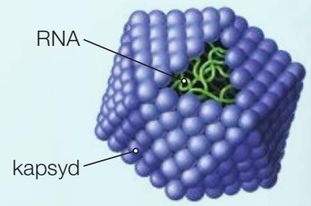
Forma helikalna

Występuje często u wirusów roślinnych, np. u wirusa mozaiki tytoniu.



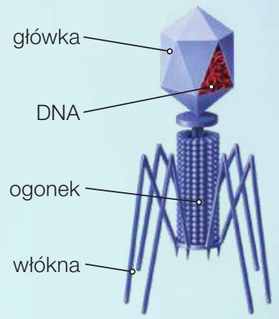
Forma bryłowa

Występuje głównie u wirusów zwierzęcych, np. u wirusa zapalenia wątroby typu A.



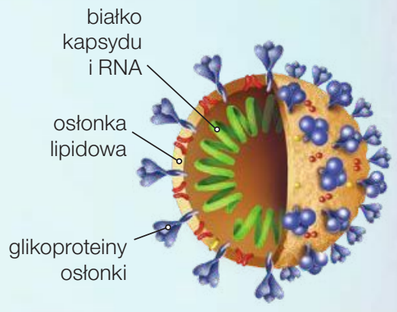
Forma bryłowo-spiralna

Występuje u bakteriofagów (fagów), czyli wirusów atakujących komórki bakterii. Wirion bakteriofaga jest zbudowany z wielościennej główki oraz helikalnego ogonka, zaopatrzonego w białkowe włókna.



Forma kulista

Występuje u wirusów zawierających lipoproteinową osłonkę, np. u wirusa SARS-CoV-2. Kapsyd tego wirusa ma formę helikalną.



Przebieg infekcji wirusowej

Infekcja wirusowa (zakażenie wirusowe) to wniknięcie wirusa do komórki gospodarza, a następnie jego namnożenie się. Proces ten składa się z kilku etapów.

1. **Adsorpcja wirusa na powierzchni komórki gospodarza**, czyli przyłączenie się wirusa do odpowiednich receptorów błony komórkowej.
2. **Wniknięcie wirusa lub jego genomu do komórki gospodarza** – wirusy bakteryjne (bakteriofagi) wstrzykują do komórek bakterii wyłącznie swoje genomy. Wirusy roślinne i zwierzęce zazwyczaj wnikają do komórek w całości.
3. **Synteza kopii genomów wirusa** – w przypadku wirusów DNA synteza nowych genomów polega na replikacji DNA z udziałem komórkowego enzymu polimerazy DNA. W przypadku wirusów RNA powielanie materiału genetycznego jest bardziej skomplikowane i często wymaga udziału specyficznych enzymów wirusowych, np. odwrotnej transkryptazy (→ s. 11).
4. **Ekspresja genów wirusa**, która prowadzi do wytworzenia białek wirusowych – w przypadku wirusów DNA najpierw następuje przepisanie informacji z wirusowego DNA na mRNA (transkrypcja). Następnie zachodzi synteza białek zgodnie z informacją zawartą w mRNA (translacja). W przypadku niektórych wirusów RNA cząsteczka RNA tworząca ich genom może być jednocześnie matrycą do syntezy białek kapsydu. U innych wirusów synteza mRNA jest procesem bardziej skomplikowanym i często wymaga udziału specyficznych enzymów wirusowych.
5. **Składanie genomów i białek wirusa w wirusy potomne**, które polega na łączeniu się kopii genomów wirusa oraz elementów kapsydu w wirusy potomne.
6. **Uwolnienie wirusów potomnych**, które opuszczają komórkę gospodarza, wypączkowując z niej lub powodując jej rozpad (lizę).

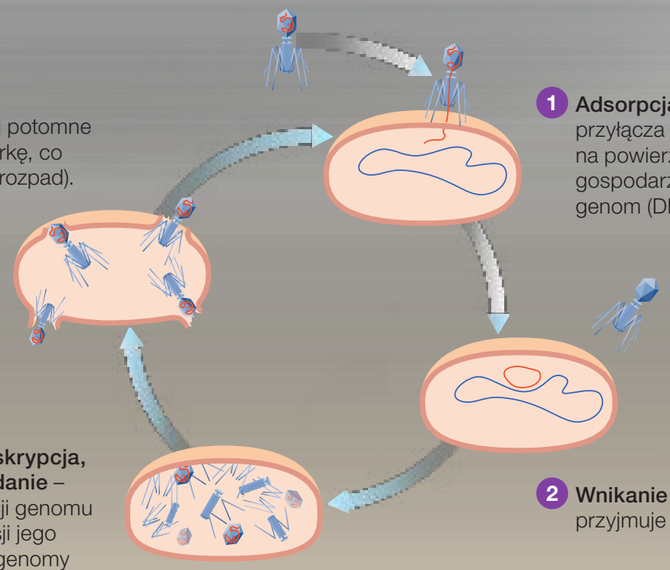
Niektóre wirusy po wniknięciu do komórki gospodarza wbudowują swój genom do genomu gospodarza. Stają się wtedy **prowirusami** lub – w przypadku bakteriofagów – **profagami**. W takim stanie, zwanym lizogenią, nie wywołują one objawów choroby. Materiał genetyczny prowirusa lub profaga jest powielany wraz z materiałem genetycznym gospodarza. Dzięki temu, że materiał genetyczny znajduje się w komórkach i organizmach potomnych, możliwe jest rozprzestrzenianie się wirusów bez wyniszczania żywicieli. Jednak pod wpływem zmieniających się warunków prowirusy mogą się uaktywniać i wywoływać objawy choroby.

Cykle infekcyjne bakteriofagów

W zależności od przebiegu infekcji wirusowej wyróżnia się dwa podstawowe cykle infekcyjne bakteriofagów: cykl lityczny i cykl lizogeniczny.

Cykl lityczny

W cyklu litycznym geny wirusa przejmują kontrolę nad metabolizmem komórki gospodarza, co prowadzi do wytwarzania nowych wirionów. Wiriony opuszczają komórkę, powodując jej lizę (rozpad). Cykl lityczny zachodzi u bakteriofagów złośliwych, m.in. u bakteriofaga T4.



4 **Uwolnienie** – fagi potomne opuszczają komórkę, co powoduje jej lizę (rozpad).

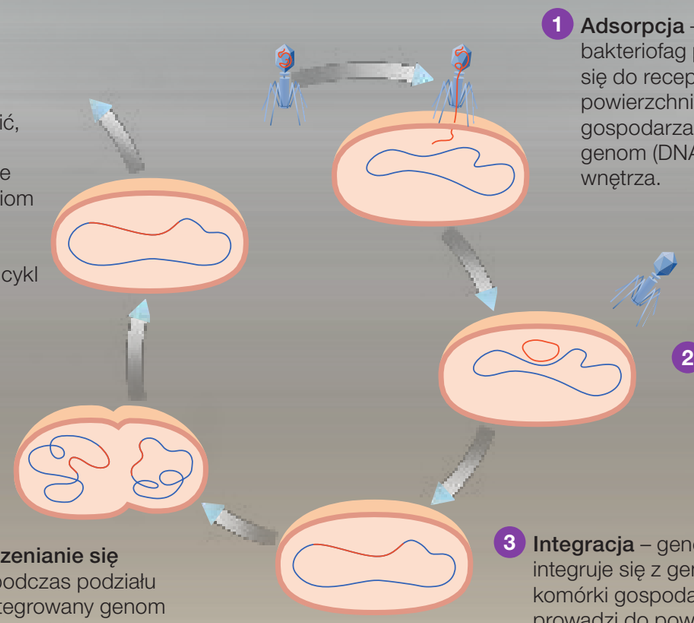
1 **Adsorpcja** – bakteriofag przyłącza się do receptorów na powierzchni komórki gospodarza i wstrzykuje genom (DNA) do jej wnętrza.

3 **Replikacja, transkrypcja, translacja i składanie** – w efekcie replikacji genomu faga oraz ekspresji jego genów powstają genomy potomne oraz białka kapsydu. Wytworzone elementy łączą się w fagi potomne.

2 **Wnikanie** – genom fagowy przyjmuje kolistą postać.

Cykl lizogeniczny

W cyklu lizogenicznym genom wirusa integruje się z genomem komórki gospodarza, wskutek czego staje się profagiem. Jednak pod wpływem niekorzystnych dla zainfekowanej komórki czynników zewnętrznych profag może ulec indukcji i wejść w cykl lityczny. Cykl lizogeniczny zachodzi u bakteriofagów łagodnych, m.in. u bakteriofaga λ (lambda).



1 **Adsorpcja** – bakteriofag przyłącza się do receptorów na powierzchni komórki gospodarza i wstrzykuje genom (DNA) do jej wnętrza.

2 **Wnikanie** – genom fagowy przyjmuje kolistą postać.

3 **Integracja** – genom fagowy integruje się z genomem komórki gospodarza, co prowadzi do powstania profaga. Następnie zachodzi replikacja genomu komórki wraz z wbudowanymi genami faga.

4 **Rozprzestrzenianie się profaga** – podczas podziału komórki zintegrowany genom fagowy przechodzi do komórek potomnych.

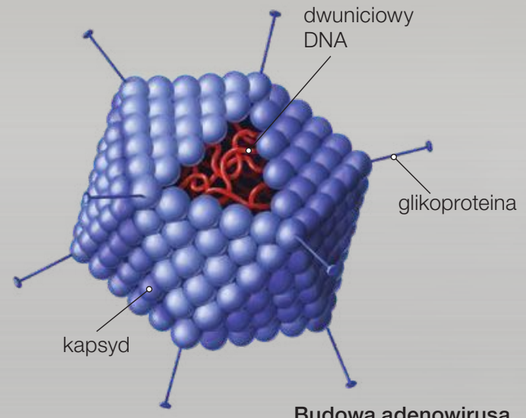
5 Komórki potomne mogą się dalej dzielić, przekazując w ten sposób geny fagowe następnym pokoleniom komórek, lub może nastąpić **indukcja profaga** (wejście w cykl lityczny).

Cykle infekcyjne wirusów zwierzęcych

Cykle infekcyjne wirusów zwierzęcych przypominają cykle bakteriofagów. Różnica polega na tym, że bakteriofagi wstrzykują do komórki gospodarza kwas nukleinowy i pozostawiają kapsyd na zewnątrz, natomiast większość wirusów zwierzęcych wnika do wnętrza komórki w całości.

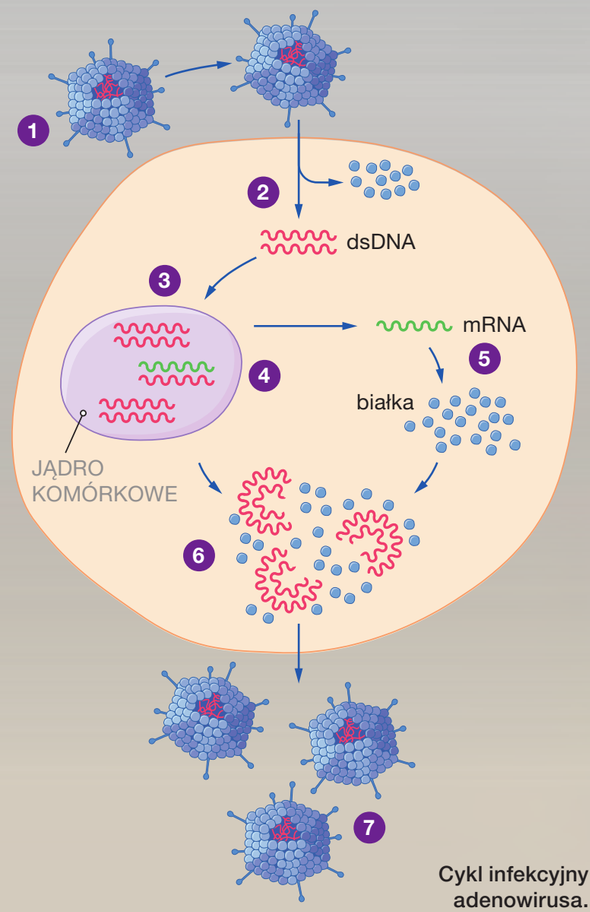
Cykl infekcyjny wirusa DNA

Do wirusów DNA atakujących komórki zwierzęce należą m.in. adenowirusy. Powodują one choroby górnych dróg oddechowych oraz układu pokarmowego.



Budowa adenowirusa.

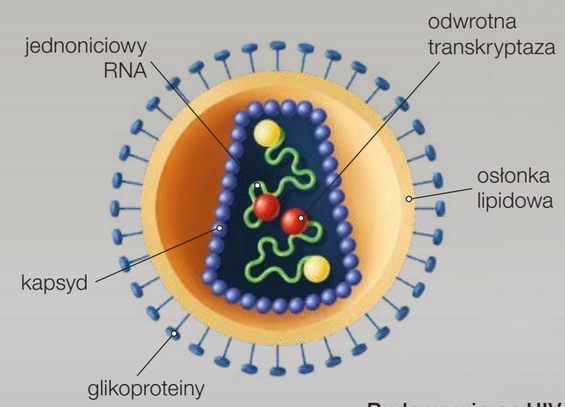
1. **Adsorpcja** – glikoproteiny wirusa rozpoznają receptory znajdujące się na powierzchni infekowanej komórki i wiążą się z nimi.
2. **Wnikanie** – kapsyd wirusa wraz z materiałem genetycznym przechodzi do cytoplazmy komórki. Kapsyd ulega rozpadowi, uwalniając jednocześnie materiał genetyczny wirusa – dwuniciowy DNA (ang. *double-stranded DNA*).
3. **Replikacja DNA** – enzym komórki gospodarza (polimeraza DNA) tworzy kopie genomu wirusa.
4. **Transkrypcja** – enzym komórki gospodarza (polimeraza RNA) przepisuje informację genetyczną z DNA wirusa na cząsteczki RNA.
5. **Translacja** – na rybosomach komórki gospodarza zachodzi synteza białek wirusowych.
6. **Składanie** – z elementów składowych powstają wirusy potomne.
7. **Uwolnienie** – wirusy potomne opuszczają zainfekowaną komórkę, co zwykle powoduje jej lizę.



Cykl infekcyjny adenowirusa.

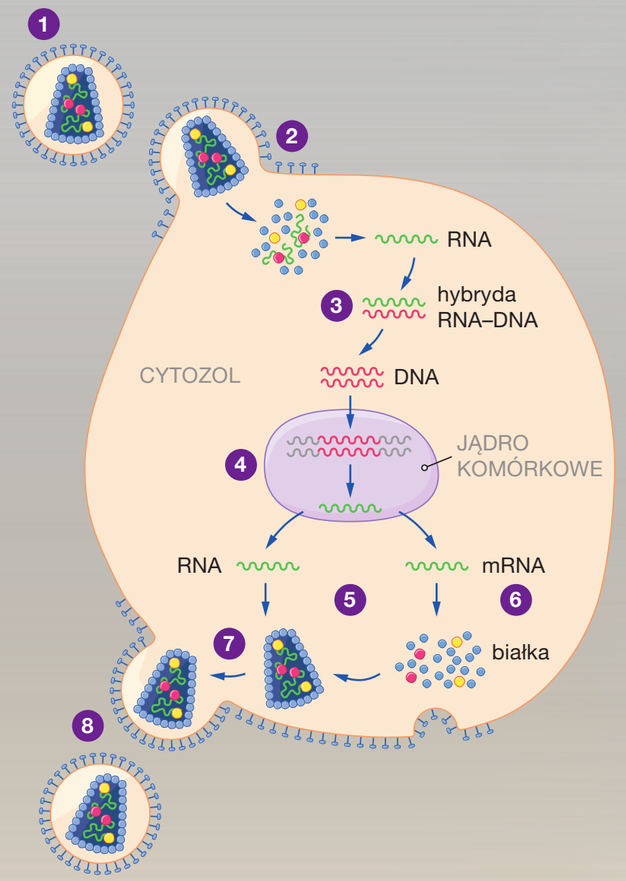
Cykl infekcyjny retrowirusa (wirusa RNA)

Retrowirusy to grupa wirusów RNA, których cykl infekcyjny obejmuje proces **odwrotnej transkrypcji**, czyli przepisania informacji genetycznej z RNA na DNA. Jest to możliwe, ponieważ genom retrowirusa koduje **odwrotną transkryptazę** – enzym, który katalizuje syntezę DNA na matrycy RNA. Przykładem retrowirusa jest ludzki wirus niedoboru odporności (ang. HIV – *human immunodeficiency virus*) wywołujący nabyty zespół niedoboru odporności (ang. AIDS – *acquired immune deficiency syndrome*).



Budowa wirusa HIV.

1. **Adsorpcja** – glikoproteiny wirusa rozpoznają receptory znajdujące się na powierzchni komórki odpornościowej i wiążą się z nimi. Osłonka wirusa zlewa się z błoną komórkową komórki gospodarza.
2. **Wnikanie** – kapsyd wirusa wraz z materiałem genetycznym wnika do cytoplazmy komórki. Kapsyd ulega rozpadowi, uwalniając jednocześnie materiał genetyczny wirusa.
3. **Odwrotna transkrypcja** – na podstawie RNA wirusa odwrotna transkryptaza syntetyzuje DNA odpowiadający pełnemu genomowi wirusowemu. Następnie DNA przedostaje się do jądra komórkowego.
4. **Integracja** – DNA wirusa zostaje wbudowany do DNA komórki gospodarza (staje się prowirusem). Wirus w stanie utajenia jest obecny w komórkach odpornościowych, nie wywołując przy tym objawów AIDS.
5. **Transkrypcja** – po indukcji wirusa (po wejściu w cykl lityczny) następuje synteza wirusowego RNA na matrycy DNA. Dzięki temu są wytwarzane nowe genomy wirusa, które jednocześnie stanowią matrycę do syntezy białek wirusowych.
6. **Translacja** – na rybosomach komórki gospodarza zachodzi synteza białek wirusowych.
7. **Składanie** – z elementów składowych powstają wirusy potomne.
8. **Uwolnienie** – wirusy potomne opuszczają zainfekowaną komórkę. Każdy wirus jest otoczony osłonką powstałą z błony komórkowej komórki gospodarza, zawierającą glikoproteiny wirusa. Komórka gospodarza nie ulega lizie, ale wytwarza nowe wiriony, które mogą atakować kolejne komórki.



Cykl infekcyjny wirusa HIV.

Znaczenie wirusów

Wirusy są groźnymi czynnikami chorobotwórczymi, które atakują wszystkie organizmy. Wirusy:

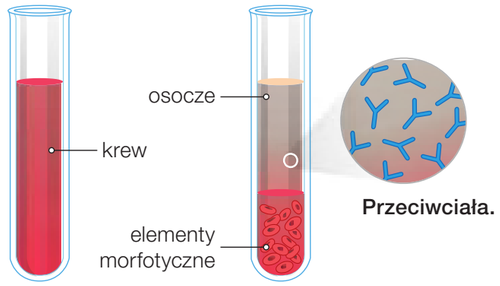
- powodują straty w rolnictwie (w wyniku chorób roślin uprawnych i zwierząt hodowlanych),
- regulują liczebność populacji różnych gatunków – chore osobniki mogą umrzeć lub być osłabione (przez co stają się podatniejsze na ataki drapieżników),
- wywołują wiele chorób u ludzi (→ s. 13),
- mogą wywoływać epidemie (czyli masowe wystąpienia choroby w określonym czasie i na określonym obszarze, np. w mieście czy kraju) i pandemie (czyli epidemię o zasięgu światowym), np. pandemię COVID-19.

Dzięki swoim właściwościom wirusy znalazły szereg zastosowań w medycynie. Od wielu lat wykorzystuje się je do produkcji szczepionek i surowic (osocza krwi pozbawionego fibrynogenu, w którym znajdują się przeciwciała skierowane przeciw konkretnemu patogenowi). Są również eksperymentalnie stosowane do zwalczania bakterii chorobotwórczych, szczególnie bakterii opornych na wiele antybiotyków.

Profilaktyka chorób wirusowych

W zwalczaniu chorób wirusowych istotne są:

- wczesne i poprawne rozpoznanie choroby, a następnie wykrycie i unieszkodliwienie źródła zakażenia, jak również uniemożliwienie rozprzestrzeniania się wirusa;
- ochrona osobników zdrowych, które mają kontakt z osobnikami chorymi lub z nosicielami;
- szczepienia ochronne, które polegają na podawaniu wirusów o zmniejszonej zdolności wywoływania choroby lub ich fragmentów. W odpowiedzi na kontakt z wirusem organizm gospodarza wytwarza przeciwciała, które unieszkodliwiają wirusa. W ten sposób nabywa się odporność na określony rodzaj wirusa;
- surowice odpornościowe, w których znajdują się przeciwciała skierowane przeciw konkretnemu rodzajowi wirusa, np. w sytuacji podejrzenia zakażenia wścieklizną pacjentom podaje się surowicę ludzką lub końską, zawierającą przeciwciała skierowane przeciw wirusowi wścieklizny.



W osoczu krwi znajdują się przeciwciała skierowane przeciw konkretnemu rodzajowi wirusa. Osocze pozbawione fibrynogenu staje się surowicą wykorzystywaną w leczeniu wielu chorób.

Leczenie chorób wirusowych

Leczenie większości chorób wirusowych polega na łagodzeniu objawów choroby. W przypadku niektórych chorób, np. AIDS, istnieją leki przeciwwirusowe. Leki te są zwykle skierowane przeciwko enzymom wirusowym.



Leki zwalczające objawy AIDS hamują m.in. działanie odwrotnej transkryptazy, zapobiegając w ten sposób ekspresji genów wirusa.

Wybrane choroby wirusowe człowieka

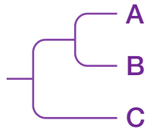
Nazwa choroby, nazwa wirusa	Droga zakażenia	Profilaktyka
Wścieklizna, wirus wścieklizny	• pogryzienie przez zakażone zwierzę lub kontakt z jego wydzielinami • w wyniku przeszczepu narządów (rzadziej)	• unikanie dzikich i obcych zwierząt • przemycie rany surowicą zawierającą przeciwciała przeciw wirusowi wścieklizny • domięśniowe lub dożylne podanie surowicy przeciw wirusowi wścieklizny • szczepienia ochronne ludzi i zwierząt • badanie dawców narządów
Zespół nabytego niedoboru odporności (AIDS), ludzki wirus niedoboru odporności (HIV)	• droga płciowa • kontakt z krwią osoby zakażonej • zakażenie dziecka przez chorą matkę w trakcie ciąży lub porodu	• unikanie przypadkowych kontaktów seksualnych, stosowanie prezerwatyw • rutynowe badania na obecność wirusa HIV • badanie dawców krwi i narządów
Brodawki lub rak szyjki macicy, wirus brodawczaka ludzkiego (HPV)	• kontakt ze skórą osoby zakażonej lub z przedmiotami przez nią używanymi • droga płciowa	• przestrzeganie zasad higieny • szczepienia ochronne • unikanie przypadkowych kontaktów seksualnych, stosowanie prezerwatyw
Grypa, wirus grypy	• droga kropelkowa (powietrzna)	• przestrzeganie zasad higieny • unikanie kontaktu z osobami chorymi • szczepienia ochronne
Odra, wirus odry	• droga kropelkowa	• szczepienia ochronne
Różyczka, wirus różyczki	• droga kropelkowa • zakażenie dziecka przez chorą matkę w trakcie ciąży	• szczepienia ochronne
Wirusowe zapalenie wątroby typu A (WZW A), wirus zapalenia wątroby typu A (HAV)	• droga pokarmowa • kontakt z odchodami osób chorych	• przestrzeganie zasad higieny • szczepienia ochronne
Wirusowe zapalenie wątroby typu B (WZW B), wirus zapalenia wątroby typu B (HBV)	• droga płciowa • kontakt z krwią osoby zakażonej	• unikanie przypadkowych kontaktów seksualnych, stosowanie prezerwatyw • przestrzeganie zasad higieny, m.in. sterylizacja narzędzi medycznych • badanie dawców krwi i narządów • szczepienia ochronne
Wirusowe zapalenie wątroby typu C (WZW C), wirus zapalenia wątroby typu C (HCV)	• droga płciowa • kontakt z krwią osoby zakażonej	• unikanie przypadkowych kontaktów seksualnych, stosowanie prezerwatyw • przestrzeganie zasad higieny, m.in. sterylizacja narzędzi medycznych • badanie dawców krwi i narządów

Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij, dlaczego wirusy nie są zaliczane do organizmów. Uzasadnij swoją odpowiedź za pomocą dwóch argumentów.
2. Podaj dwie różnice między cyklem litycznym a cyklem lizogenicznym bakteriofagów.
3. Wyjaśnij, dlaczego wirusy mogą się namnażać wyłącznie wewnątrz komórek gospodarza.
4. Omów cykl infekcyjny retrowirusa.

1.2. Klasyfikowanie organizmów

Ważne w tym temacie!
- podstawowe rangi taksonomiczne
- analiza kladogramów
- grupy monofiletyczne, parafiletyczne i polifiletyczne

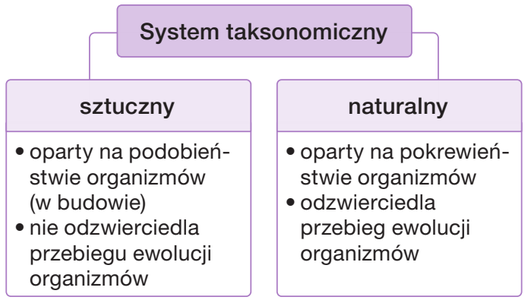


Pierwszy spójny system klasyfikacji organizmów został opracowany w XVIII w. przez Karola Linneusza. Badacz brał pod uwagę wyłącznie podobieństwo zewnętrzne organizmów, dlatego stworzony przez niego system klasyfikacji często nie odzwierciedlał naturalnych pokrewieństw między nimi. Obecnie zagadnieniami dotyczącymi klasyfikacji organizmów zajmuje się odrębny dział biologii – **systematyka**.

Zadania systematyki

Prace specjalistów z zakresu systematyki polegają na łączeniu organizmów w grupy – tzw. **jednostki taksonomiczne** (taksony) – na podstawie wcześniej przyjętych kryteriów. Każdy takson ma określoną rangę, np. kota domowego można przypisać do taksonów: drapieżne, ssaki, zwierzęta, eukarionty. Na podstawie podziału organizmów na taksony tworzy się system klasyfikacji organizmów, czyli **system taksonomiczny**.

Wyróżnia się systemy taksonomiczne sztuczne i systemy taksonomiczne naturalne (filogenetyczne).



Obecnie stosowany system taksonomiczny jest oparty na podobieństwie organizmów oraz na ich ewolucyjnym pokrewieństwie. Warto pamiętać, że systemy taksonomiczne podlegają zmianom. Wynika to przede wszystkim z ciągłego rozwoju nauki i technik klasyfikacji, a także z odkrywania nowych gatunków.

Przypomnij sobie

Ewolucyjne pokrewieństwo organizmów

Wszystkie organizmy są ze sobą ewolucyjnie spokrewnione, jednak stopień pokrewieństwa organizmów może być różny. Zależy on od tego, kiedy doszło do rozdzielenia się grup ich przodków na osobne linie rozwojowe (→ s. 17). Na przykład delfin (ssak) jest bliżej spokrewniony z foką (ssakiem) niż z rekinem (rybą) – mimo zewnętrznego podobieństwa.



Podstawowe rangi taksonomiczne

Podstawową jednostką klasyfikacji organizmów jest **gatunek**. Gatunek to grupa podobnych do siebie organizmów zdolnych do krzyżowania się i wydawania płodnego potomstwa. Poszczególne gatunki przypisuje się do wyższych rangą kategorii taksonomicznych: rodzaju, rodziny, rzędu, klasy, typu, królestwa i domeny. Klasyfikacja biologiczna ma strukturę hierarchiczną. Oznacza to, że każdy z taksonów jest zbiorem jednostek niższej rangi, np. rząd jest zbiorem rodzin, a rodzina – zbiorem rodzajów.

Każdy z taksonów oraz każda z kategorii taksonomicznych ma łacińską nazwę, dzięki czemu możliwa jest współpraca naukowców różnych narodowości. W przypadku łacińskich nazw gatunkowych obowiązuje tzw. **nazewnictwo binominalne** (dwuimienne). W tym nazewnictwie nazwa gatunkowa składa się z dwóch członów: z **nazwy rodzajowej**, która określa przynależność organizmu do danego rodzaju, oraz z **epitetu gatunkowego**, który odróżnia poszczególne gatunki należące do tego samego rodzaju. Aby określić, czy dwa gatunki należą do tego samego rodzaju, trzeba porównać ich łacińskie nazwy rodzajowe. Na przykład żaba trawna (*Rana temporaria*) i żaba śmieszka (*Pelophylax ridibundus*) nie należą do tego samego rodzaju, choć ich polskie nazwy mogą to sugerować.

System naturalny (filogenetyczny)

System naturalny jest odzwierciedleniem stopnia ewolucyjnego pokrewieństwa między organizmami. W rezultacie można odtworzyć ich **filogenezę** (rozwój rodowy), czyli ewolucyjną historię rozwoju organizmu lub grupy systematycznej (od pojawienia się na Ziemi do czasów współczesnych lub do wymarcia).

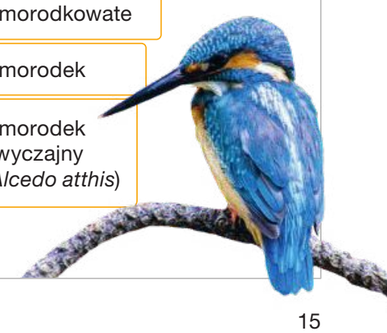
W systemie filogenetycznym podobieństwa między organizmami są miarą ich pokrewieństwa. Porównując budowę organizmów, poszukuje się cech, które mogą świadczyć o wspólnym pochodzeniu. Należy do nich występowanie **narządów homologicznych** (→ s. 16), czyli takich narządów, które u różnych grup organizmów mają taki sam plan budowy oraz podobne umiejscowienie i przebieg rozwoju.

Podstawowe rangi taksonomiczne w systematyce roślin i zwierząt

Nazwy poszczególnych kategorii taksonomicznych w systematyce roślin i zwierząt w większości są jednakowe – różnice dotyczą typu i gromady (u zwierząt) oraz gromady i klasy (u roślin).

eukarionty	domena	domena	eukarionty
rośliny	królestwo	królestwo	zwierzęta
okrytonasienne	gromada	typ	strunowce
dwuliścienne	klasa	gromada	ptaki
astrowce	rząd	rząd	kraskowe
astrowate	rodzina	rodzina	zimorodkowate
stokrotka	rodzaj	rodzaj	zimorodek
stokrotka pospolita (*Bellis perennis*)	gatunek	gatunek	zimorodek zwyczajny (*Alcedo atthis*)





Analogia i homologia

Aby określić, czy podobieństwo cech dwóch gatunków świadczy o ich bliskim pokrewieństwie, naukowcy analizują budowę wewnętrzną organizmów oraz ich rozwój.

Analogia

Podobieństwo, które nie wynika z pokrewieństwa, lecz z prowadzonego trybu życia lub funkcjonowania w zbliżonym środowisku, nazywa się **analogią**. Narządy, które nie mają wspólnego pochodzenia, lecz są zewnętrznie podobne na skutek pełnienia takich samych funkcji, określa się mianem **narządów analogicznych**.

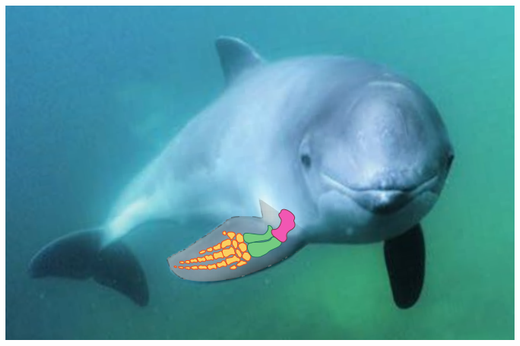


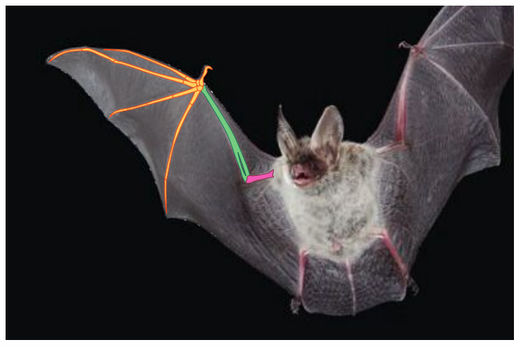


Przykładem narządów analogicznych są skrzydła owadów i ptaków stanowiące przystosowanie do aktywnego lotu. Wykształciły się one niezależnie u obu grup zwierząt, o czym świadczy ich całkowicie odmienna budowa wewnętrzna – skrzydła owadów są wytworami powłok ciała, natomiast skrzydła ptaków są przekształconymi kończynami przednimi.

Homologia

Podobieństwo budowy, które wynika ze wspólnego pochodzenia, nazywa się **homologią**. Narządy o wspólnym pochodzeniu to **narządy homologiczne**. Podobieństwo narządów homologicznych nie zawsze jest widoczne.

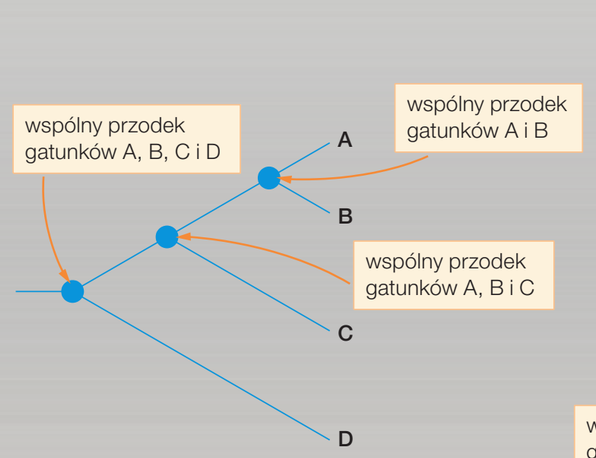




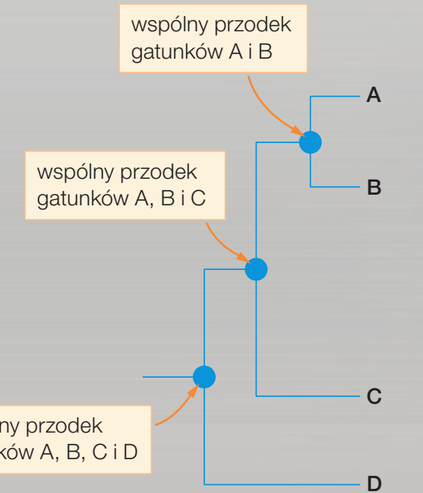
Przykładem narządów homologicznych są kończyny przednie foki i nietoperza. Różnią się one wyglądem ze względu na funkcjonowanie tych ssaków w odmiennych warunkach środowiska – płetwy foki są przystosowane do pływania, natomiast skrzydła nietoperza służą do aktywnego lotu. Narządy te są jednak zbudowane z tych samych elementów i podczas rozwoju organizmu powstają z tych samych struktur.

Drzewo rodowe organizmów

Pokrewieństwo ewolucyjne organizmów przedstawia się w postaci drzewa rodowego (drzewa filogenetycznego). Gałęziami drzewa rodowego są linie rozwojowe (nazywane liniami filetycznymi), czyli grupy organizmów mające wspólnego przodka. Miejsca rozgałęzień linii rozwojowych wskazują wspólnych przodków organizmów. Drzewa rodowe przedstawia się w dwóch formach – ukośnej i prostokątnej.



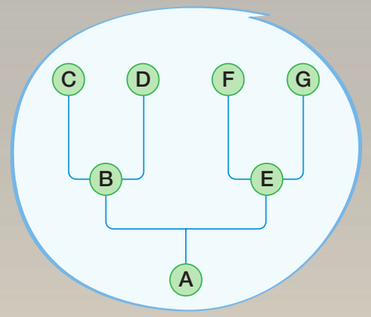
Forma ukośna drzewa rodowego.



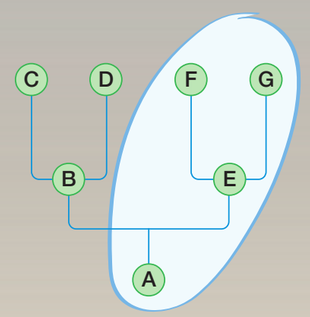
Forma prostokątna drzewa rodowego.

Rodzaje taksonów

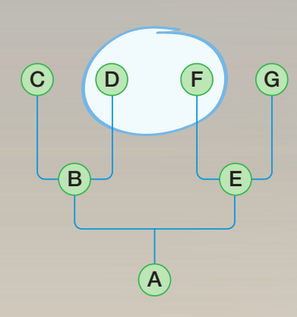
Dane dotyczące pokrewieństwa ewolucyjnego organizmów porównano z tradycyjnymi (sztucznymi) systemami klasyfikacji. Na tej podstawie wyodrębniono trzy rodzaje taksonów: **taksony monofiletyczny**, **parafiletyczny** i **polifiletyczny**.



Takson monofiletyczny, zwany również **kladem**, to naturalna grupa organizmów. Obejmuje wspólnego przodka oraz wszystkich jego potomków.



Takson parafiletyczny to sztuczna grupa organizmów. Wywodzi się od jednego przodka, ale w odróżnieniu od grupy naturalnej nie obejmuje wszystkich jego potomków.



Takson polifiletyczny to sztuczna grupa organizmów. Wywodzi się od różnych przodków i obejmuje organizmy bardzo daleko ze sobą spokrewnione.

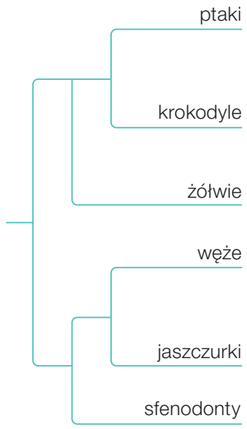
Samouczek

Analiza kladogramów

Kladogram to diagram przedstawiający pokrewieństwo między organizmami, który nie uwzględnia czasu ewolucji poszczególnych linii rozwojowych. Analiza kladogramu umożliwia m.in. określenie bliskości pokrewieństwa konkretnych taksonów.

Przykład

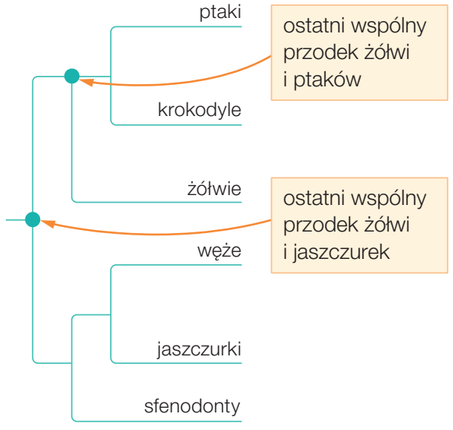
Na poniższym schemacie przedstawiono kladogram grupy zwierząt, która obejmuje ptaki i gady.



a. Określ, czy żółwie są bliżej spokrewnione z ptakami czy z jaszczurkami.
b. Określ, czy gady są grupą monofiletyczną. Odpowiedź uzasadnij.

Podpunkt a
Krok 1

Odszukaj na kladogramie ostatniego wspólnego przodka żółwi i ptaków oraz ostatniego wspólnego przodka żółwi i jaszczurek.



Krok 2

Określ, który z ostatnich wspólnych przodków – przodek żółwi i ptaków czy przodek żółwi i jaszczurek – pojawił się później w ewolucji przedstawionej grupy zwierząt. Dzięki temu określisz, kiedy nastąpiło rozdzielenie się linii ewolucyjnych żółwi i ptaków oraz żółwi i jaszczurek.

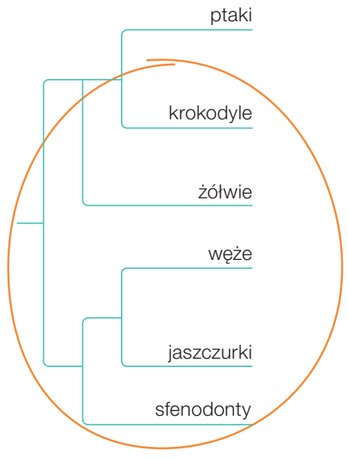
Organizmy są tym bliżej spokrewnione, im później nastąpiło rozdzielenie się ich linii rozwojowych.

Odpowiedź:

Żółwie są bliżej spokrewnione z ptakami niż z jaszczurkami.

Podpunkt b
Krok 1

Odszukaj na kladogramie wszystkie grupy zwierząt należące do gadów.



Krok 2

Określ, czy grupy te obejmują wspólnego przodka oraz wszystkich jego potomków.

Odpowiedź:

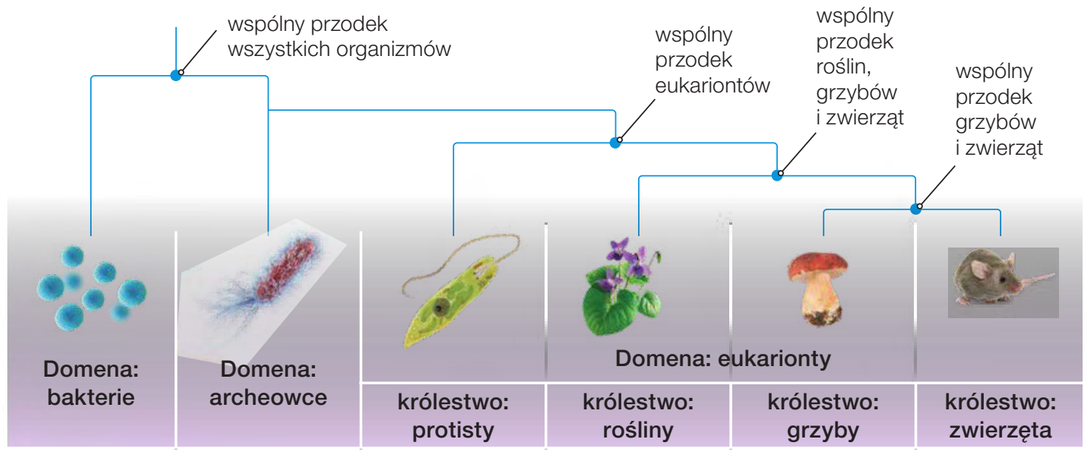
Gady nie są grupą monofiletyczną, ponieważ nie uwzględniają ptaków, które wywodzą się od tego samego przodka.

Współczesny system klasyfikacji organizmów

Współczesny system klasyfikacji organizmów został zaproponowany w 1990 r. Nadrzędną kategorią taksonomiczną tego systemu jest **domena**. W randze domeny znajdują się taksony bakterii, archeowców oraz eukariontów, czyli organizmów jądrowych. W skład ostatniej domeny wchodzą cztery królestwa: rośliny, zwierzęta, grzyby oraz protisty.

Uwaga: Opisany system klasyfikacji nie jest jedynym stosowanym systemem. Wielu naukowców uznaje, że domeny świata żywego to 3 nadkrólestwa (rośliny, zwierzęta i grzyby), a liczba królestw waha się od 4 do ponad 20.

Uproszczone drzewo rodowe organizmów oraz porównanie najważniejszych cech bakterii, archeowców i eukariontów



		królestwo: protisty	królestwo: rośliny	królestwo: grzyby	królestwo: zwierzęta
• organizmy jednokomórkowe • odżywiają się heterotroficznie lub autotroficznie • komórki nie mają jądra komórkowego i u większości gatunków są otoczone ścianą komórkową	• organizmy jednokomórkowe • odżywiają się heterotroficznie lub autotroficznie • komórki nie mają jądra komórkowego i u większości gatunków są otoczone ścianą komórkową	• organizmy jednokomórkowe, kolonijne lub wielokomórkowe • odżywiają się heterotroficznie lub autotroficznie • komórki mają jądro komórkowe, u niektórych gatunków są one otoczone ścianą komórkową	• organizmy jednokomórkowe, kolonijne lub wielokomórkowe • odżywiają się autotroficznie (nieliczne gatunki to pasożyty) • komórki mają jądro komórkowe i są otoczone ścianą komórkową	• organizmy jednokomórkowe lub wielokomórkowe • odżywiają się heterotroficznie • komórki mają jądro komórkowe i są otoczone ścianą komórkową	• organizmy wielokomórkowe • odżywiają się heterotroficznie • komórki mają jądro komórkowe, lecz nie mają ściany komórkowej

? *Sprawdź we wiarygodnych źródłach informacji, jakie cechy odróżniają bakterie od archeowców.*

Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij, czym różnią się taksony: monofiletyczny, parafiletyczny i polifiletyczny.
2. Na podstawie zamieszczonego obok drzewa filogenetycznego wybranych gatunków gryzoni określ, czy kawia domowa (świnka morska) jest bliżej spokrewniona z królikiem czy z wiewiórką. Odpowiedź uzasadnij.



1.3. Organizmy prokariotyczne – bakterie i archeowce

Prokarionty → bakterie, archeowce

Ważne w tym temacie!

- budowa komórki prokariotycznej
- formy morfologiczne bakterii
- różnice w budowie bakterii Gram-dodatnich i Gram-ujemnych
- czynności życiowe bakterii: odżywianie, oddychanie, rozmnażanie
- różnice między bakteriami a archeowcami
- znaczenie procesów płciowych w zmienności genetycznej bakterii
- znaczenie bakterii i archeowców w przyrodzie i dla człowieka

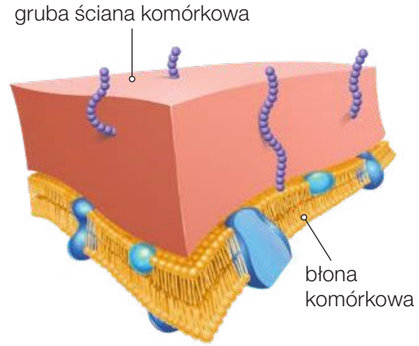
Organizmy prokariotyczne to jednokomórkowe mikroorganizmy, które nie mają jądra komórkowego, a ich materiał genetyczny zawieszony jest bezpośrednio w cytozolu. Zalicza się do nich dwie domeny – **bakterie** i **archeowce**. Organizmy prokariotyczne nazywa się **organizmami kosmopolitycznymi**, ponieważ występują powszechnie na całej kuli ziemskiej. Zasiedlają one przede wszystkim glebę oraz zbiorniki wodne. Mogą również żyć na powierzchni lub wewnątrz ciała innych organizmów jako symbionty lub pasożyty.

Budowa ściany komórkowej bakterii

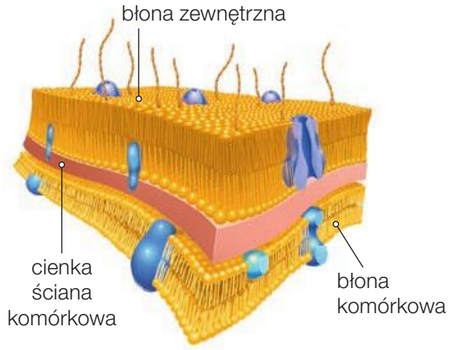
Ściana komórkowa bakterii jest zbudowana m.in. z peptydoglikanu – **mureiny**.

Ze względu na budowę ściany komórkowej wyróżnia się:

- **bakterie Gram-dodatnie** – ich ściana komórkowa jest gruba. Buduje ją kilka warstw mureiny oraz kwasów tejchojowych – związków polimerowych składających się z reszt glicerolu lub innego alkoholu, połączonych z grupami fosforanowymi(V);
- **bakterie Gram-ujemne** – ich ściana komórkowa jest cienka i zbudowana z jednej warstwy mureiny. Nie zawiera kwasów tejchojowych, jest natomiast okryta dodatkową błoną zewnętrzną.



Budowa ściany komórkowej bakterii Gram-dodatnich.



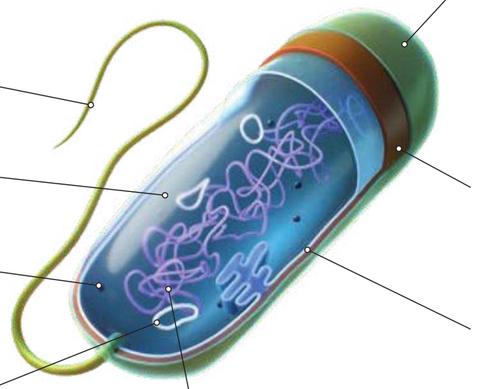
Budowa ściany komórkowej bakterii Gram-ujemnych.

Przypomnij sobie

Budowa komórek bakterii

Bakterie nie mają jądra komórkowego. Od środowiska zewnętrznego oddzielają je błona komórkowa oraz ściana komórkowa (u większości gatunków).

Komórka bakterii heterotroficznej



Rzęska – białkowy twór, który umożliwia aktywny ruch bakterii.

Cytozol – wypełnia wnętrze komórki.

Rybosomy – uczestniczą w syntezie białek. Współczynnik sedymentacji rybosomów bakteryjnych wynosi 70 S.

Plazmid – mała kolista cząsteczka DNA, która zawiera informacje o cechach przydatnych do życia bakterii.

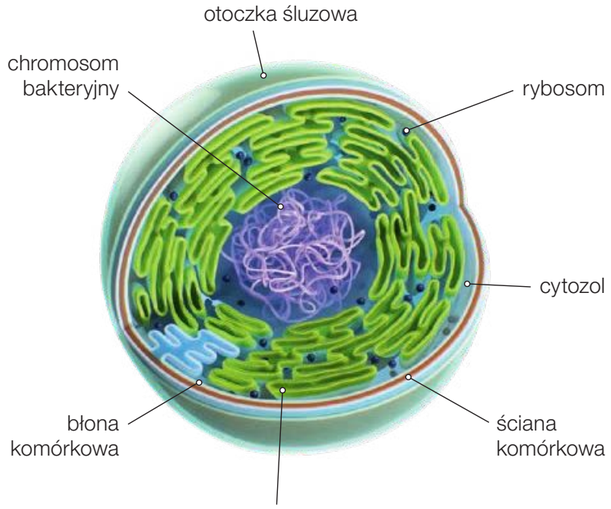
Chromosom bakteryjny – koliście zamknięta cząsteczka DNA. Zawiera geny niezbędne do prawidłowego funkcjonowania komórki. Obszar cytozolu zawierający chromosom jest nazywany **nukleoidem**.

Otoczka śluzowa – otacza niektóre komórki bakterii. Jest zbudowana z polisacharydów, peptydów lub białek. Umożliwia przyczepianie się (adhezję) bakterii do podłoża lub pełni funkcję ochronną.

Ściana komórkowa – nadaje komórkom kształt i zabezpiecza je przed pęknięciem w środowisku hipotonicznym.

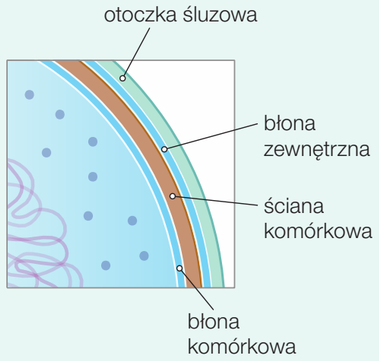
Błona komórkowa – umożliwia transport substancji między wnętrzem komórki a środowiskiem zewnętrznym. Tworzy wewnątrzkomórkowe wpuklenia, w których zachodzą procesy oddychania tlenowego.

Komórka bakterii autotroficznej



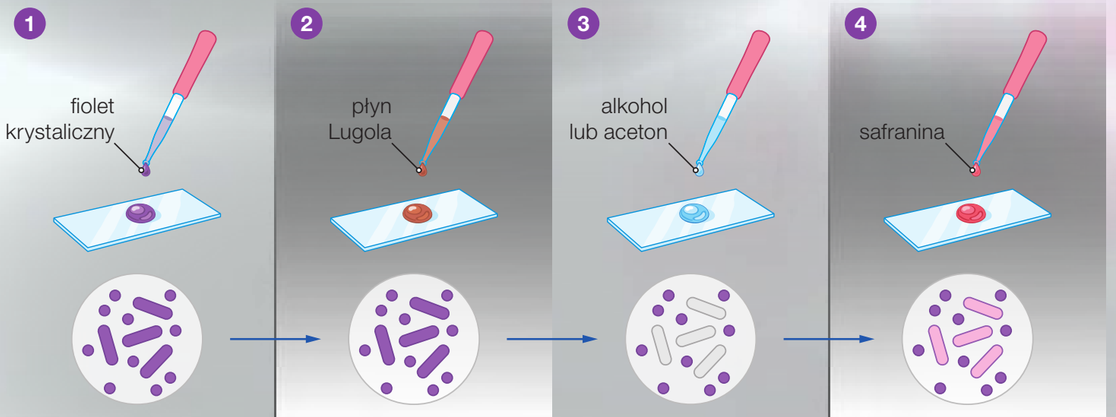
Tylakoidy (chromatofory) – połączone lub niepołączone z błoną komórkową struktury zawierające barwniki fotosyntetyczne. Występują wyłącznie u autotroficznych bakterii fotosyntetyzujących. Umożliwiają zachodzenie fotosyntezy.

Błona zewnętrzna – występuje na powierzchni ściany komórkowej niektórych bakterii autotroficznych i heterotroficznych. Stanowi dodatkową barierę ochronną.



Barwienie Grama

Barwienie Grama to metoda badawcza pozwalająca odróżnić bakterie Gram-dodatnie od bakterii Gram-ujemnych. W metodzie tej zawiesinę bakterii suszy się na szkiełku podstawowym, a następnie utrwala, np. przez trzykrotne przesunięcie szkiełka nad płomieniem palnika. Tak przygotowany preparat poddaje się czterostopniowej procedurze.



Barwienie preparatu fioletem krystalicznym – w efekcie działania fioletu krystalicznego wybarwiają się zarówno bakterie Gram-dodatnie, jak i bakterie Gram-ujemne. Jednak jedynie w grubej warstwie mureiny bakterii Gram-dodatnich barwnik wiąże się w sposób trwały. Nadmiar barwnika należy wypłukać wodą destylowaną.

Utrwalenie preparatu – preparat zalewa się płynem Lugola (roztworem jodu w jodku potasu).

Usunięcie niezwiązanego fioletu krystalicznego – preparat zalewa się alkoholem lub acetonem. Cienka warstwa mureiny bakterii Gram-ujemnych nie absorbuje trwale fioletu krystalicznego, dlatego bakterie się odbarwiają.

Barwienie czerwoną safraniną – czerwona safranina barwi bakterie Gram-ujemne na czerwono, a jednocześnie nie zmienia zabarwienia bakterii Gram-dodatnich. Nadmiar safraniny należy wypłukać wodą destylowaną. Tak przygotowany preparat można oglądać pod mikroskopem optycznym.



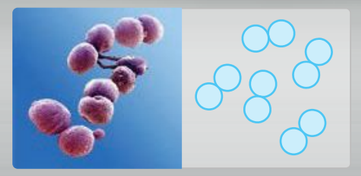
Bakterie Gram-dodatnie (fioletowe) i Gram-ujemne (różowe) – spod mikroskopu optycznego

Formy morfologiczne bakterii

Biorąc pod uwagę kształt, wyróżnia się bakterie kuliste, cylindryczne, spiralne i nieregularne.

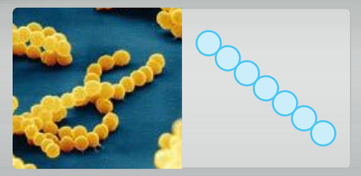
Bakterie kuliste (ziarniaki) zwykle tworzą skupienia o różnych kształtach.

Dwoinki



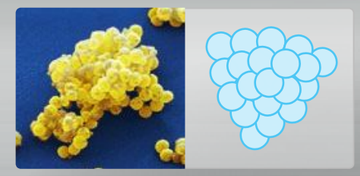
Dwoinka zapalenia płuc (*Streptococcus pneumoniae*) powoduje m.in. zapalenie płuc u osób o obniżonej odporności.

Paciorkowce



Paciorkowiec (*Streptococcus pyogenes*) stanowi główną przyczynę anginy.

Gronkowce



Gronkowiec złocisty (*Staphylococcus aureus*) może powodować m.in. zakażenia ropne skóry i innych tkanek.

Bakterie cylindryczne występują pojedynczo lub układają się w proste nici.

Pałeczki



Pałeczka okrężnicy (*Escherichia coli*) jest elementem naturalnej flory bakteryjnej jelit człowieka. Może ona również powodować choroby, m.in. zatrucia pokarmowe lub zapalenie płuc.

Laseczki



Zakażenie rany laseczką tężca (*Clostridium tetani*) może prowadzić do rozwoju tężca.

Bakterie spiralne zwykle występują pojedynczo.

Przecinkowce



Przecinkowiec cholery (*Vibrio cholerae*) powoduje cholerę – groźną chorobę układu pokarmowego.

Krętki



Krętek blady (*Treponema pallidum*) powoduje kiłę – chorobę przenoszoną drogą płciową.

Bakterie nieregularne zwykle występują pojedynczo.

Promieniowce



Bifidobacterium animalis jest elementem flory bakteryjnej jelita grubego.

Maczugowce



Maczugowiec błonicy (*Corynebacterium diphtheriae*) wywołuje błonicę – groźną chorobę zakaźną.

Odżywianie się bakterii

Wśród bakterii wyróżnia się gatunki heterotroficzne, odżywiające się związkami organicznymi wyprodukowanymi przez inne organizmy, oraz gatunki autotroficzne, które wytwarzają związki organiczne z prostych związków nieorganicznych.

Bakterie heterotroficzne

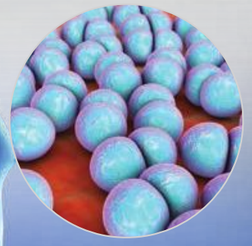
Odżywiają się związkami organicznymi wytwarzanymi przez inne organizmy. Sposób odżywiania się tych bakterii polega na wydzielaniu do środowiska enzymów hydrolitycznych przez specjalne białkowe kompleksy. Enzymy rozkładają złożone związki organiczne na związki prostsze, rozpuszczalne w wodzie. Produkty trawienia są następnie wchłaniane przez komórkę.

Pasożyty

Odżywiają się kosztem organizmu żywiciela. W układzie pasożyt–żywiciel bakterie czerpią korzyści, natomiast żywiciel ponosi straty.



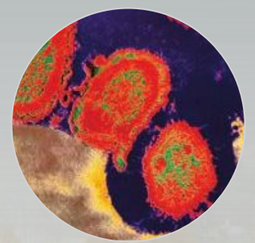
Do **pasożytów** należą np. bakterie z rodzaju *Streptococcus*, które odżywiają się produktami rozkładu tkanek. Prowadzi to do osłabienia organizmu żywiciela i rozwoju choroby, np. zapalenia płuc.



Symbionty

Pozyskują substancje odżywcze od innych organizmów. Nie powodują jednak szkód u swoich gospodarzy, a wręcz przynoszą im korzyści.

Do **symbiontów** należą np. bakterie żyjące w żołądkach przeżuwaczy. Bakterie rozkładają celulozę – produktami jej rozkładu żywią się zarówno one, jak i ich gospodarze.





Saprobionty

Odżywiają się martwą materią organiczną.



Do **saprobiontów** należą np. bakterie glebowe z rodzaju *Bacillus*, które rozkładają szczątki organizmów, a następnie żywią się produktami rozkładu.



Bakterie autotroficzne

Odżywiają się fotoautotroficznie na drodze fotosyntezy lub chemoautotroficznie na drodze chemosyntezy.

Fotoautotrofy

Wytwarzają związki organiczne ze związków nieorganicznych z udziałem energii świetlnej.

Równanie fotosyntezy oksygenicznej

$$6\,CO_2 + 6\,H_2O \xrightarrow{\text{energia świetlna}} (CH_2O) + 6\,O_2\uparrow$$

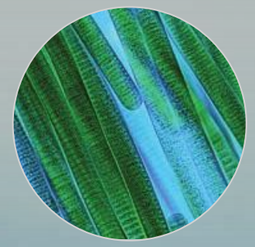
ogólny wzór węglowodanów

Równanie fotosyntezy anoksygenicznej

$$6\,CO_2 + 12\,H_2S \xrightarrow{\text{energia świetlna}} (CH_2O) + 12\,S + 6\,H_2O$$

ogólny wzór węglowodanów

Do **fotoautotrofów** przeprowadzających **fotosyntezę oksygeniczną** należą np. sinice. Występują one m.in. w toni wodnej zbiorników śródlądowych. Barwnikami asymilacyjnymi sinic są głównie chlorofil *a*, karotenoidy, fikoerytryna i fikocyjanina.



Do **fotoautotrofów** przeprowadzających **fotosyntezę anoksygeniczną** należą np. bakterie zielone. Zasiedlają one strefy beztlenowe zbiorników wodnych, zwłaszcza osady denne. Ich barwnikami asymilacyjnymi są głównie bakteriochlorofile oraz karotenoidy.



Chemoautotrofy

Wytwarzają związki organiczne ze związków nieorganicznych z udziałem energii chemicznej.



Równanie chemosyntezy

etap 1: $2\,HNO_2 + O_2 \longrightarrow 2\,HNO_3 + \text{energia chemiczna}$

etap 2: $6\,CO_2 + 6\,H_2O \xrightarrow{\text{energia chemiczna}} (CH_2O) + 6\,O_2\uparrow$

ogólny wzór węglowodanów

Do **chemoautotrofów** należą np. glebowe bakterie z rodzaju *Nitrobacter*. Energię do redukcji CO_2 uzyskują z utleniania azotanu(III) do azotanu(V).

Odżywianie się bakterii – pozyskiwanie azotu

Azot jest pierwiastkiem biogennym, który stanowi składnik m.in. białek i kwasów nukleinowych. Aby przeżyć, organizmy muszą pozyskiwać azot ze środowiska: zwierzęta korzystają z azotu zawartego w pobieranych wraz z pokarmem związkach organicznych, a rośliny pozyskują azot z gleby w postaci soli mineralnych.

Istnieją zarówno bakterie, które uzyskują azot w sposób podobny do zwierząt lub roślin, jak i bakterie, które jako jedyne organizmy na Ziemi **asymilują (przyswajają) azot cząsteczkowy** zawarty w powietrzu. Do bakterii asymilujących azot należą m.in. wolno żyjące sinice z rodzajów *Gleocapsa*, *Gleotrichia* i *Nostoc*, wolno żyjące bakterie glebowe z rodzajów *Azotobacter* i *Clostridium*, a także symbiotyczne bakterie z rodzaju *Rhizobium*, które współżyją z roślinami motylkowatymi. Bakterie te przekształcają azot cząsteczkowy (N_2) w amoniak (NH_3), który następnie wykorzystują w różnych reakcjach biochemicznych zachodzących w ich komórkach.

Reakcje wiązania azotu cząsteczkowego przeprowadza enzym – **nitrogenaza** – który działa tylko w warunkach beztlenowych. Z tego powodu tlenowe bakterie asymilujące azot wykształciły przystosowania ograniczające stężenie tlenu w środowisku reakcji. Na przykład sinice przeprowadzają asymilację azotu

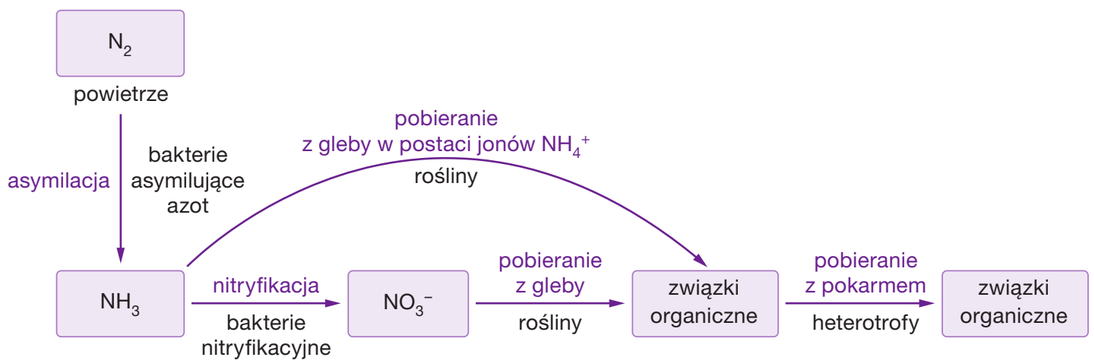


Bakterie z rodzaju *Rhizobium* żyją w brodawkach korzeniowych roślin bobowatych, np. soi. Dzięki symbiozie z bakteriami rośliny te mogą rosnąć na glebach ubogich w azot, a ich nasiona są bogate w białka zapasowe.

w specjalnych grubościennych komórkach – **heterocytach**. Z kolei u bakterii z rodzaju *Rhizobium* w brodawkach korzeniowych roślin motylkowatych występuje **leghemoglobina**, która wiąże tlen.

Sumaryczne równanie chemiczne asymilacji azotu

$$N_2 + 8\,H^+ + 8\,e^- + 16\,ATP \longrightarrow 2\,NH_3 + H_2 + 16\,ADP + 16\,P_i$$



Bakterie asymilujące azot przekształcają azot cząsteczkowy w amoniak. Następnie amoniak może zostać utleniony w procesie chemosyntezy przez bakterie nitryfikacyjne do azotanów(V), występujących zwykle w środowisku w postaci jonów NO_3^-. Amoniak (w postaci jonów NH_4^+) i azotany(V) mogą być pobrane przez rośliny, jednak azotany(V) są formą najlepiej przyswajalną przez rośliny – dlatego stanowią dla nich główne źródło azotu. Rośliny udostępniają azot wszystkim organizmom heterotroficznym.

Oddychanie bakterii

Bakterie uzyskują energię w wyniku procesów tlenowych lub beztlenowych. U **bakterii tlenowych** glikoliza, reakcja pomostowa i cykl Krebsa zachodzą w cytozolu, a ostatni etap – łańcuch oddechowy – zachodzi w błonie komórkowej.

Bakterie beztlenowe uzyskują energię przez:

- **oddychanie beztlenowe.** Jest to proces podobny do oddychania tlenowego, w którym elektrony pochodzące z utleniania zredukowanych przenośników elektronów są odbierane przez akceptor inny niż tlen. W ten sposób oddychają np. bakterie denitryfikacyjne, u których ostatecznym akceptorem elektronów są jony azotanowe(V). Związek ten ulega w błonie komórkowej denitryfikacji, czyli stopniowej redukcji do N_2;
- **fermentację.** Jest to proces, który zachodzi wyłącznie w cytozolu. Fermentacja alkoholowa dostarcza energii np. bakteriom z rodzaju *Sarcina*, a fermentacja mleczanowa – bakteriom z rodzaju *Lactobacillus*.

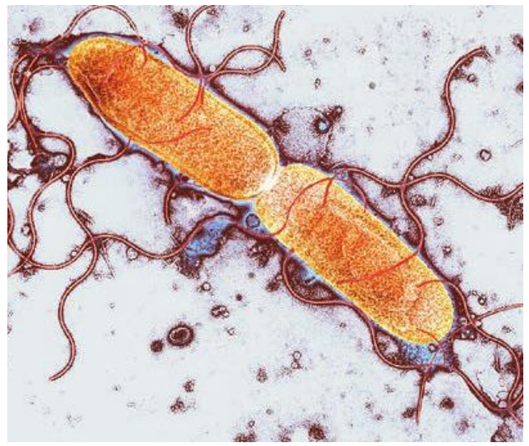
Większość bakterii należy do względnych beztlenowców, które mogą żyć w środowisku tlenowym i beztlenowym. Nieliczne gatunki są bezwzględnymi beztlenowcami, ponieważ tlen jest dla nich toksyczny.

Wzrost i rozmnażanie się bakterii

Bakterie rozmnażają się **wyłącznie bezpłciowo** przez podział komórki, pączkowanie lub fragmentację nitek kolonii. Tempo wzrostu i rozmnażania się bakterii jest znacznie szybsze niż u innych organizmów. W optymalnych warunkach środowiska podział komórki bakteryjnej odbywa się co 20–30 minut. W praktyce jednak nagromadzenie toksycznych produktów przemiany materii lub wyczerpanie zasobów pokarmowych w naturalny sposób spowalnia tempo rozmnażania się tych organizmów.

Formy przetrwalnikowe bakterii

W niesprzyjających warunkach środowiska wiele bakterii spowalnia tempo metabolizmu i przechodzi w stan anabiozy (życia utajonego), wytwarzając jednocześnie formy przetrwalnikowe – cysty lub endospory. **Cysty** powstają przez odwodnienie i otoczenie grubą ścianą całej komórki bakteryjnej. W przypadku powstawania **endospor** komórka dzieli się na dwie nierówne części – mniejsza część otacza się nową grubą ścianą, a pozostała część degeneruje. W formie przetrwalnikowej bakterie mogą przeżyć nawet 30 lat, zachowując zdolność ponownego uruchomienia wszystkich funkcji życiowych.



Przed każdym podziałem komórki bakteryjnej (obraz spod TEM, barwiony komputerowo) zachodzi replikacja chromosomu bakteryjnego. Dzięki temu każda z komórek potomnych otrzymuje kompletną informację genetyczną.



Zdolność wytwarzania form przetrwalnikowych (obraz spod TEM, barwiony komputerowo), np. endospor, pozwala bakteriom przetrwać w skrajnie niekorzystnych warunkach środowiska.

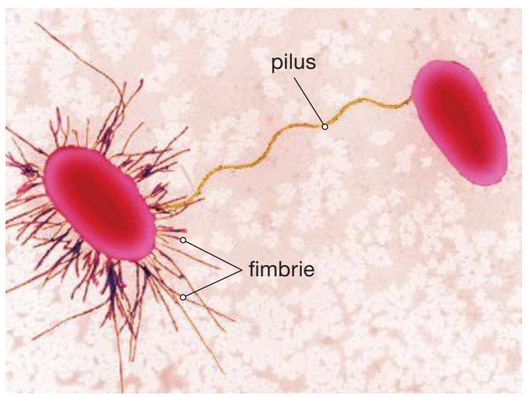
Procesy płciowe bakterii

Procesy płciowe (paraseksualne) bakterii polegają na rekombinacji materiału genetycznego bez zwiększenia liczby komórek. Nie służą więc do rozmnażania, ale warunkują różnorodność genetyczną. Do procesów płciowych bakterii należą koniugacja, transformacja i transdukcja.

Koniugacja polega na okresowym połączeniu się dwóch komórek bakterii za pomocą długich białkowych włókien – **pilusów** – a następnie przekazaniu fragmentu DNA z jednej komórki do drugiej. W procesie tym są zwykle przekazywane plazmidy. W trakcie koniugacji w komórce dawcy plazmidu następuje rozplatanie podwójnej helisy DNA plazmidu i transport jednej z nici do komórki biorcy. Następnie w obu komórkach dochodzi do syntezy brakującej nici DNA. Po zakończeniu koniugacji każda komórka zawiera plazmid. W ten sposób komórka dawcy nie traci swoich właściwości, a komórka biorcy zyskuje nowe.

Transformacja polega na pobieraniu przez komórki bakterii wolnego DNA z podłoża. Zdolność naturalnej transformacji wykazują tylko nieliczne bakterie, np. gatunki z rodzaju *Streptococcus* czy *Bacillus*.

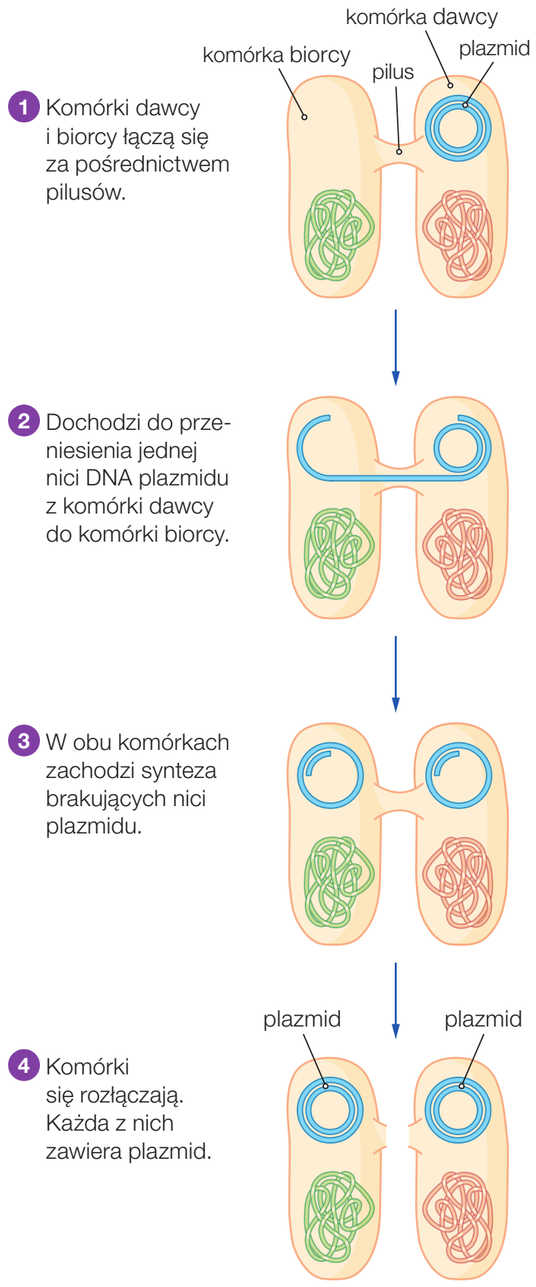
Transdukcja polega na przekazywaniu fragmentów DNA między dwiema komórkami bakterii za pośrednictwem bakteriofagów.



Na powierzchni niektórych bakterii, np. *E. coli*, występują białkowe wypustki – fimbrie. Wypustki te umożliwiają m.in. przyczepianie się komórek do podłoża. Specjalne fimbrie płciowe – pilusy – uczestniczą w procesie koniugacji.

Przebieg koniugacji

Koniugacja jest podstawowym mechanizmem przekazywania DNA między dwiema komórkami bakterii.



Archeowce

Archeowce (archeony) to jednokomórkowe organizmy prokariotyczne, które są klasyfikowane w randze domeny. Występują one we wszystkich środowiskach. Pod wieloma względami przypominają komórki bakterii – m.in. nie mają jądra komórkowego i innych organelli otoczonych błonami.

Znaczenie archeowców i bakterii w środowisku oraz w życiu człowieka jest zbliżone (→ s. 30–31), jednak między obiema grupami prokariontów występują pewne różnice w budowie i w metabolizmie. Na przykład metanogeny, które należą do archeowców, jako jedyne znane organizmy na Ziemi uzyskują energię z utleniania wodoru za pomocą dwutlenku węgla, w wyniku czego uwalnia się metan.

Dzięki swoim unikalnym właściwościom wiele gatunków archeowców żyje w warunkach, które są skrajnie nieprzyjazne dla innych organizmów. W ten sposób archeowce odgrywają szczególną rolę w funkcjonowaniu ekosystemów środowisk ekstremalnych.

Różnice między bakteriami a archeowcami

Bakterie	Archeowce
• W genach nie występują odcinki niekodujące.	• W genach często występują odcinki niekodujące.
• W lipidach błonowych występują kwasy tłuszczowe proste.	• W lipidach błonowych występują kwasy tłuszczowe rozgałęzione.
• Ściana komórkowa jest zbudowana głównie z peptydoglikanu – mureiny. U bakterii Gram-ujemnych na jej powierzchni występuje błona zewnętrzna.	• Ściana komórkowa jest zbudowana głównie z polimerów, m.in. pseudomureiny. U większości gatunków na powierzchni ściany komórkowej znajduje się ochronna warstwa, która jest zbudowana z białek.

Archeowce – organizmy środowisk ekstremalnych

Wiele gatunków archeowców należy do **ekstremofili**. Są to organizmy odporne na skrajne warunki środowiska – zamieszkują m.in. gorące źródła, morza antarktyczne oraz środowiska silnie zasolone. W tak ekstremalnych ekosystemach archeowce uczestniczą m.in. w obiegu pierwiastków oraz stanowią znaczną część biomasy.



W kraterach aktywnego wulkanu Dallol w Etiopii znajdują się baseny gorących wód o dużym zasoleniu i skrajnie niskim pH. Tereny te zamieszkują archeowce z klasy *Nanohaloarchaea*.



W gorących źródłach parku Yellowstone w Stanach Zjednoczonych żyją m.in. archeowce z rodzaju *Sulfolobus*. Organizmy te tolerują temperaturę wynoszącą nawet ponad 80°C.

Znaczenie prokariontów w przyrodzie i dla człowieka

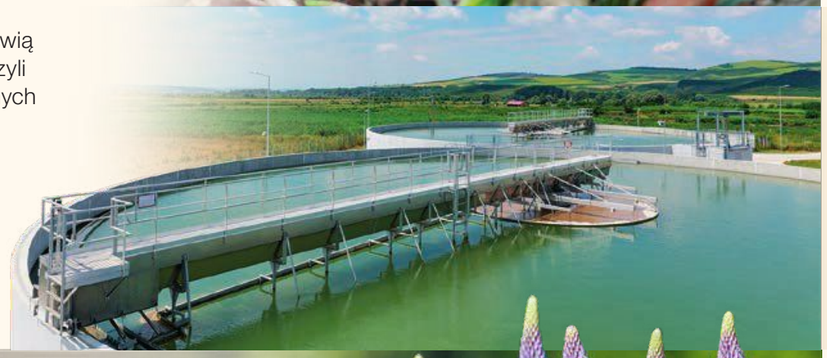
Udział w rozkładzie martwej materii organicznej

Bakterie i archeowce saprobiontyczne należą do destruentów. Oznacza to, że rozkładają martwą materię organiczną, przez co uczestniczą w obiegu pierwiastków w przyrodzie oraz w procesach glebotwórczych.



- W **rolnictwie wykorzystuje** się je m.in. do produkcji nawozów, np. kompostu.

- W **oczyszczalniach ścieków** stanowią główny składnik osadu czynnego, czyli kłaczkowatej zawiesiny mikroskopijnych organizmów rozkładających związki organiczne zawarte w ściekach.



Udział w wytwarzaniu witamin

Bakterie symbiotyczne, które żyją w przewodzie pokarmowym człowieka, wytwarzają witaminy, m.in. witaminę K oraz witaminy z grupy B, takie jak B_1, B_6 i B_{12}.



Zastosowanie w przemyśle spożywczym

Bakterie fermentacyjne wykorzystuje się w przemyśle spożywczym m.in. do produkcji jogurtu, kefiru, serów, a także napojów alkoholowych – piwa i wina.



Wiązanie azotu atmosferycznego

Bakterie, które mają zdolność wiązania azotu atmosferycznego, zwiększają żyzność gleby, wzbogacając ją jednocześnie w związki azotu. Związki te są przyswajalne dla roślin. Niektóre gatunki bakterii wchodzą w symbiozę z roślinami (np. z łubinem), dzięki czemu wpływają korzystnie na ich wzrost.



Zastosowanie w przemyśle farmaceutycznym

Bakterie saprobiontyczne stosuje się w przemyśle farmaceutycznym do produkcji antybiotyków, aminokwasów i witamin. Z kolei bakterie chorobotwórcze wykorzystuje się do produkcji szczepionek i surowic odpornościowych.



Źródło pokarmu dla innych organizmów

Bakterie i archeowce stanowią pokarm dla innych organizmów, m.in. drobnych skorupiaków, protistów zwierzęcych lub parzydełkowców.



Zastosowanie w biotechnologii

Zmodyfikowane genetycznie bakterie stosuje się w biotechnologii do produkcji białek ludzkich, m.in. insuliny czy hormonu wzrostu. Z bakterii i archeowców pozyskuje się również plazmidy oraz enzymy stosowane w inżynierii genetycznej (np. enzymy restrykcyjne i polimerazy odporne na wysoką temperaturę czy niskie pH).



Udział w procesach trawiennych zwierząt

Bakterie symbiotyczne żyjące w przewodach pokarmowych zwierząt roślinożernych, m.in. przeżuwaczy, rozkładają celulozę. Z produktów rozkładu korzystają zarówno bakterie, jak i zwierzęta.



Chorobotwórczość

Bakterie pasożytnicze wywołują wiele chorób roślin i zwierząt. Niektóre z nich powodują duże straty w rolnictwie.



Znaczenie prokariontów w przyrodzie i dla człowieka

Wybrane choroby bakteryjne człowieka

Nazwa choroby	Czynnik zakaźny	Droga zakażenia	Profilaktyka
Gruźlica	prątek gruźlicy (*Mycobacterium tuberculosis*)	• droga kropelkowa • droga pyłowa	• szczepienia ochronne
Tężec	laseczka tężca (*Clostridium tetani*)	• rany zabrudzone ziemią	• dezynfekcja ran • szczepienia ochronne
Borelioza	*Borrelia burgdorferi*	• ugryzienie przez zakażonego kleszcza	• stosowanie preparatów odstraszających kleszcze • odzież ochronna
Salmonelloza	pałeczki z rodzaju *Salmonella*	• droga pokarmowa	• przestrzeganie zasad higieny
Kiła	krętek blady (*Treponema pallidum*)	• droga płciowa	• unikanie przypadkowych kontaktów seksualnych, stosowanie prezerwatyw
Rzeżączka	dwoinka rzeżączki (*Neisseria gonorrhoeae*)	• droga płciowa	• unikanie przypadkowych kontaktów seksualnych, stosowanie prezerwatyw

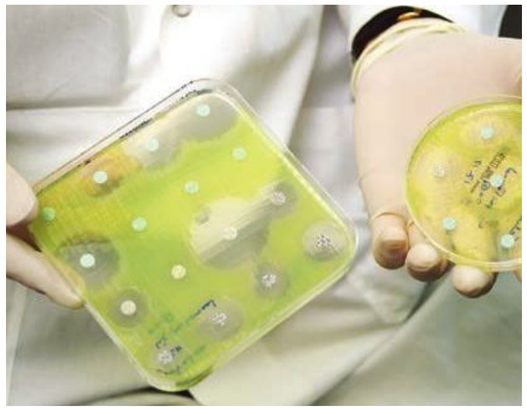
Leczenie chorób bakteryjnych

W leczeniu chorób bakteryjnych zazwyczaj stosuje się **antybiotyki**. Są to związki chemiczne, które mogą działać na dwa sposoby:

- **bakteriobójczo** – powodują śmierć bakterii,
- **bakteriostatycznie** – hamują wzrost i rozmnażanie się bakterii.

Mechanizmy działania antybiotyków są bardzo zróżnicowane. Antybiotyki m.in. mogą hamować syntezę białek bakteryjnych, replikację DNA bakteryjnego czy wytwarzanie mureiny.

Antybiotyki należy przyjmować o wyznaczonych porach i w dawkach przepisanych przez lekarza. Kuracji nie można przerwać nawet wtedy, gdy objawy choroby ustąpią. W przeciwnym razie nie wszystkie bakterie zostaną zniszczone i choroba może ponownie się rozwinąć.



Przed zastosowaniem antybiotykoterapii zaleca się wykonanie antybiogramu. Jest to badanie mikrobiologiczne pozwalające określić, na które antybiotyki dana bakteria jest oporna bądź wrażliwa. Tym samym antybiogram umożliwia dobranie właściwego leku oraz jego skutecznej dawki.

Polecenia kontrolne

1. Skonstruuj mapę myśli dotyczącą sposobów odżywiania się bakterii.
2. Omów dwa sposoby beztlenowego uzyskiwania energii przez bakterie.
3. Określ, jaką funkcję pełnią formy przetrwalnikowe w cyklu życiowym bakterii.
4. Przedstaw przebieg i efekty koniugacji u bakterii.
5. Na podstawie wiarygodnych źródeł określ, czym są szczepy wysokooporne, oraz podaj przykład przeciwdziałania ich powstawaniu.

1.4. Protisty – proste organizmy eukariotyczne

Ważne w tym temacie!

- formy morfologiczne protistów
- czynności życiowe protistów: odżywianie się, poruszanie się, osmoregulacja, wydalanie i rozmnażanie
- związek budowy protistów ze środowiskiem i z trybem ich życia
- przebieg cykli rozwojowych protistów
- znaczenie protistów w przyrodzie i dla człowieka



Królestwo protistów jest taksonem parafiletycznym (→ s. 17) pochodzącym od wspólnego przodka, który jest także przodkiem roślin, zwierząt i grzybów. Do protistów należą organizmy **eukariotyczne**, które są niezwykle zróżnicowane pod względem budowy, fizjologii oraz trybu życia.

Protisty występują w zbiornikach wodnych, w miejscach stale wilgotnych lub w organizmach zwierząt.

Grupy protistów

Ze względu na budowę komórek oraz sposób odżywiania się protisty tradycyjnie dzieli się na protisty zwierzęce, roślinopodobne i grzybopodobne.

Protisty zwierzęce to organizmy, których komórki przypominają budową komórki zwierzęce, ponieważ nie są otoczone ścianą komórkową, mają lizosomy, a jako materiał zapasowy gromadzą głównie glikogen i tłuszcze. Podobnie jak zwierzęta są cudzożywne (heterotroficzne).

Protisty roślinopodobne to organizmy, których komórki przypominają budową komórki roślinne – zawierają chloroplasty i ziarna skrobi, wiele z nich ma również celulozową ścianę komórkową. Większość protistów roślinopodobnych jest autotroficzna. Zdarzają się również gatunki miksotroficzne, które odżywiają się auto- lub heterotroficznie – w zależności od aktualnych warunków środowiska.

Protisty grzybopodobne to organizmy, których komórki przypominają budową komórki grzybowe, jednak głównym składnikiem ściany komórkowej jest u nich celuloza, a nie chityna. Należą do nich przede wszystkim organizmy heterotroficzne.

Obserwacja

Obserwacja mikroskopowa pantofelka

Przygotuj hodowlę pantofelków. W tym celu umieść niewielką ilość rozdrobnionego siana lub wysuszone liście sałaty w szklanym naczyniu, a następnie zalej je wodą z kałuży, stawu lub akwarium. Przykryj naczynie kawałkiem materiału i postaw w ciemnym, ciepłym miejscu. Po upływie 14 dni przenieś zakraplaczem kroplę wody z hodowli na szkiełko podstawowe i wykonaj preparat mikroskopowy. Obserwuj pod mikroskopem poruszające się pantofelki. Jeżeli ruchliwość pantofelków utrudnia obserwację, to możesz odciągnąć nieco wody paskiem z bibuły filtracyjnej. Udokumentuj obserwację – wykonaj rysunek lub zdjęcie.



Formy morfologiczne protistów

Ze względu na liczbę komórek, z których składa się ciało protista, wyróżnia się protisty jednokomórkowe, protisty kolonijne i protisty wielokomórkowe o budowie plechowej.

Formy jednokomórkowe

Do protistów jednokomórkowych należą niektóre gatunki protistów zwierzęcych, roślinopodobnych i grzybopodobnych. W zależności od gatunku komórki protistów jednokomórkowych mogą być okryte ścianą komórkową lub **pellikulą** – zewnętrzną powłoką zbudowaną m.in. z błony komórkowej i znajdujących się pod nią mikrotubul. U niektórych gatunków komórki są nagie, otoczone wyłącznie błoną komórkową.

Formy kolonijne

Do form kolonijnych należą przede wszystkim niektóre gatunki protistów zwierzęcych i roślinopodobnych. Powstają one w wyniku nierozdzielenia się komórek potomnych po podziale komórki macierzystej lub wskutek łączenia się komórek w większe grupy. W formach kolonijnych komórki są ze sobą połączone za pomocą ścian komórkowych lub galaretowatych otoczek. Życie w koloniach jest dla protistów korzystne, ponieważ ułatwia ono unoszenie się w wodzie, a także chroni przed atakiem drapieżników.

Protisty wielokomórkowe

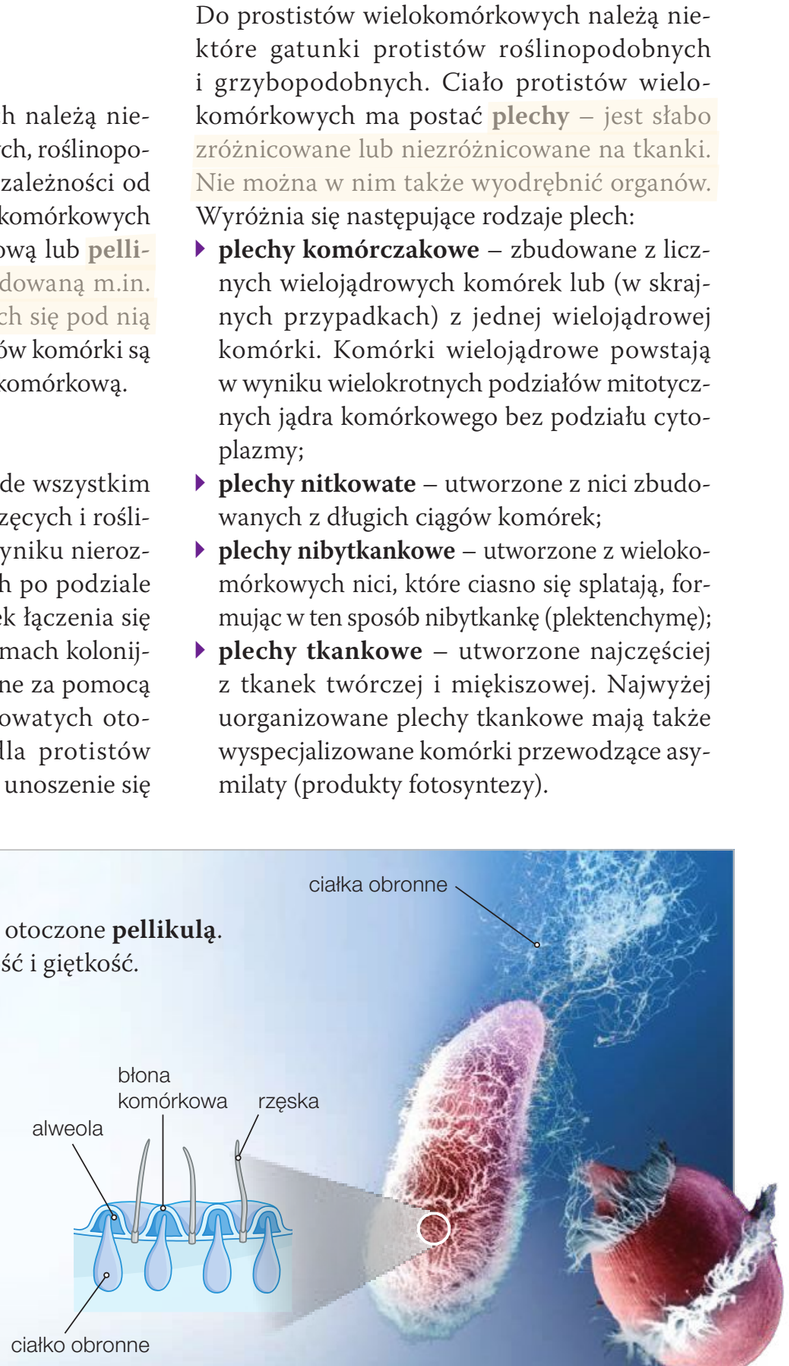
Do prostistów wielokomórkowych należą niektóre gatunki protistów roślinopodobnych i grzybopodobnych. Ciało protistów wielokomórkowych ma postać **plechy** – jest słabo zróżnicowane lub niezróżnicowane na tkanki. Nie można w nim także wyodrębnić organów. Wyróżnia się następujące rodzaje plech:

- **plechy komórczakowe** – zbudowane z licznych wielojądrowych komórek lub (w skrajnych przypadkach) z jednej wielojądrowej komórki. Komórki wielojądrowe powstają w wyniku wielokrotnych podziałów mitotycznych jądra komórkowego bez podziału cytoplazmy;
- **plechy nitkowate** – utworzone z nici zbudowanych z długich ciągów komórek;
- **plechy nibytkankowe** – utworzone z wielokomórkowych nici, które ciasno się splatają, formując w ten sposób nibytkankę (plektenchymę);
- **plechy tkankowe** – utworzone najczęściej z tkanek twórczej i miękiszowej. Najwyżej uorganizowane plechy tkankowe mają także wyspecjalizowane komórki przewodzące asymilaty (produkty fotosyntezy).

Pellikula

Komórki niektórych protistów są otoczone **pellikulą**. Nadaje ona komórce wytrzymałość i giętkość.

U części protistów dodatkowym wzmocnieniem pellikuli są alweole – pęcherzyki zawierające celulozowe płytki wysycone krzemionką lub węglanem wapnia. Niektóre gatunki mają pod błoną komórkową ciałka obronne (w razie niebezpieczeństwa są one wyrzucane z komórki).

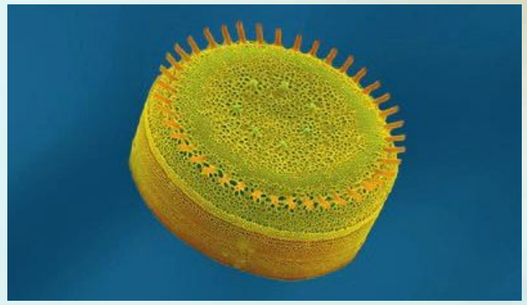


Budowa pellikuli.

Protisty jednokomórkowe

Wśród protistów jednokomórkowych spotyka się formy nieruchome – kokoidalne – lub formy obdarzone zdolnością aktywnego ruchu, m.in. pełzaki, wiciowce i orzęski.

Formy kokoidalne



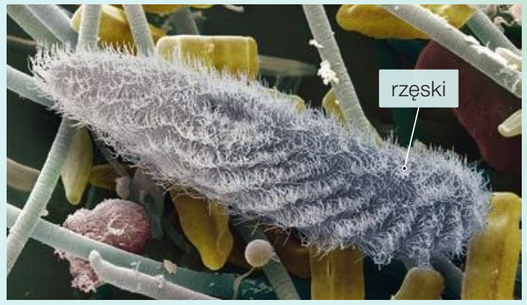
Formy kokoidalne są nieruchome. Zalicza się do nich m.in. roślinopodobne okrzemki, których komórki okrywają błona komórkowa oraz sztywna ściana komórkowa.

Pełzaki



Komórki pełzaków są otoczone wyłącznie błoną komórkową, dlatego mogą wytwarzać wypustki cytoplazmatyczne – nibynóżki (pseudopodia). Za pomocą nibynóżek komórki pełzaków się poruszają. Do pełzaków zalicza się m.in. protisty zwierzęce z rodzaju *Amoeba*.

Orzęski



Komórki orzęsków – protistów zwierzęcych – są otoczone pellikulą, która nadaje im kształt. Ich narządami ruchu są liczne krótkie rzęski. Przykładem orzęsków są pantofelki.

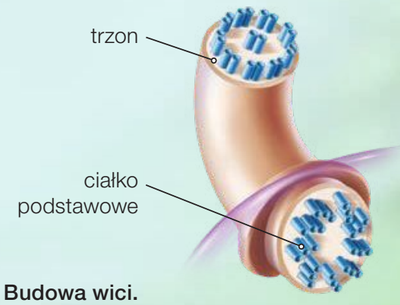
Wiciowce



Komórki wiciowców są otoczone pellikulą, dzięki czemu zachowują swój kształt. Ich narządami ruchu są długie wici, które występują pojedynczo lub po kilka. Przykładem wiciowców są eugleny zaliczane do protistów roślinopodobnych.

Wici i rzęski

Wici i rzęski są cytoplazmatycznymi wypustkami okrytymi błoną komórkową. Ich trzon tworzą mikrotubule, które wyrastają z ciałka podstawowego, zlokalizowanego pod błoną komórkową. Wici eukariotyczne i bakteryjne nie są homologiczne i mają inną budowę.



Budowa wici.

Protisty kolonijne i wielokomórkowe

Do protistów kolonijnych należą głównie niektóre gatunki protistów zwierzęcych i roślinopodobnych. Z kolei do protistów wielokomórkowych zalicza się niektóre gatunki protistów roślinopodobnych i grzybopodobnych.

Formy kolonijne



Komórki okrzemek – protistów roślinopodobnych – z rodzaju *Licmophora* tworzą kolonie przypominające wyglądem wachlarze.



Kolonie osiadłych wiciowców – protistów zwierzęcych – z rodzaju *Apocarchesium* są przyczepione do podłoża za pomocą kurczliwej „nóżki”.

Formy wielokomórkowe



Zlepniczek walcowaty jest grzybopodobnym protistem o plesze komórczakowej, która ma postać śluźni. Protist ten ma zdolność poruszania się ruchem pełzakowatym.



Morszczyn to roślinopodobny protist zaliczany do brunatnic. Występuje m.in. w Morzu Bałtyckim.

Odżywianie się protistów

Protisty zwierzęce i grzybopodobne należą do **heterotrofów**. Odżywiają się martwą materią organiczną albo innymi organizmami. Protisty zwierzęce oraz protisty grzybopodobne, które nie mają ściany komórkowej (śluźnie), pobierają pokarm na drodze fagocytozy. Pozostałe protisty grzybopodobne najpierw wydzielają enzymy trawienne do otoczenia, a następnie wchłaniają drobnocząsteczkowe produkty trawienia.

Protisty roślinopodobne są zwykle **autotrofami** odżywiającymi się dzięki fotosyntezie. Ich komórki zawierają chloroplasty, w których znajdują się barwniki asymilacyjne – głównie chlorofile i karotenoidy. Podstawowym barwnikiem asymilacyjnym jest **chlorofil *a***. Oprócz niego mogą występować inne rodzaje chlorofili – m.in. chlorofile: *b*, *c* oraz *d*. Wśród karotenoidów, poza barwnikami pomarańczowymi i żółtymi, występują też inne, m.in. brązowa fukoksantyna. W wyniku fotosyntezy przeprowadzanej przez protisty roślinopodobne powstają związki organiczne, z których część jest magazynowana jako materiał zapasowy komórek. Magazynowanie odbywa się w cytozolu lub w chloroplastach. Podstawowym materiałem zapasowym protistów roślinopodobnych jest skrobia, rzadziej są to inne wielocukry oraz tłuszcze.

Niektóre protisty roślinopodobne są **miksotrofami** – odżywiają się fotoautotroficznie w świetle i heterotroficznie w ciemności.

Rodzaje odżywiania się protistów	
heterotrofizm	**autotrofizm**
• Pobieranie związków organicznych wytworzonych przez inne organizmy. • Charakterystyczny dla protistów zwierzęcych i grzybopodobnych.	• Wytwarzanie związków organicznych z prostych związków nieorganicznych z udziałem energii świetlnej. • Charakterystyczny dla protistów roślinopodobnych.

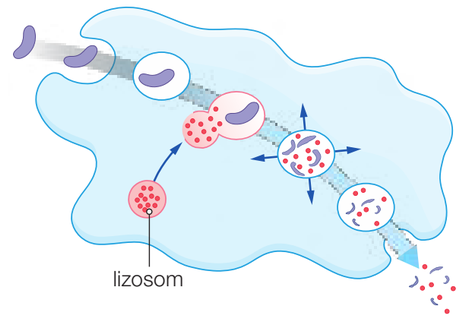
Przypomnij sobie

Rodzaje endocytozy

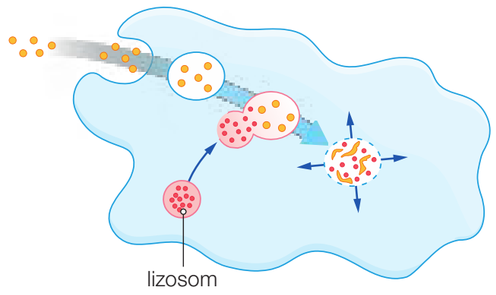
Endocytoza polega na pobieraniu z otoczenia substancji za pomocą pęcherzyków utworzonych z fragmentów błon biologicznych. Wyróżnia się dwa podstawowe rodzaje endocytozy:

- **fagocytozę**, czyli pobieranie przez komórkę drobnych nierozpuszczalnych cząstek, m.in. bakterii lub szczątków organicznych,
- **pinocytozę**, czyli pobieranie przez komórkę małych kropli płynów, zawierających substancje rozpuszczalne w wodzie.

Rodzaje endocytozy u ameb



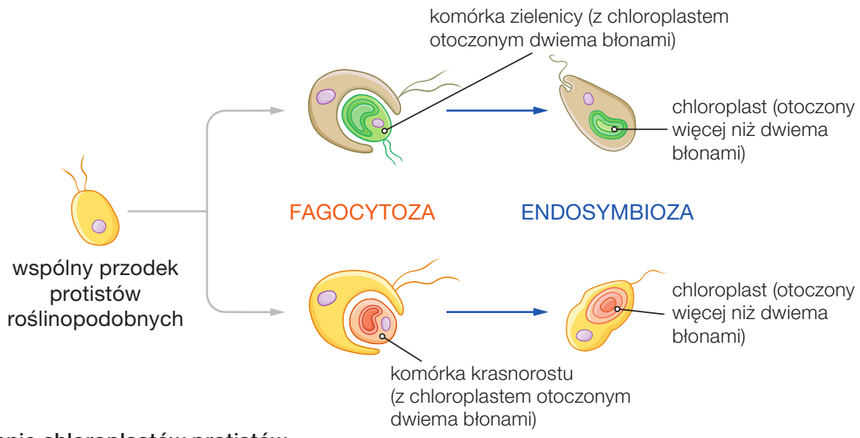
W przypadku fagocytozy pęcherzyk z pobranymi substancjami łączy się z lizosomem, który zawiera enzymy hydrolityczne. Enzymy te trawią pobrany pokarm, a niestrawione resztki pokarmowe są usuwane poza komórkę.



W przypadku pinocytozy strawieniu ulega cały pokarm wraz z błoną pęcherzyka. Pinocytoza pociąga więc za sobą ubytki błony komórkowej. Ubytki są uzupełniane dzięki egzocytozie oraz syntezie nowych składników błony.

Chloroplasty protistów

W odróżnieniu od chloroplastów roślinnych, otoczonych dwiema błonami, chloroplasty protistów roślinopodobnych są otoczone **trzema lub czterema błonami**. Takie organelle powstały prawdopodobnie w wyniku **endosymbiozy wtórnej**, która polegała na fagocytozie komórek roślin pierwotnie wodnych – zielenic lub krasnorostów – przez heterotroficzne komórki eukariotyczne, będące przodkami protistów. Wchłonięte komórki weszły w symbiozę z komórką gospodarza, a następnie – w toku ewolucji – przekształciły się w chloroplasty.



Powstawanie chloroplastów protistów.

Ruch protistów

Protisty zwierzęce poruszają się zwykle za pomocą nibynóżek (ruchem pełzakowatym – ameboidalnym) lub za pomocą wici lub rzęsek (ruchem undulipodialnym). Niektóre prostisty roślinopodobne w ogóle nie mają zdolności aktywnego ruchu, natomiast pozostałe poruszają się zazwyczaj za pomocą wici lub rzęsek. Część protistów grzybopodobnych nie ma zdolności aktywnego ruchu, a pozostała część porusza się ruchem ameboidalnym.

Osmoregulacja u protistów

Osmoregulacja to regulacja ilości wody oraz stężenia związków osmotycznie czynnych w komórkach i płynach ustrojowych organizmu. Protisty, które żyją w morzach lub w organizmach zwierząt, nie potrzebują mechanizmów osmoregulacji, ponieważ są izotoniczne w stosunku do środowiska. Inaczej jest w przypadku protistów słodkowodnych, których komórki nie mają ściany komórkowej. Organizmy te są narażone na pęknięcie wskutek ciągłego osmotycznego napływu wody do ich wnętrza. Z tego względu nadmiar wody jest nieustannie zbierany i usuwany na zewnątrz przez krążące w cytozolu **wodniczki tętniące**.

Wydalanie u protistów

Większość protistów usuwa szkodliwe produkty przemiany materii na drodze egzocytozy. W wydalaniu części tych produktów uczestniczą prawdopodobnie wodniczki tętniące. Przemawia za tym obecność wodniczek tętniących u niektórych protistów zasiedlających wody słone, głównie u morskich orzęsków.

Oddychanie protistów

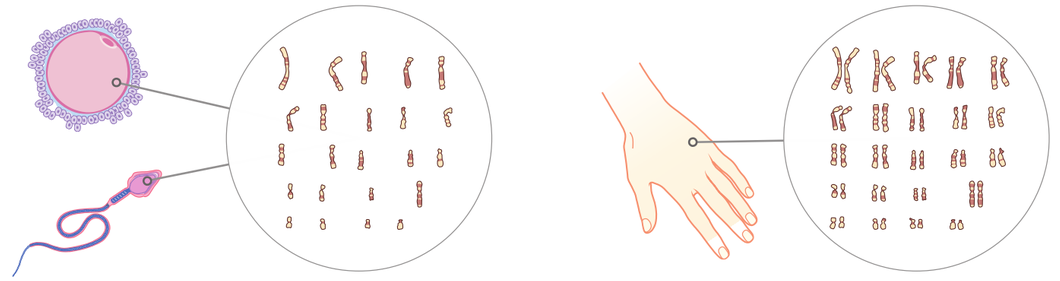
Większość protistów oddycha tlenowo. Organizmy żyjące w warunkach beztlenowych uzyskują energię dzięki fermentacji. Należą do nich np. symbiotyczne orzęski, zasiedlające przewody pokarmowe przeżuwaczy, oraz niektóre pasożyty wewnętrzne.

Przypomnij sobie

Komórki haploidalne i diploidalne

Komórki haploidalne mają pojedynczy zestaw chromosomów. Oznacza się je symbolem n lub 1n. Przykładem komórek haploidalnych są plemniki i komórki jajowe.

Komórki diploidalne mają podwójny zestaw chromosomów – występują w nich pary chromosomów homologicznych. Oznacza się je symbolem 2n. Przykładem komórek diploidalnych są np. komórki naszej skóry.



Rozmnażanie się protistów

Protisty rozmnażają się zarówno bezpłciowo (wegetatywnie), jak i płciowo (generatywnie).

Rozmnażanie bezpłciowe

U gatunków jednokomórkowych rozmnażanie bezpłciowe zachodzi przez podział komórki. U gatunków wielokomórkowych może się ono odbywać przez:

- **fragmentację plechy** – z fragmentów plechy w wyniku regeneracji odtwarzają się nowe kompletne organizmy,
- **zarodniki** nieruchliwe (aplanospory) lub zarodniki ruchliwe (zoospory).

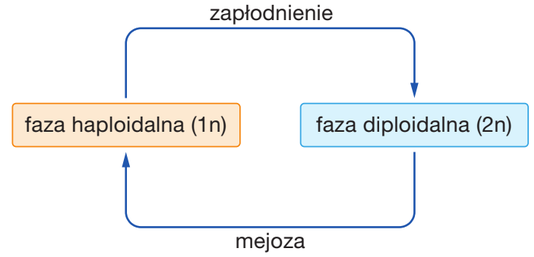
Rozmnażanie bezpłciowe pozwala na szybkie zwiększenie liczby osobników. Są one identyczne pod względem genetycznym.

Rozmnażanie płciowe

Rozmnażanie płciowe zachodzi w wyniku **zapłodnienia**, czyli łączenia się gamet pochodzących od dwóch osobników. W jego przebiegu zawsze występuje **mejoza**, podczas której zachodzą *crossing-over* oraz niezależna segregacja chromosomów. Dzięki tym procesom powstają nowe kombinacje genów, a potomstwo różni się od osobników rodzicielskich. W efekcie rozmnażania płciowego zwiększa się zatem różnorodność genetyczna populacji. Pozwala to na przetrwanie populacji w zmiennych lub niekorzystnych warunkach środowiska, ponieważ wśród osobników potomnych mogą znaleźć się takie, u których kombinacja cech umożliwia przetrwanie i rozmnażanie się mimo zachodzących zmian.

Przemiana faz jądrowych

Przemiana faz jądrowych to regularne następowanie po sobie faz haploidalnej (haplofazy, 1n) i diploidalnej (diplofazy, 2n) w cyklu rozwojowym organizmów rozmnażających się płciowo. Komórki haploidalne powstają w wyniku mejozy, a komórki diploidalne – w wyniku zapłodnienia.

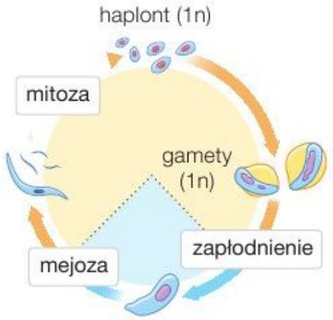
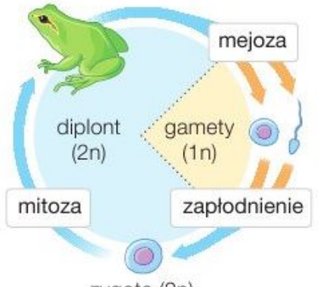
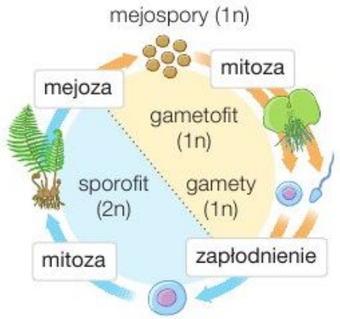


Haplofaza trwa od mejozy do zapłodnienia, a **diplofaza** – od zapłodnienia do mejozy.

Rodzaje cyklów rozwojowych

W zależności od tego, w którym momencie cyklu odbywa się mejoza, wyróżnia się trzy rodzaje cyklów rozwojowych:

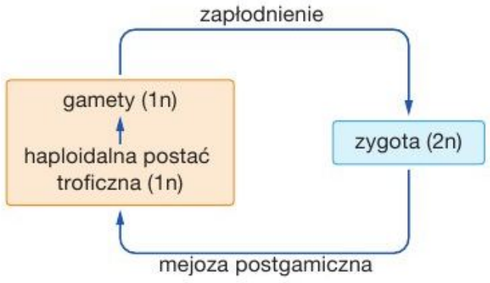
- **cykl rozwojowy z mejozą postgamiczną** – mejoza zachodzi bezpośrednio po zapłodnieniu,
- **cykl rozwojowy z mejozą pregamiczną** – mejoza zachodzi tuż przed wytworzeniem gamet,
- **cykl rozwojowy z mejozą pośrednią** – w cyklu występuje przemiana pokoleń, czyli regularne następowanie po sobie pokolenia haploidalnego (gametofitu) i pokolenia diploidalnego (sporofitu; →s. 41).

Cykl rozwojowy z mejozą postgamiczną	Cykl rozwojowy z mejozą pregamiczną	Cykl rozwojowy z mejozą pośrednią
		
Występuje m.in. u protistów, np. u zarodźców malarii (→s. 44). W tym cyklu dominuje faza haploidalna (1n).	Występuje powszechnie u zwierząt, np. u żaby. W tym cyklu dominuje faza diploidalna (2n).	Występuje m.in. u roślin, np. u paproci. W tym cyklu zachodzi przemiana pokoleń.

Przemiana faz jądrowych u protistów zwierzęcych

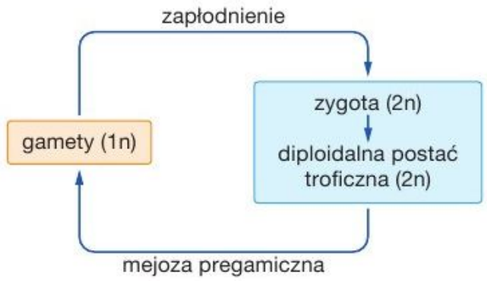
U protistów zwierzęcych wyróżnia się dwa rodzaje przemian faz jądrowych: przemianę z przewagą fazy haploidalnej i przemianę z przewagą fazy diploidalnej. Rodzaj przemiany faz jądrowych zależy od ploidalności (1n lub 2n) **postaci troficznej**, czyli postaci zdolnej do odżywiania się, wzrostu i podziałów mitotycznych.

Przemiana faz jądrowych z przewagą fazy haploidalnej występuje u gatunków, u których postać troficzna jest haploidalna (1n). Protisty takie nazywa się haplontami. Komórki haplontów przekształcają się w gamety i łączą ze sobą w procesie zapłodnienia. W efekcie powstaje diploidalna zygota, która szybko dzieli się mejotycznie. Z jednej zygoty powstają cztery haploidalne komórki potomne, które stają się dojrzałymi osobnikami. U haplontów zachodzi więc **mejoza postgamiczna**.

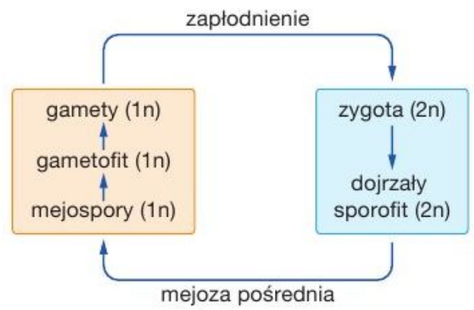


Przemiana faz jądrowych u haplontów.

Przemiana faz jądrowych z przewagą fazy diploidalnej występuje u gatunków, u których postać troficzna jest diploidalna (2n). Protisty takie nazywa się diplontami. Komórki diplontów wytwarzają na drodze mejozy haploidalne gamety. W wyniku zapłodnienia powstaje diploidalna zygota, która przekształca się w dojrzałego osobnika. U diplontów zachodzi więc **mejoza pregamiczna**.



Przemiana faz jądrowych u diplontów.



Przemiana faz jądrowych u wielokomórkowych protistów roślinopodobnych.

Przemiana faz jądrowych u protistów roślinopodobnych

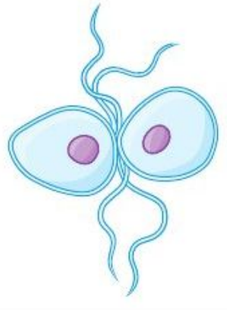
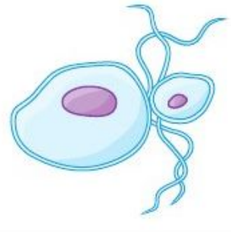
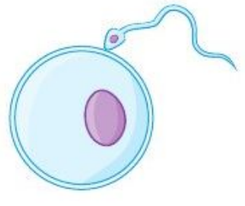
U wielokomórkowych protistów roślinopodobnych przemiana faz jądrowych jest związana z **przemianą pokoleń**, czyli regularnym następowaniem po sobie pokolenia haploidalnego – **gametofitu** (1n) – i pokolenia diploidalnego – **sporofitu** (2n).

Pokolenie haploidalne – gametofit – rozmnaża się za pomocą gamet. Powstają one na drodze mitozy w organach płciowych – gametangiach. Gametangia protistów są jednokomórkowe, zróżnicowane na plemnie, w których powstają gamety męskie, oraz lęgnie, w których powstają gamety żeńskie. W efekcie połączenia się gamet męskiej i żeńskiej powstaje diploidalna zygota, z której rozwija się pokolenie diploidalne – sporofit. Sporofit rozmnaża się za pomocą zarodników (mejospor). Powstają one w zarodniach (sporangiach) w wyniku mejozy komórek macierzystych zarodników. Z mejospor kiełkuje następne pokolenie haploidalne.

W cyklu rozwojowym wielokomórkowych protistów roślinopodobnych zachodzi więc **mejoza pośrednia**.

Wyróżnia się dwa typy przemiany pokoleń:

- **przemiana izomorficzna** – pokolenia gametofitu i sporofitu są do siebie podobne pod względem budowy, kształtu, rozmiarów i długości życia; żadne z pokoleń nie dominuje,
- **przemiana heteromorficzna** – pokolenia gametofitu i sporofitu różnią się od siebie; jedno z pokoleń dominuje.

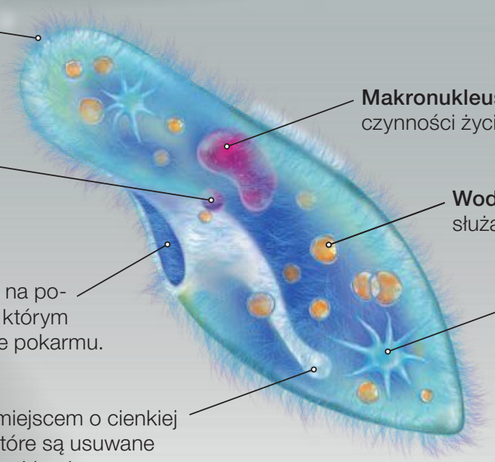
Typy zapłodnienia		
izogamia	**anizogamia**	**oogamia**
Gamety męska i żeńska mają zdolność ruchu i są morfologicznie jednakowe (izogamety). 	Gamety męska i żeńska mają zdolność ruchu, ale różnią się wielkością. Gameta żeńska jest większa (makrogameta), a gameta męska – mniejsza (mikrogameta). 	Gameta żeńska jest większa i nie ma zdolności ruchu (komórka jajowa). Gameta męska jest mniejsza i ma zdolność ruchu (plemnik). 

Związek między budową a trybem życia protistów

Protisty należą do najprostszych organizmów eukariotycznych. Mimo to ich komórki osiągnęły bardzo wysoki poziom specjalizacji, który wynika z przystosowania do określonego trybu życia.

Pantofelek – mikroskopijny drapieżnik

Pantofelki należą do protistów zwierzęcych. Występują głównie w zbiornikach słodkowodnych, gdzie odżywiają się innymi organizmami.



Rzęski umożliwiają sprawny ruch komórki.

Makronukleus kontroluje czynności życiowe komórki.

Mikronukleus bierze udział w procesach płciowych (→ s. 45).

Wodniczki pokarmowe służą do trawienia pokarmu.

Cytostom to miejsce na powierzchni komórki, w którym zachodzi pochłanianie pokarmu.

Wodniczki tętniące usuwają nadmiar wody z komórki.

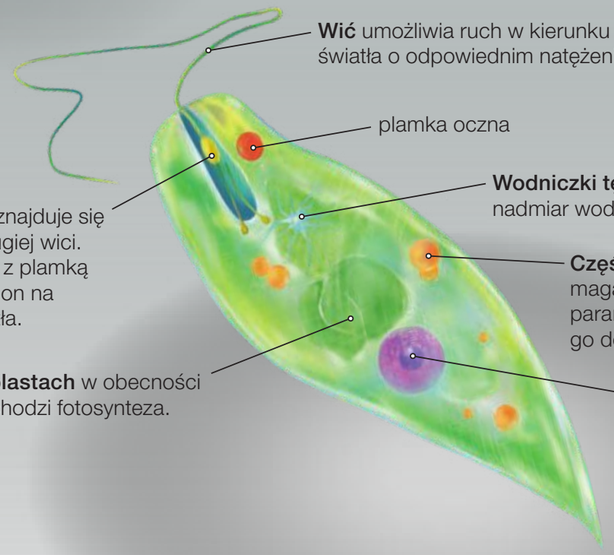
Cytopyge jest miejscem o cienkiej pellikuli, przez które są usuwane niestrawione resztki pokarmu.

Euglena zielona – wyspecjalizowany miksotrof

Euglena zielona należy do słodkowodnych protistów roślinopodobnych. W zależności od dostępu światła odżywia się autotroficznie lub heterotroficznie. Komórka eugleny jest otoczona elastyczną pellikulą. W jej przedniej części znajduje się gardziel, z której wyrastają dwie wici.



Dzięki fotoreceptorom eugleny poruszają się w kierunku źródła światła.



Wić umożliwia ruch w kierunku światła o odpowiednim natężeniu.

plamka oczna

Fotoreceptor znajduje się u podstawy długiej wici. Współdziałając z plamką oczną, reaguje on na natężenie światła.

Wodniczki tętniące usuwają nadmiar wody z komórki.

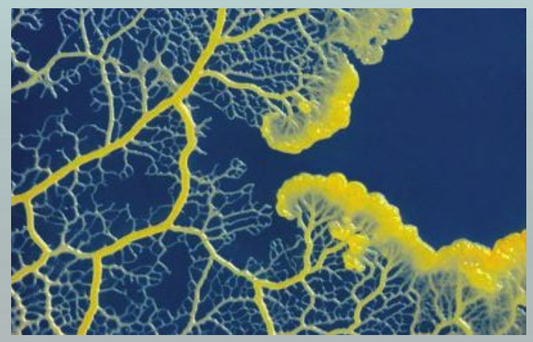
Część produktów fotosyntezy jest magazynowana w postaci ziaren paramylonu – polisacharydu podobnego do skrobi.

W chloroplastach w obecności światła zachodzi fotosynteza.

jądro komórkowe

Maworek – skuteczny saprobiont

Maworek wielokształtny należy do protistów grzybopodobnych. Występuje w wilgotnych lasach, gdzie porasta m.in. obumarłe drzewa, przyczyniając się do ich rozkładu. Należy zatem do saprobiontów – organizmów heterotroficznych, które odżywiają się martwą materią organiczną. Plecha maworka składa się z jednej wielojądrowej komórki, która porusza się ruchem pełzakowatym. W ten sposób rozprzestrzenia się i zasiedla coraz to nowe obszary drewna.



Fragment śluźni – komórczakowej plechy maworka.

Wielkomorszcz – autotrof podobny do roślin

Wielkomorszcz gruszkonośny do złudzenia przypomina roślinę. Należy jednak do brunatnic – morskich protistów roślinopodobnych. Plecha wielkomorszcza jest zróżnicowana na część liściokształtną, część łodygokształtną oraz chwytniki. W jej skład wchodzą tkanki – twórcza i miękiszowa – oraz wyspecjalizowane komórki przewodzące asymilaty. W komórkach tkanki miękiszowej znajdują się chloroplasty, zawierające m.in. brązową fukoksantynę.

Wielkomorszcz występuje w morzach i oceanach. Jego **część liściokształtną** tworzą płaskie płaty plechy zbudowane z tkanki miękiszowej. Zachodzi w nich fotosynteza.

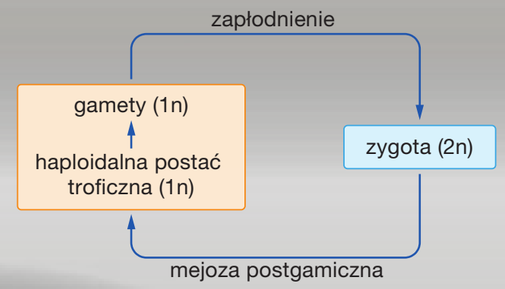
Część łodygokształtna jest bardzo długa – w ten sposób wynosi ona część liściokształtną ku powierzchni wody, gdzie natężenie światła jest większe.

Chwytniki umocowują plechę w dnie zbiornika wodnego, co zapobiega jej przemieszczaniu się, np. pod wpływem prądów morskich.

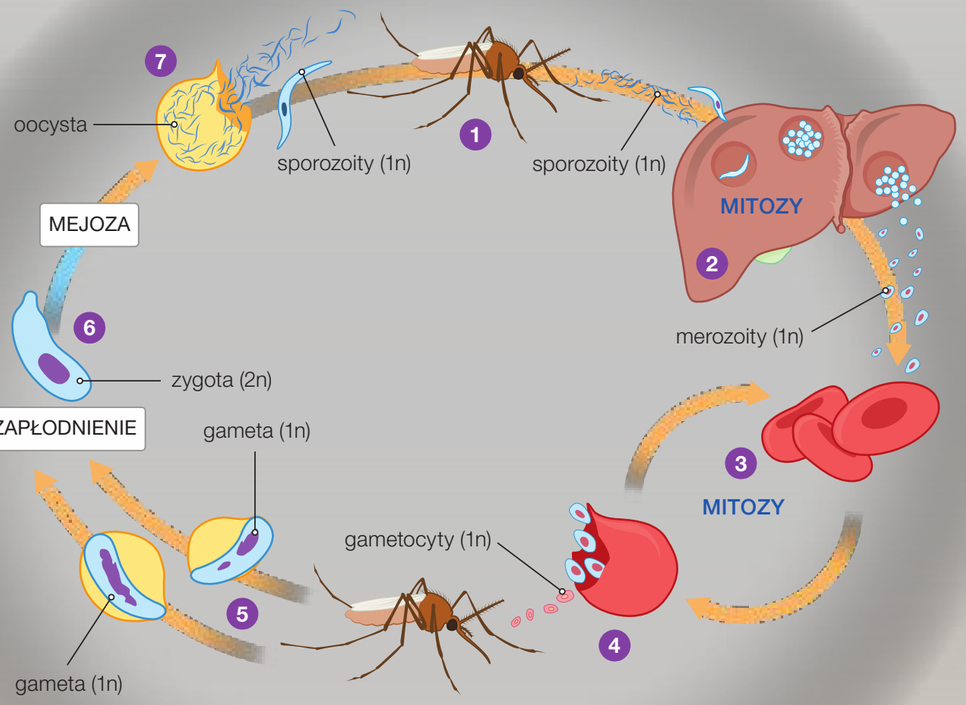


Cykl rozwojowy zarodźców malarii

Znanych jest kilka gatunków zarodźców wywołujących malarię u ludzi, m.in. zarodziec pasmowy i zarodziec sierpowaty. Zarodźce są protistami zwierzęcymi, u których występuje **mejoza postgamiczna**. Wywołują one chorobę zwaną malarią. Rozwój zarodźców malarii wiąże się ze zmianą żywiciela. **Żywicielem pośrednim**, w którego organizmie zarodźce rozmnażają się **bezpłciowo**, jest człowiek. **Żywicielem ostatecznym**, w którego organizmie zarodźce rozmnażają się **płciowo**, są komary z rodzaju widliszek.



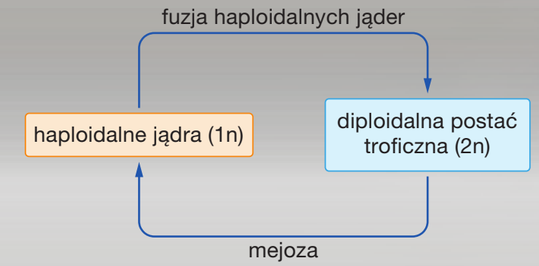
Przemiana faz jądrowych u zarodźca malarii.



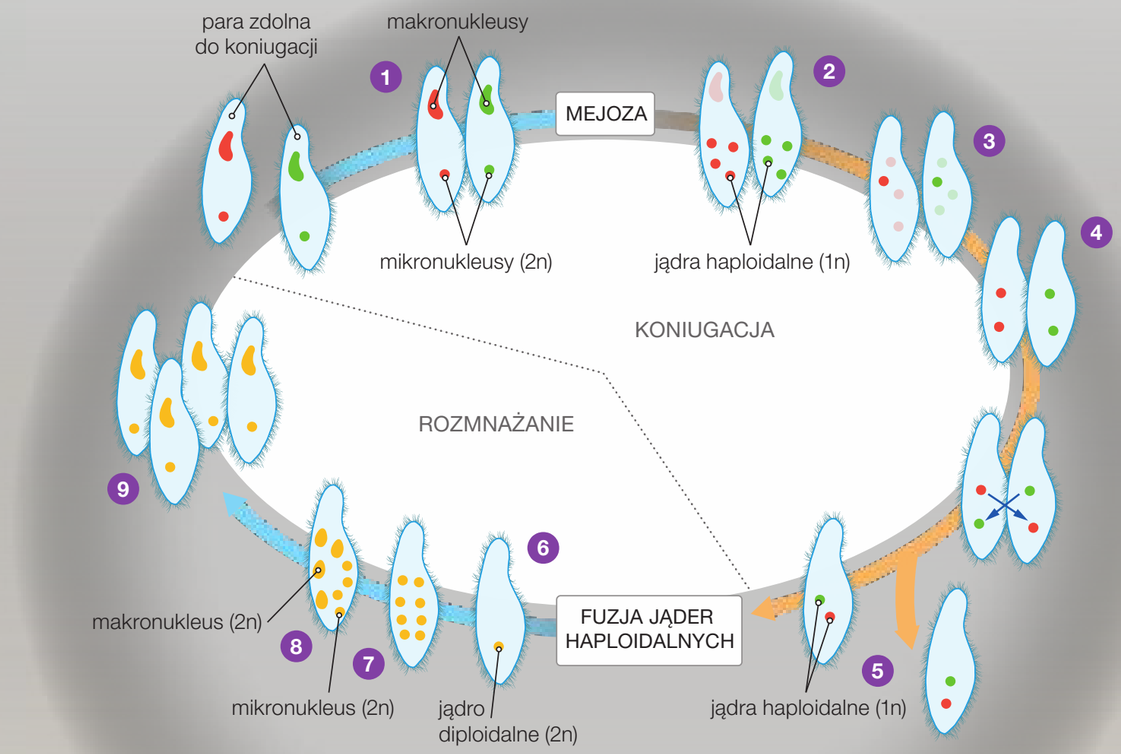
1. Zakażenie zarodźcem malarii następuje w wyniku ukłucia przez samicę komara widliszka i wprowadzenia wrzecionowatych form inwazyjnych pasożyta – sporozoitów – do krwi człowieka.
2. Sporozoity są transportowane przez krew do wątroby, gdzie przekształcają się w pełzakowate formy inwazyjne – merozoity – które ulegają wielokrotnym podziałom mitotycznym.
3. Merozoity opuszczają wątrobę i wnikają do erytrocytów. Wzrost merozoitów i ich wielokrotne podziały mitotyczne prowadzą do rozpadu erytrocytów, objawiającego się atakiem malarii.
4. Część merozoitów przekształca się w gametocyty (komórki macierzyste gamet), które mogą zostać wessane wraz z krwią przez samicę komara widliszka.
5. W jelicie komara gametocyty przekształcają się w gamety męskie i żeńskie.
6. W wyniku zapłodnienia powstaje ruchliwa zygota.
7. Zygota przedostaje się do ściany jelita i otacza się grubą osłoną, tworząc oocystę. Oocysta rośnie – po mejozie oraz po wielokrotnych podziałach mitotycznych daje początek sporozoitom.

Cykl rozwojowy pantofelka

Pantofelek jest protistem zwierzęcym, który należy do diplontów. Jego komórki mają dwa jądra komórkowe – makronukleusa i mikronukleusa. W cyklu rozwojowym pantofelka może zachodzić **koniugacja** – proces płciowy, którego wynikiem jest rekombinacja materiału genetycznego bez zwiększenia się liczby osobników. Mimo że pantofelek nie wytwarza gamet, występuje u niego **mejoza pregamiczna**.



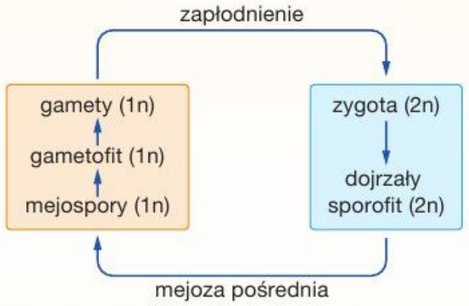
Przemiana faz jądrowych u pantofelka.



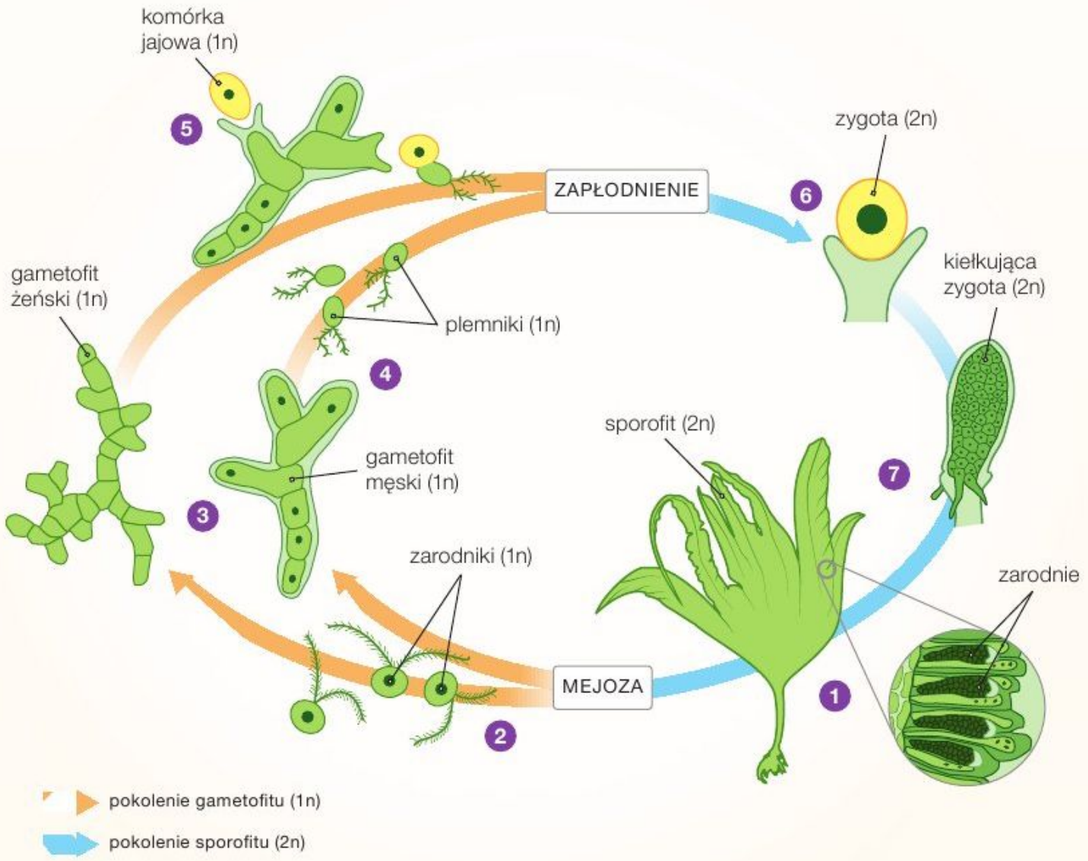
1. Koniugacja rozpoczyna się w momencie, gdy dwie komórki pantofelka zbliżają się do siebie i częściowo zlewają.
2. W każdej komórce zanika makronukleus, a mikronukleus dzieli się mejotycznie na cztery jądra haploidalne.
3. Trzy spośród czterech jąder haploidalnych zanikają.
4. Jądra haploidalne dzielą się mitotycznie na dwa jądra potomne, a następnie komórki pantofelków wymieniają się jednym jądrem haploidalnym.
5. Koniugacja się kończy, a komórki pantofelków się rozdzielają.
6. W każdej komórce zachodzi fuzja jąder haploidalnych (która funkcjonalnie odpowiada procesowi zapłodnienia). W efekcie fuzji powstaje jądro diploidalne.
7. Jądro diploidalne ulega trzem podziałom mitotycznym, wskutek czego powstaje osiem jąder potomnych.
8. Cztery jądra potomne przekształcają się w makronukleusy, a cztery pozostałe – w mikronukleusy.
9. Zachodzą dwie rundy cytokinezy, w wyniku których powstają cztery komórki potomne. Każda z komórek ma jednego makronukleusa i jednego mikronukleusa.

Cykl rozwojowy listownicy

Listownica należy do protistów roślinopodobnych, u których zachodzi **heteromorficzna przemiana pokoleń**. Jej gametofit ma postać nitkowatą i składa się z kilku komórek, natomiast sporofit to okazała, dorastająca do kilku metrów plecha, zróżnicowana na chwytniki, część łodygokształtną i część liściokształtną.



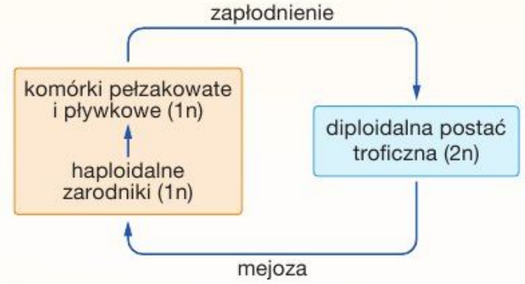
Przemiana faz jądrowych u listownicy.



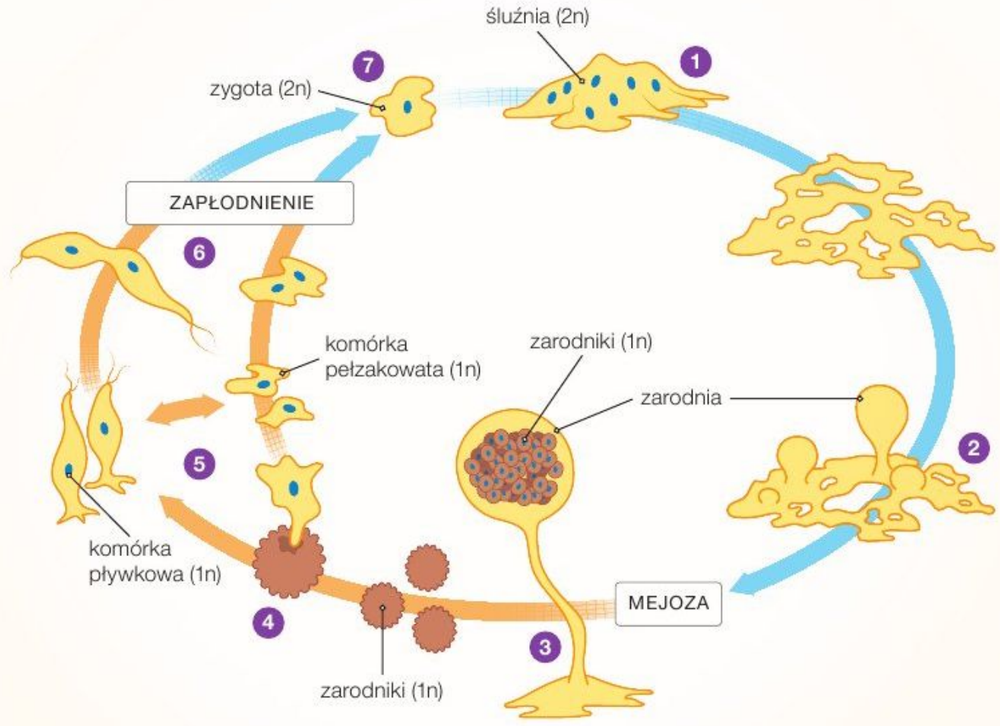
1. Diploidalna plecha sporofitu wytwarza zarodnie, w których znajdują się komórki macierzyste zarodników.
2. Komórki macierzyste zarodników ulegają mejozie. W jej wyniku powstają haploidalne dwuwiciowe zarodniki – zoospory.
3. Zarodniki kiełkują w haploidalne gametofity.
4. Gametofit męski wytwarza jednokomórkowe plemnie, w których powstają małe, opatrzone wiciami gamety męskie – plemniki.
5. Gametofit żeński wytwarza jednokomórkowe lęgnie, w których powstają duże, nieruchliwe gamety żeńskie – komórki jajowe.
6. Na drodze oogamii dochodzi do zapłodnienia komórki jajowej komórką plemnikową. W wyniku zapłodnienia powstaje diploidalna zygota.
7. W rezultacie podziałów mitotycznych zygoty rozwija się diploidalny sporofit.

Cykl rozwojowy maworka

Maworek należy do protistów grzybopodobnych. Jego komórczakowa plecha, zwana śluźnią (plazmodium), rozwija się w środowisku bogatym w związki organiczne. Wykazuje ona zdolność powolnego ruchu pełzakowatego.



Przemiana faz jądrowych u maworka.



1. Komórczakowa śluźnia zawiera diploidalne jądra komórkowe.
2. W niesprzyjających warunkach środowiska śluźnia wytwarza kuliste zarodnie (sporangia) osadzone na trzoneczkach.
3. W zarodniach w wyniku mejozy diploidalnych jąder powstają haploidalne zarodniki (mejospory). Są one otoczone grubą ścianą i mają charakter przetrwalnikowy.
4. Zarodniki wysypują się z zarodni i w sprzyjających warunkach środowiska kiełkują.
5. W wyniku kiełkowania zarodników powstają haploidalne komórki pełzakowate (ameboidalne) oraz komórki pływkowe (opatrzone dwiema wiciami). Oba typy komórek mogą się wzajemnie w siebie przekształcać.
6. Haploidalne komórki łączą się ze sobą parami w procesie zapłodnienia. W ten sposób dochodzi do powstania diploidalnych zygot.
7. Diploidalne jądro zygoty dzieli się wielokrotnie mitotycznie (bez podziałów cytoplazmy) i wytwarza komórczakową śluźnię.

Znaczenie protistów w przyrodzie i dla człowieka

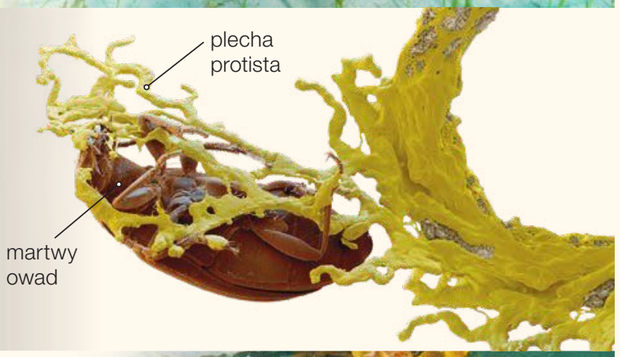
Źródło pokarmu i tlenu

Protisty roślinopodobne należą do podstawowych producentów materii organicznej. Stanowią one pokarm dla wielu zwierząt, m.in. ryb i żółwi morskich, a w niektórych krajach – także dla ludzi. Podczas fotosyntezy protistów jest uwalniany tlen, który ulatnia się do atmosfery. Korzystają z niego organizmy oddychające tlenowo.



Udział w rozkładzie martwej materii organicznej

Protisty grzybopodobne należą do destruentów. Rozkładają martwą materię organiczną, dzięki czemu uczestniczą zarówno w obiegu pierwiastków w przyrodzie, jak i w procesach glebotwórczych.



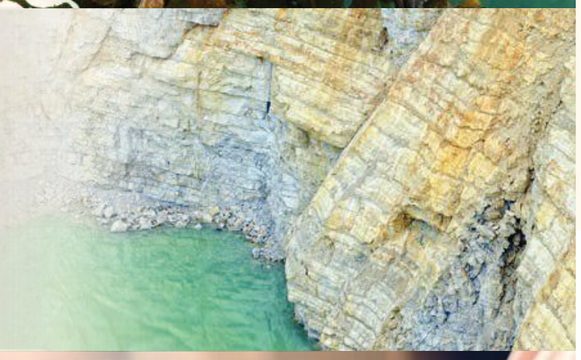
Tworzenie siedlisk

Plechy dużych protistów roślinopodobnych porastające dno zbiorników wodnych tworzą siedliska dla zwierząt, m.in. dla ryb – np. antenariusa sargassowego. Ryba ta wpływa między plechy porostów, dzięki czemu chroni się przed atakiem drapieżników.



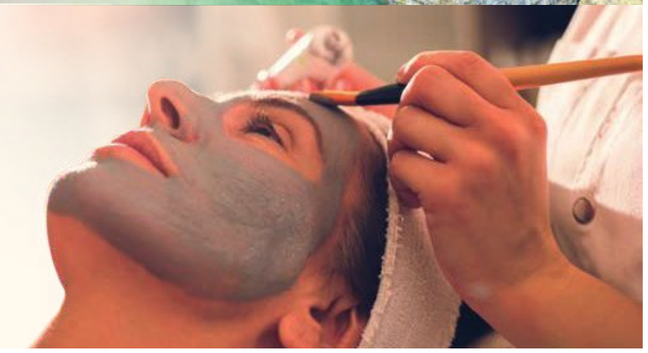
Tworzenie skał

Protisty o ścianach komórkowych wysyconych związkami mineralnymi uczestniczą w procesach skałotwórczych. Na przykład z pancerzyków obumarłych w minionych okresach geologicznych otwornic powstały złoża wapieni, z pancerzyków okrzemek – złoża diatomitu (ziemi okrzemkowej), a ze szkieletów promienionóżek – złoża skał krzemianowych.

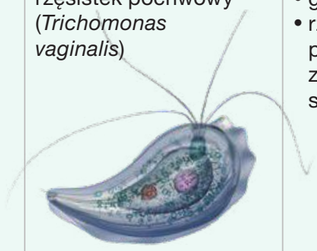
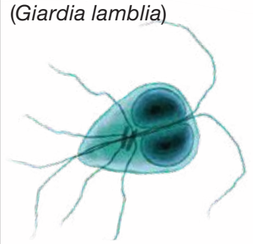
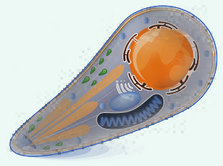


Źródło cennych substancji

Kwas alginowy i jego sole (alginiany), pozyskiwane ze ścian komórkowych brunatnic, tworzą w wodzie bezbarwne, kleiste roztwory, które znajdują zastosowanie m.in. w przemyśle kosmetycznym i farmaceutycznym.



Wybrane choroby człowieka wywoływane przez protisty

Nazwa choroby	Czynnik zakaźny	Droga zakażenia	Profilaktyka
Malaria	część gatunków zarodźca (*Plasmodium*) 	• ukłucie przez samicę komara widliszka	• stosowanie środków chroniących przed ukłuciami komarów • stosowanie leków antymalarycznych podczas wyjazdu w rejony występowania tej choroby (Azja, Afryka, Ameryka Południowa i Ameryka Środkowa)
Rzęsistkowica	rzęsistek pochwowy (*Trichomonas vaginalis*) 	• głównie droga płciowa • rzadziej przez kontakt pośredni (np. korzystanie ze wspólnych urządzeń sanitarnych)	• unikanie przypadkowych kontaktów seksualnych, stosowanie prezerwatyw • przestrzeganie zasad higieny
Lamblioza	lamblia jelitowa (*Giardia lamblia*) 	• droga pokarmowa – spożywanie zanieczyszczonego pokarmu lub wody skażonej fekaliami	• ochrona wód przed zanieczyszczeniem fekaliami • przestrzeganie zasad higieny
Toksoplazmoza	*Toxoplasma gondii* 	• droga pokarmowa – spożywanie niedogotowanego mięsa lub surowego mleka • kontakt z odchodami kota zarażonego protistem • zakażenie przez łożysko	• długotrwałe gotowanie mięsa oraz picie przegotowanego mleka • przestrzeganie zasad higieny • unikanie kontaktów z zakażonymi kotami

Polecenia kontrolne

1. Podaj przykłady protistów, których organizm jest: pojedynczą komórką, kolonią, plechą. Porównaj ich budowę.
2. Omów różnorodność sposobów odżywiania się i pozyskiwania energii przez protisty.
3. Wykaż, że protisty żyjące w wodach słonych oraz protisty pasożytnicze nie potrzebują mechanizmów osmoregulacji.
4. Podaj nazwy organelli ruchu występujących u protistów i scharakteryzuj sposób funkcjonowania tych organelli.
5. Scharakteryzuj przebieg rozmnażania bezpłciowego i płciowego u przedstawicieli protistów jedno- i wielokomórkowych.

1.5. Grzyby i porosty

Ważne w tym temacie!

- różnorodność morfologiczna grzybów
- czynności życiowe grzybów: odżywianie, oddychanie i rozmnażanie
- porosty jako organizmy symbiotyczne
- znaczenie grzybów oraz porostów w przyrodzie i dla człowieka



Grzyby to organizmy heterotroficzne. Część gatunków grzybów występuje w zbiornikach wodnych, jednak większość zasiedla wilgotne środowiska lądowe. Niektóre grzyby łączą się z komórkami zielenic lub sinic i tworzą porosty.

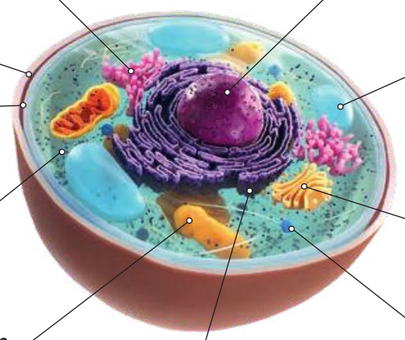
Grzyby jedno- i wielokomórkowe

Większość grzybów to organizmy wielokomórkowe o budowie plechowej, choć występują wśród nich także organizmy jednokomórkowe. Plechy grzybów, zwane **grzybniami**, są zbudowane z nitkowatych, prostych lub rozgałęzionych **strzępek** (→s. 51). U większości gatunków są one podzielone poprzecznymi ścianami – **septami** – na wiele komórek. W septach znajdują się duże otwory, przez które przemieszczają się cytozol oraz organelle komórkowe, w tym jądro komórkowe. Strzępki mogą się ciasno ze sobą splatać, tworząc nibytkankę (plektenchymę). Z nibytkanki są zbudowane m.in. owocniki niektórych grzybów. W owocnikach powstają zarodnie z zarodnikami.

Przypomnij sobie

Budowa komórek grzybów

Komórki grzybowe to komórki eukariotyczne, które mają ścianę komórkową zbudowaną głównie z chityny. Ich podstawowym materiałem zapasowym jest glikogen.



Siateczka śródplazmatyczna gładka to m.in. miejsce syntezy lipidów.

Jądro komórkowe zawiera DNA.

Ściana komórkowa nadaje komórce kształt.

Błona komórkowa uczestniczy w wymianie substancji ze środowiskiem.

Rybosomy uczestniczą w syntezie białek.

W **mitochondrium** zachodzi oddychanie tlenowe.

Siateczka śródplazmatyczna szorstka jest miejscem syntezy niektórych białek.

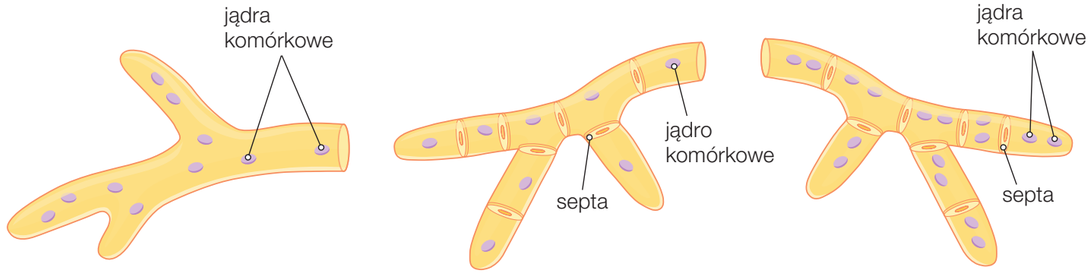
Wakuole grzybów magazynują wodę, jony, substancje zapasowe oraz uboczne produkty przemiany materii. Mogą zwierać związki trujące, lub barwniki. Pełnią także funkcję trawienną.

Aparat Golgiego odpowiada głównie za modyfikowanie, sortowanie i transportowanie białek.

Peroksysom to miejsce, w którym zachodzą utlenianie różnych związków oraz neutralizacja reaktywnych form tlenu.

Rodzaje strzępek

W zależności od gatunku grzyba komórki wchodzące w skład strzępek są wielojądrowe (komórczakowe), jednojądrowe lub dwujądrowe.



Strzępka komórczakowa.

Strzępka wielokomórkowa jednojądrowa.

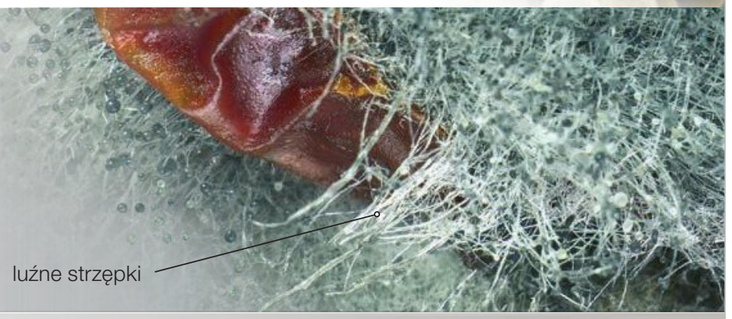
Strzępka wielokomórkowa dikariotyczna (dwujądrowa).

Formy morfologiczne grzybów

Formy jednokomórkowe są wśród grzybów stosunkowo nieliczne, a większość z nich może w pewnych warunkach wytwarzać grzybnie. Przykładem form jednokomórkowych są drożdże piekarskie.



Formy wielokomórkowe są zbudowane z luźnych strzępek. Stanowią liczną grupę grzybów. Przykładem jest rozłożek czerniejący, który powoduje pleśnienie produktów spożywczych.



Formy wielokomórkowe są zbudowane z luźnych strzępek i plektenchymatycznych owocników. Stanowią liczną grupę grzybów. Przykładem jest borowik szlachetny.



Odżywianie się grzybów

Grzyby odżywiają się cudzożywnie. Wydzielają do środowiska zewnętrznego enzymy hydrolityczne (trawienne), które rozkładają złożone związki organiczne na związki prostsze. Wydzielanie enzymów zachodzi na drodze egzocytozy – zwykle odbywa się ono na wierzchołkach strzępki, ponieważ ściana komórkowa wierzchołków dopiero się tworzy. Produkty trawienia są następnie wchłaniane przez komórkę. Wśród grzybów wyróżnia się:

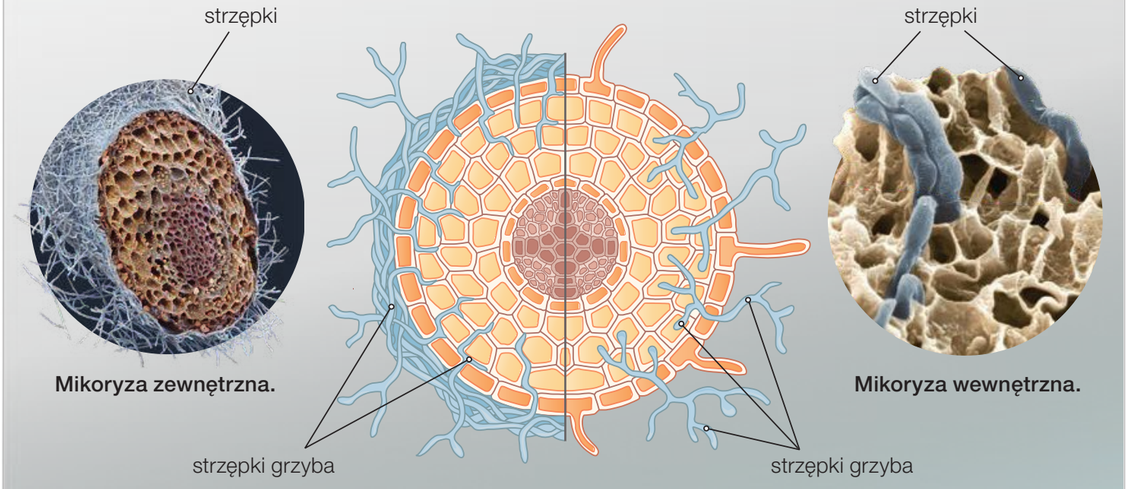
- **grzyby saprobiontyczne**, które odżywiają się martwą materią organiczną,
- **grzyby pasożytnicze**, które atakują rośliny, zwierzęta, a nawet grzyby innych gatunków,
- **grzyby symbiotyczne**, które żyją w symbiozie z innymi organizmami, np. z zielenicami i sinicami (tworzą wówczas porosty), lub w mikoryzie z korzeniami roślin,
- **grzyby drapieżne**, które za pomocą specjalnie przekształconych strzępek chwytają niewielkie zwierzęta glebowe (głównie pierścienice i nicienie), a następnie wydzielają enzymy trawiące ich tkanki.

Oddychanie grzybów

Grzyby uzyskują energię w procesie **oddychania tlenowego** lub **fermentacji**. Fermentację alkoholową przeprowadzają np. drożdże, a fermentację mleczanową – np. gatunki z rodzaju *Penicillium*. Zdolność niektórych grzybów do fermentacji jest wykorzystywana od bardzo dawna, m.in. do produkcji napojów alkoholowych, wypieku ciast czy produkcji serów.

Mikoryza

Mikoryza jest symbiozą między roślinami a grzybami. W oddziaływaniu tym strzępki grzyba oplatają korzenie roślin lub wnikają do wnętrza komórek korzenia. Dzięki temu zwiększa się powierzchnia chłonna korzenia, co skutkuje lepszym zaopatrzeniem rośliny w wodę i sole mineralne. Ponadto strzępki grzybów dostarczają roślinom substancje wzrostowe i witaminy. Grzyby z kolei odżywiają się produktami fotosyntezy przeprowadzanej przez rośliny.



Mikoryza zewnętrzna.

Mikoryza wewnętrzna.

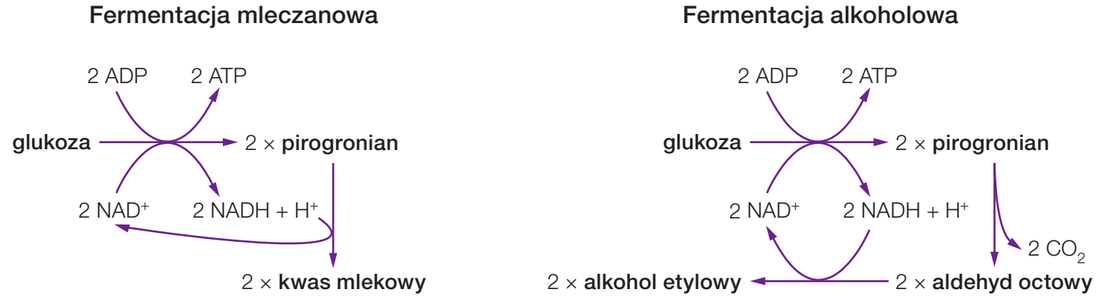
W mikoryzie zewnętrznej (ektotroficznej) strzępki grzyba wnikają między komórki korzenia, a następnie tworzą wokół niego rodzaj mufki. W ten sposób ograniczają jego wzrost i przejmują funkcję pobierania wody. Ten typ mikoryzy występuje np. u koźlarzy i brzóz, a także u borowików i dębów.

W mikoryzie wewnętrznej (endotroficznej) strzępki grzyba wnikają do wnętrza komórek korzenia, nie ograniczając jego wzrostu. Ten typ mikoryzy występuje u 80–90% roślin zasiedlających kulę ziemską, m.in. u roślin zielnych i krzewinek.

Przypomnij sobie

Fermentacja alkoholowa i fermentacja mleczanowa

Fermentacja polega na niecałkowitym utlenieniu organicznego substratu (zwykle glukozy) bez udziału tlenu. Pierwszym etapem tego procesu jest glikoliza, podczas której zachodzi m.in. redukcja NAD^+ do $NADH + H^+$. W drugim etapie następuje regeneracja NAD^+ niezbędnego do zajścia kolejnej reakcji glikolizy.



Fermentacja alkoholowa oraz fermentacja mleczanowa różnią się sposobem regeneracji NAD^+. W pierwszej pirogronian ulega redukcji do etanolu, natomiast w drugiej – do mleczanu.

Rozmnażanie się grzybów

Większość grzybów rozmnaża się zarówno bezpłciowo, jak i płciowo.

Rozmnażanie bezpłciowe polega na:

- **fragmentacji plechy** – każdy fragment plechy może dać początek nowej grzybni. Zdolność tę wykorzystuje się np. w hodowli pieczarek;
- **pączkowaniu** – na komórkach, np. drożdży, tworzą się drobne wyrostki (pączki), które rosną, po czym odrywają się od komórki macierzystej.



Pączkujące drożdże (obraz spod SEM).

Rozmnażanie płciowe grzybów obejmuje zapłodnienie, w którego wyniku powstaje diploidalne jądro zygotyczne. U grzybów wyróżnia się następujące sposoby zapłodnienia:

- **gametogamię** – polega na łączeniu się gamet, które może przyjmować postać izo-, anizo- lub oogamii (→s. 41). Gamety powstają w gametangiach, które są zróżnicowane na gametangia męskie (plemnie) i gametangia żeńskie (lęgnie);
- **gametangiogamię** – polega na łączeniu się całych gametangiów. W tym procesie zawartość plemni przelewa się do lęgni;
- **somatogamię** – polega na łączeniu i zrastaniu się zróżnicowanych płciowo strzępek.

W cyklu rozwojowym większości grzybów **plazmogamia**, czyli połączenie się cytoplazmy gametangiów lub strzępek, jest oddzielona w czasie od **kariogamii**, czyli połączenia się jąder komórkowych. W wyniku plazmogamii powstają strzępki dwujądrowe – dikariotyczne. Grzyby rozmnażają się też przez rozsiewanie **zarodników** (→s. 54).

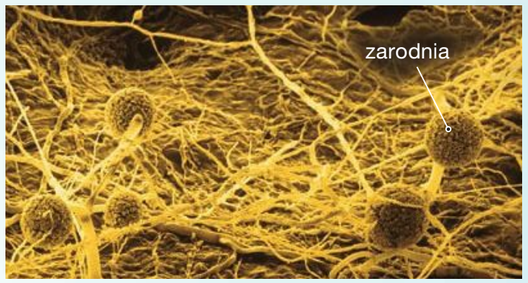
Zarodniki grzybów

Zarodniki – mitospory i mejospory – uczestniczą w rozmnażaniu i rozprzestrzenianiu się grzybów. Zarodniki mogą być komórkami nieruchliwymi (aplanosporam) lub ruchliwymi (zoosporami). Aplanospory są charakterystyczne dla grzybów lądowych, a zoospory – dla grzybów wodnych.



Mitospory

Mitospory powstają w wyniku podziałów mitotycznych komórek macierzystych.



Zarodniki sporangialne powstają w kulistych zarodniach tworzących się na szczycie strzępek zarodnikonośnych.

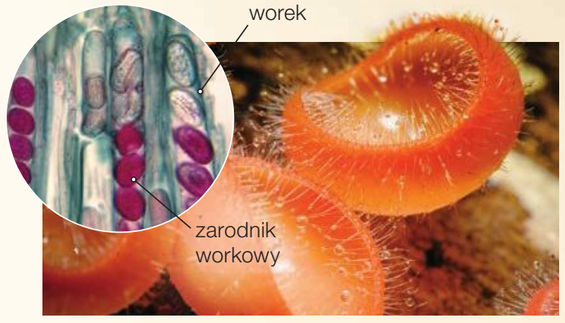


Zarodniki konidialne powstają przez odcinanie się pojedynczych komórek na końcach strzępek zarodnikonośnych.

Mejospory

Mejospory tworzą się w wyniku podziałów mejotycznych komórek macierzystych. U większości grzybów mejospory powstają w owocnikach, w obrębie tzw. hymenoforów. Hymenofory mogą mieć postać blaszek (np. u pieczarek) lub rurek (np. u borowików).





Zarodniki workowe powstają w podłużnych zarodniach zwanych workami.



Zarodniki podstawkowe powstają na specjalnych strukturach zwanych podstawkami.

Porosty

Porosty to organizmy o budowie plechowej. Są nazywane **organizmami dwuskładnikowymi**, ponieważ budują je strzępki grzybów oraz komórki zielenic (roślin pierwotnie wodnych) lub sinic (fotosyntetyzujących bakterii). Porosty mają niewielkie wymagania życiowe i są odporne na skrajnie niekorzystne warunki środowiska, dlatego występują we wszystkich siedliskach, w tym na terenach niezajętych przez żadne inne organizmy. Rosną nie tylko w glebie, lecz także na skałach i pniach drzew. Porosty są nazywane **organizmami pionierskimi**, gdyż często jako pierwsze zasiedlają nowe środowiska.

Porosty są **organizmami autotroficznymi**, ponieważ zielenice i sinice wchodzące w ich skład przeprowadzają fotosyntezę. Grzyby korzystają z produktów fotosyntezy, a w zamian zaopatrują komórki swoich symbiontów w wodę oraz sole mineralne. Strzępki grzybów pełnią również w porostach funkcję ochronną.



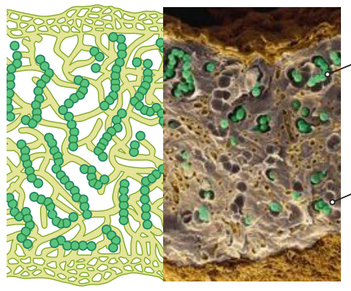
Porosty jako organizmy pionierskie zasiedlają m.in. nagie skały, gdzie uczestniczą w tworzeniu się gleby.

Porosty rozmnażają się **wyłącznie bezpłciowo**. Wykorzystują do tego celu specjalne struktury plechy nazywane **rozmnóżkami** (zawierają one strzępki grzyba i komórki zielenic lub sinic). Grzyby wchodzące w skład porostów mogą rozmnażać się płciowo.

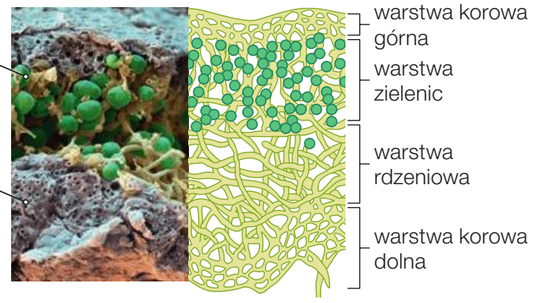
Związek między składnikami porostu

Do niedawna wzajemne relacje grzybów z zielenicami i sinicami uznawano za związek obustronnie korzystny, jednak obecnie wskazuje się na wyraźną dominację grzybów. Najprawdopodobniej kontrolują one życie swoich partnerów, m.in. uniemożliwiają im rozmnażanie płciowe, wydzielają substancje kontrolujące ich wzrost, a w pewnych warunkach nawet trawią ich komórki. Z tego względu niektórzy badacze uważają, że organizmy tworzące plechy porostów stanowią przykład pasożytnictwa grzyba na organizmie fotosynetyzującym.

Plecha niewarstwowana



Plecha warstwowana



Budowa plech porostów. W plesze porostów strzępki grzyba są ciasno splecione, a między nimi znajdują się komórki zielenic lub sinic. U niektórych porostów zielenice lub sinice są rozmieszczone równomiernie w obrębie plechy (plecha niewarstwowana), u innych zaś są skupione w wyraźną warstwę (plecha warstwowana).

Znaczenie grzybów oraz porostów w przyrodzie i dla człowieka

Udział w rozkładzie martwej materii organicznej

Grzyby saprobiontyczne rozkładają martwą materię organiczną, czyli pełnią w ekosystemach funkcję destruentów. Dzięki temu biorą udział w obiegu pierwiastków w przyrodzie oraz zwiększają żyzność gleby. Niektóre grzyby powodują psucie się produktów żywnościowych, niszczenie drewna oraz materiałów skórzanych, wełnianych i bawełnianych.



Udział we wzroście i w rozwoju roślin

Grzyby symbiotyczne wchodzą w związki mikoryzowe z roślinami, dostarczając im wielu cennych substancji. W skrajnych przypadkach, np. u storczyków, ich obecność jest niezbędna do wzrostu i rozwoju rośliny.



Źródło pokarmu dla innych organizmów

Grzyby i porosty stanowią pokarm wielu zwierząt, w tym ludzi. Grzyby zawierają liczne witaminy (B_1, B_2, PP, A, D) i sole mineralne. Ponadto występująca w ich ścianach komórkowych chityna poprawia perystaltykę przewodu pokarmowego. Porosty mają największe znaczenie na obszarach tundry, gdzie żywią się nimi m.in. ssaki kopytne.



Zastosowanie w przemyśle spożywczym

Grzyby przeprowadzające fermentację są wykorzystywane do wytwarzania produktów spożywczych. Drożdże piekarskie stosuje się do produkcji piwa i wina, a także w piekarnictwie do spulchniania ciasta. Pewne gatunki grzybów z rodzaju *Penicillium* wykorzystuje się do produkcji serów.



Zastosowanie w przemyśle farmaceutycznym i biotechnologii

W przemyśle farmaceutycznym z grzybów otrzymuje się antybiotyki (m.in. penicylinę i cefalosporyny). Niektóre porosty, m.in. płucnicę islandzką, wykorzystuje się do produkcji środków wykrztuśnych i nawilżających błonę śluzową dróg oddechowych.



Grzyby pasożytnicze

Grzyby pasożytnicze wywołują wiele chorób roślin i zwierząt, w tym ludzi.

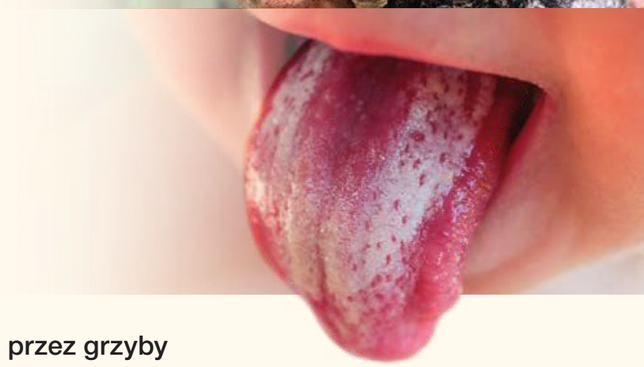
- **Do grzybów atakujących rośliny uprawne** należy m.in. rdza źdźbłowa. Rozwija się ona na zbożach i powoduje duże straty w rolnictwie.



- **Wiele gatunków grzybów atakuje drzewa**. Początkowo pasożytują one na żywych drzewach, prowadząc do ich obumierania. Następnie – jako saprobionty – rozkładają martwe tkanki drzew. W ten sposób odżywia się np. opieńka miodowa.



- **U ludzi** najczęściej występują pasożytnicze drożdżaki z rodzaju *Candida*, wywołujące drożdżyce (kandydozy). Mogą one powodować pleśniawki jamy ustnej, a u kobiet – zapalenia pochwy. Mają również zdolność atakowania narządów wewnętrznych, m.in. wątroby, nerek, płuc, serca i mózgu.



Wybrane choroby człowieka wywoływane przez grzyby

Nazwa choroby	Sposób zakażenia	Profilaktyka
Grzybica skóry	kontakt z zakażoną osobą lub z przedmiotami, których używała; kontakt z zakażonym zwierzęciem, np. psem lub kotem	• przestrzeganie zasad higieny • nieużywanie wspólnych przedmiotów higieny osobistej • noszenie obuwia ochronnego na basenach i w hotelach • mycie rąk po kontakcie ze zwierzętami
Grzybica narządów płciowych	zaburzenie równowagi organizmu i zniszczenie naturalnego mikrobiomu, np. w wyniku przewlekłej antybiotykoterapii	• spożywanie probiotyków • odpowiednia higiena narządów płciowych • noszenie bielizny z naturalnych materiałów
Grzybica płuc	droga wziewna (zarodniki grzyba dostają się do płuc wraz z wdychanym powietrzem)	• przestrzeganie zasad higieny • unikanie kontaktu z osobami chorymi • dbanie o odporność

Polecenia kontrolne

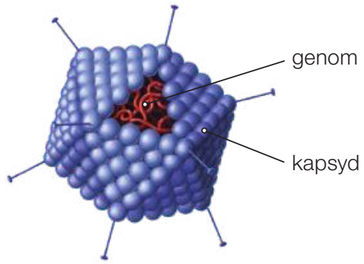
1. Omów różne sposoby odżywiania się i oddychania grzybów.
2. Podaj dwa przykłady bezpłciowego rozmnażania się grzybów.
3. Na podstawie wiarygodnych źródeł przygotuj prezentację dotyczącą rodzimych gatunków grzybów oraz porostów.
4. Omów budowę i środowisko życia porostów.

Podsumowanie

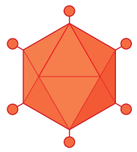
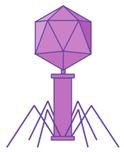
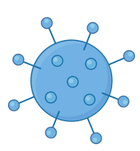
1 **Wirusy** – czynniki zakaźne zbudowane z białka i kwasu nukleinowego.

Wirion – kompletna cząstka wirusa występującą w środowisku pozakomórkowym, zdolna do zakażania komórek. Jest ona zbudowana z:

- materiału genetycznego (genomu) – DNA jednoniciowy lub dwuniciowy bądź RNA jednoniciowy lub dwuniciowy,
- białkowego płaszcza (kapsydu),
- osłonki zewnętrznej (u części wirusów).



2 **Formy morfologiczne wirusów**

Formy morfologiczne			
helikalna	**bryłowa**	**bryłowo-spiralna**	**kulista**
występuje głównie u wirusów roślinnych	występuje głównie u wirusów zwierzęcych	występuje u bakteriofagów	występuje u wirusów zawierających lipoproteinową osłonkę
			

3 **Przebieg infekcji wirusowej**

Etapy infekcji	Przebieg infekcji
Adsorpcja	Wirus przyłącza się do odpowiednich receptorów błony komórkowej gospodarza.
Wnikanie	Wirus lub jego genom przedostaje się do komórki gospodarza.
Replikacja	Zachodzi replikacja genomu wirusa.
Transkrypcja i translacja	Zachodzą synteza RNA na matrycy DNA (która u większości wirusów jest katalizowana przez polimerazę RNA komórki gospodarza), a następnie synteza białek wirusowych.
Składanie	Z elementów składowych powstają kopie wirusa.
Uwalnianie	Wirusy potomne opuszczają komórkę.

4 **Cykle infekcyjne bakteriofagów**

Cykl lityczny	Cykl lizogeniczny
Zachodzi u bakteriofagów złośliwych, m.in. u bakteriofaga T4. W tym cyklu geny wirusa przejmują kontrolę nad metabolizmem komórki gospodarza, co prowadzi do wytwarzania nowych wirionów. Wiriony opuszczają komórkę, powodując jej lizę (rozpad).	Zachodzi u bakteriofagów łagodnych, m.in. u bakteriofaga λ. W tym cyklu wirus wbudowuje swój genom do genomu komórki gospodarza. Staje się wtedy prowirusem, który nie wywołuje objawów choroby. W zmienionych warunkach prowirus może się uaktywniać i wywoływać objawy choroby.

5 **Odwrotna transkrypcja** – proces, który polega na przepisaniu informacji genetycznej z RNA na DNA przez enzym odwrotną transkryptazę. Występuje w cyklu infekcyjnym retrowirusów (wirusów RNA).

6 **Profilaktyka i leczenie chorób wirusowych:**

- szczepienia ochronne,
- surowice odpornościowe,
- leki przeciwwirusowe.

7 **Znaczenie wirusów**

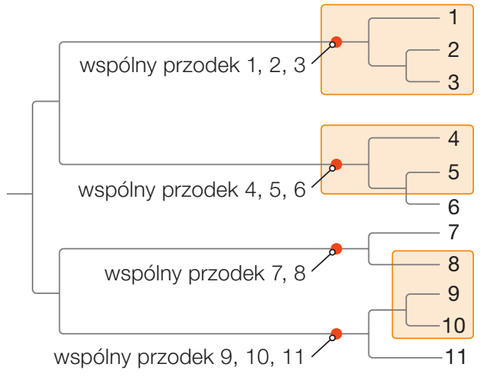
– Powodują straty w rolnictwie (w wyniku chorób roślin uprawnych i zwierząt hodowlanych).
– Wywołują wiele chorób ludzi.
+ Regulują liczebność populacji różnych gatunków.
+ Są wykorzystywane do produkcji szczepionek i surowic.
+ Są eksperymentalnie wykorzystywane do zwalczania groźnych szczepów bakterii, opornych na działanie antybiotyków.

8 **Systematyka** – dział biologii zajmujący się klasyfikacją organizmów, czyli ich podziałem na grupy (taksony). Efektem tego podziału jest system taksonomiczny.

9 **Podstawowe rangi taksonomiczne**

Rangi taksonomiczne	
w systematyce roślin	**w systematyce zwierząt**
domena	domena
królestwo	królestwo
gromada	typ
klasa	gromada
rząd	rząd
rodzina	rodzina
rodzaj	rodzaj
gatunek	gatunek

10 **Rodzaje taksonów**



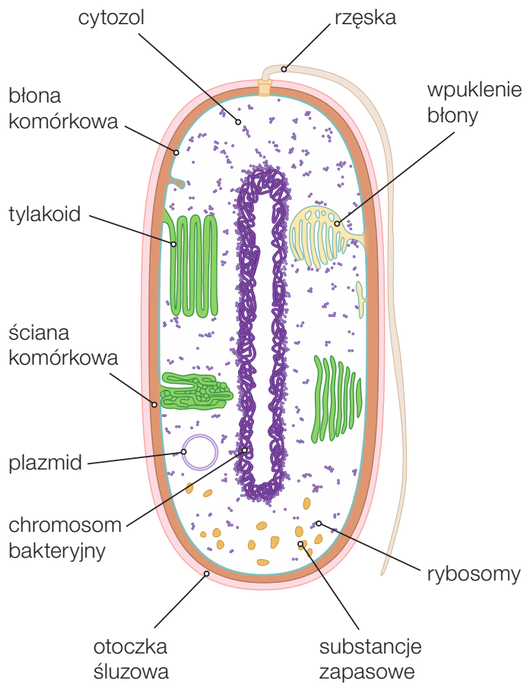
Takson monofiletyczny (klad) – grupa naturalna. Obejmuje jednego przodka i wszystkich jego potomków, np. ssaki.

Takson parafiletyczny – grupa sztuczna. Wywodzi się od jednego przodka, ale nie obejmuje wszystkich jego potomków, np. gady.

Takson polifiletyczny – grupa sztuczna. Wywodzi się od różnych przodków i obejmuje organizmy bardzo daleko ze sobą spokrewnione, np. zwierzęta stałocieplne (ptaki i ssaki).

11 Elementy budowy komórki bakteryjnej

- **Ściana komórkowa** – zwykle występuje. Chroni komórkę i nadaje jej kształt.
- **Błona komórkowa** – umożliwia wymianę substancji ze środowiskiem, jest miejscem zachodzenia procesów metabolicznych. Niekiedy występuje błona zewnętrzna.
- **Fimbrie i pilusy** – fimbrie to krótkie białkowe włókna, które umożliwiają przyczepianie się bakterii do podłoża. Pilusy to dłuższe białkowe włókna, które uczestniczą w koniugacji.
- **Rzęski** – są zakotwiczone w błonie i ścianie komórkowej, umożliwiają ruch.
- **Cytozol** – wypełnia wnętrze bakterii.
- **Materiał genetyczny** – jest nim chromosom bakteryjny, który zawiera geny niezbędne do życia bakterii. W cytozolu występują też plazmidy zawierające geny, które są przydatne, ale nie są konieczne do przeżycia.
- **Rybosomy** – uczestniczą w biosyntezie białek, ich stała sedymentacji wynosi 70 S.
- **Tylakoidy** – uczestniczą w fotosyntezie. Występują wyłącznie u bakterii fotosyntetyzujących.



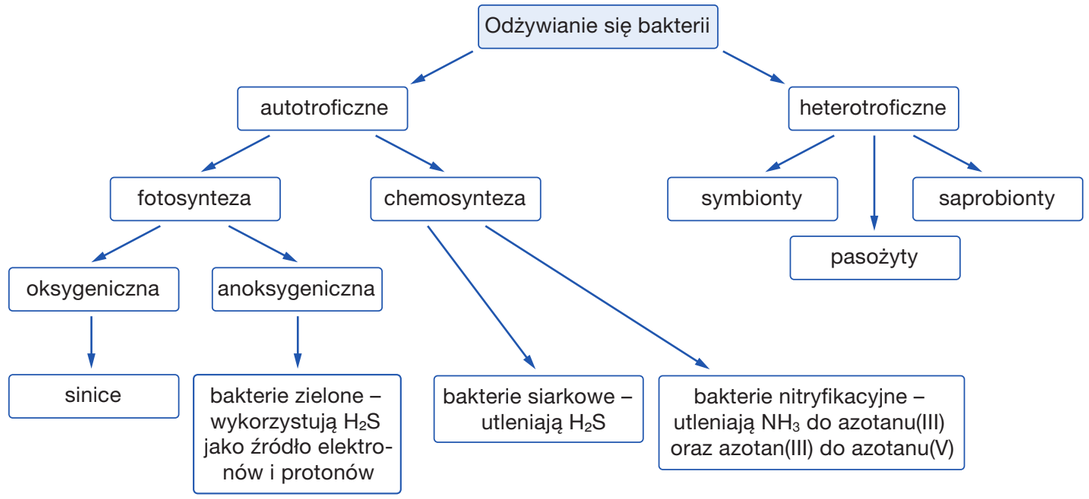
12 Porównanie organizmów prokariotycznych

Cecha	Organizmy prokariotyczne	
	bakterie (Bacteria)	archeowce (Archaea)
Geny	Geny nie zawierają odcinków niekodujących.	Geny zawierają często odcinki niekodujące.
Lipidy błonowe	W lipidach błonowych występują kwasy tłuszczowe proste.	W lipidach błonowych występują kwasy tłuszczowe rozgałęzione.
Ściana komórkowa	Zbudowana głównie z peptydoglikanu – mureiny. Dodatkowo może być osłonięta błoną zewnętrzną.	Zbudowana głównie z polimerów, m.in. pseudomureiny. Dodatkowo może być osłonięta ochronną warstwą zbudowaną z białek.

13 Porównanie bakterii Gram-dodatnich i Gram-ujemnych

Cecha budowy	Bakterie	
	Gram-dodatnie	Gram-ujemne
Ściana komórkowa	gruba, zbudowana z kilku warstw mureiny	cienka, zbudowana z jednej warstwy mureiny
Obecność kwasów tejchojowych w ścianie	występują	brak
Obecność błony zewnętrznej	brak	obecna

14 Odżywianie się bakterii



15 Oddychanie bakterii

Oddychanie tlenowe	Oddychanie beztlenowe	Fermentacja	
		mleczanowa	alkoholowa
Proces odbywa się w cytozolu i błonie komórkowej. Akceptorem elektronów jest tlen. Przykład bakterii: sinice.	Proces odbywa się w cytozolu i błonie komórkowej. Akceptorem elektronów jest m.in. azotan(V). Przykład bakterii: bakterie denitryfikacyjne.	Proces odbywa się w cytozolu. Przykład bakterii: bakterie z rodzaju *Lactobacillus*.	Proces odbywa się w cytozolu. Przykład bakterii: bakterie z rodzaju *Sarcina*.

16 Rozmnażanie się i procesy płciowe bakterii

Rozmnażanie się – prowadzi do zwiększenia się liczby komórek bakterii. Zachodzi wyłącznie bezpłciowo przez podział komórki, pączkowanie lub fragmentację nitek kolonii.

Procesy płciowe – nie prowadzą do zwiększenia się liczby komórek bakterii, ale zapewniają rekombinację materiału genetycznego.

Procesy płciowe bakterii		
koniugacja	transformacja	transdukcja
Przekazywanie DNA (plazmidu) między dwiema komórkami bakterii.	Pobieranie przez komórki bakterii wolnego DNA z podłoża.	Przekazywanie fragmentów DNA między dwiema komórkami bakterii za pośrednictwem bakteriofagów.

17 Formy przetrwalnikowe bakterii

Cysty – powstają przez odwodnienie i otoczenie grubą ścianą całej komórki bakteryjnej.

Endospory – powstają w wyniku podziału komórki na dwie nierówne części; mniejsza część otacza się grubą ścianą komórkową i staje się endosporą.

18 Cechy protistów

Cecha	Protisty		
	zwierzęce	roślinopodobne	grzybopodobne
Formy morfologiczne	organizmy jednokomórkowe lub kolonijne	organizmy jednokomórkowe, kolonijne lub wielokomórkowe plechowe	organizmy jednokomórkowe lub wielokomórkowe plechowe
Pokrycie komórki	komórki pokryte wyłącznie błoną komórkową lub pellikulą	komórki pokryte pellikulą lub celulozową ścianą komórkową (zawierającą niekiedy krzemionkę)	komórki pokryte celulozową ścianą komórkową
Ruch	rzęski, wici, nibynóżki, formy osiadłe	wici lub formy osiadłe	nibynóżki
Odżywianie	heterotrofy – drapieżniki, pasożyty	autotrofy, miksotrofy	heterotrofy – saprobionty, pasożyty

19 Rozmnażanie się protistów:

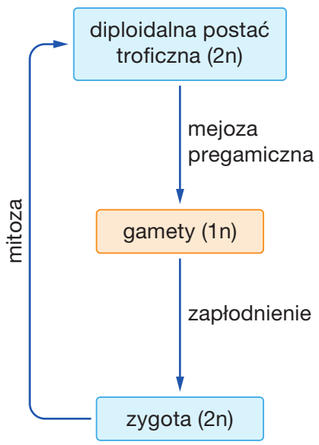
- **bezpłciowe** – przez fragmentację plechy lub zarodniki,
- **płciowe** – przez gamety.

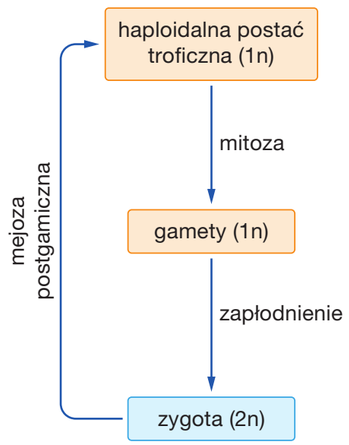
Typy zapłodnienia		
izogamia	anizogamia	oogamia
Gamety męska i żeńska mają zdolność ruchu i są morfologicznie jednakowe.	Gamety męska i żeńska mają zdolność ruchu, ale różnią się wielkością. Gameta żeńska jest większa, a gameta męska – mniejsza.	Gameta żeńska – komórka jajowa – jest większa i nie ma zdolności ruchu. Gameta męska – plemnik – jest mniejsza i ma zdolność ruchu.

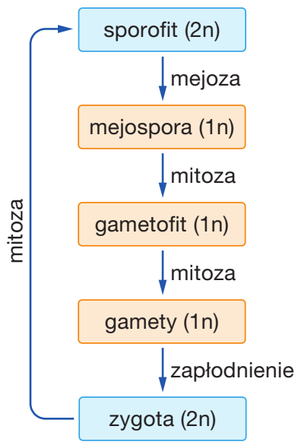
20 Przemiana faz jądrowych i przemiana pokoleń u protistów

Przemiana faz jądrowych – regularne następowanie po sobie faz haploidalnej (1n) i diploidalnej (2n). Faza haploidalna (haplofaza) trwa od mejozy do zapłodnienia, a faza diploidalna (diplofaza) – od zapłodnienia do mejozy.

Przemiana pokoleń – regularne następowanie po sobie pokolenia rozmnażającego się za pomocą gamet (gametofitu) i pokolenia rozmnażającego się za pomocą mejospor (sporofitu).







21 Cechy grzybów:

- komórki są otoczone ścianą komórkową zbudowaną z chityny,
- do substancji zapasowych magazynowanych wewnątrz komórek należą glikogen i tłuszcze,
- w komórkach występują liczne wakuole, które magazynują różne substancje lub uczestniczą w trawieniu pokarmu,
- mogą być jednokomórkowe lub wielkokomórkowe (zbudowane ze strzępek tworzących grzybnię),
- są heterotroficzne.

22 Oddychanie grzybów

Grzyby uzyskują energię w procesie oddychania tlenowego lub fermentacji (alkoholowej bądź mleczanowej).

23 Rozmnażanie się grzybów

Rozmnażanie bezpłciowe – przez fragmentację plechy i pączkowanie.

Rozmnażanie płciowe – przez gamety (lub zróżnicowane płciowo jądra komórkowe).

Rozmnażanie przez zarodniki – mitospory i mejospory.

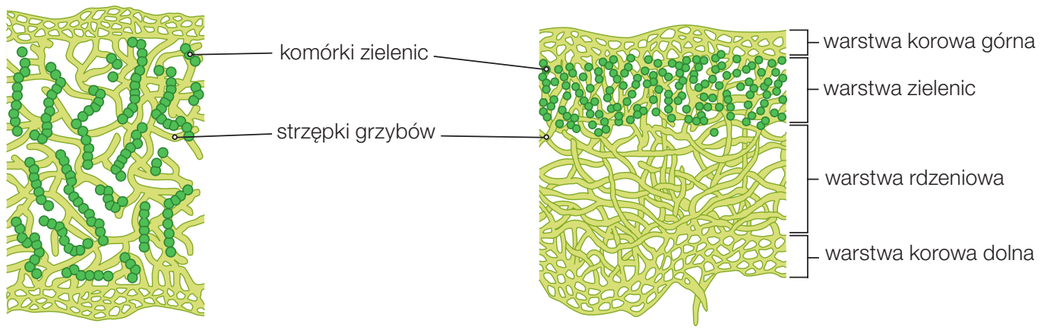
24 Typy zarodników grzybów:

- zarodniki sporangialne – powstają w kulistych zarodniach,
- zarodniki konidialne – powstają przez odcinanie się komórek na końcach strzępek,
- zarodniki workowe – powstają w specjalnych zarodniach (workach),
- zarodniki podstawkowe – powstają przez odcięcie komórki na podstawce.

25 Cechy porostów:

- są organizmami zbudowanymi z dwóch składników: ze strzępek grzyba oraz z komórek zielenic lub sinic,
- są organizmami autotroficznymi,
- mają ciało wielokomórkowe o budowie plechowej,
- w plesze porostu grzyby dominują nad autotroficznym komponentem – kontrolują wzrost zielenic lub sinic, uniemożliwiają im rozmnażanie płciowe, trawią ich komórki,
- są organizmami pionierskimi,
- rozmnażają się wyłącznie bezpłciowo.

26 Budowa plech porostów

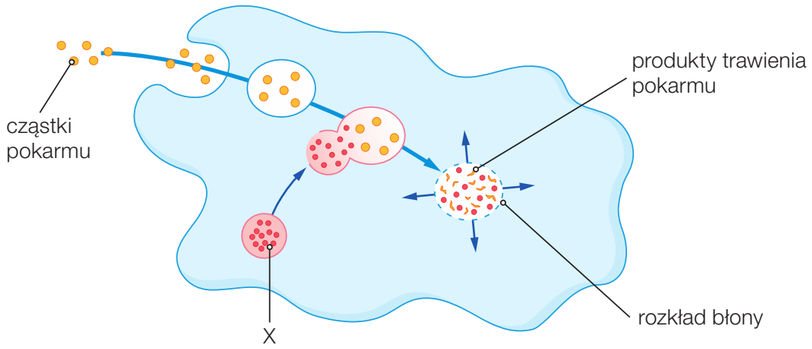


Plecha niewarstwowana. **Plecha warstwowana.**

Sposób na zadania

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Schemat przedstawia jeden ze sposobów endocytozy u ameby. Proces ten może zachodzić w dowolnym miejscu błony komórkowej.



Zwróć uwagę na to, czy pokarm pobrany przez amebę zostaje strawiony w całości (wraz z błoną pęcherzyka) czy trawienie jest niekompletne (z komórki zostają wydalone resztki pokarmowe).

a) Określ, czy powyższy schemat przedstawia fagocytozę czy pinocytozę. Uzasadnij odpowiedź, uwzględniając informacje zwarte na schemacie.

W odpowiedzi musisz wykorzystać informacje przedstawione na schemacie. Nie pisz więc, że strawieniu ulegają duże, nierozpuszczalne cząstki pokarmu, np. bakterie, ponieważ nie możesz tego stwierdzić na podstawie schematu.

Rozwiązanie:
Schemat przedstawia pinocytozę, ponieważ strawieniu ulega cały pokarm pobrany przez amebę – wraz z błoną pęcherzyka.

b) Podaj nazwę struktury komórkowej oznaczonej na schemacie znakiem X.

Zwróć uwagę na rolę struktury oznaczonej znakiem X w procesie endocytozy u ameby. Przypomnij sobie nazwę organellum, które bierze udział w trawieniu wewnątrzkomórkowym.

Rozwiązanie:
lizosom

c) Wyjaśnij, dlaczego u ameby, w przeciwieństwie do wielu gatunków protistów, endocytoza może zachodzić w dowolnym miejscu błony komórkowej.

Zwróć uwagę, czy błona komórkowa ameby jest pokryta dodatkowymi strukturami czy jest naga.

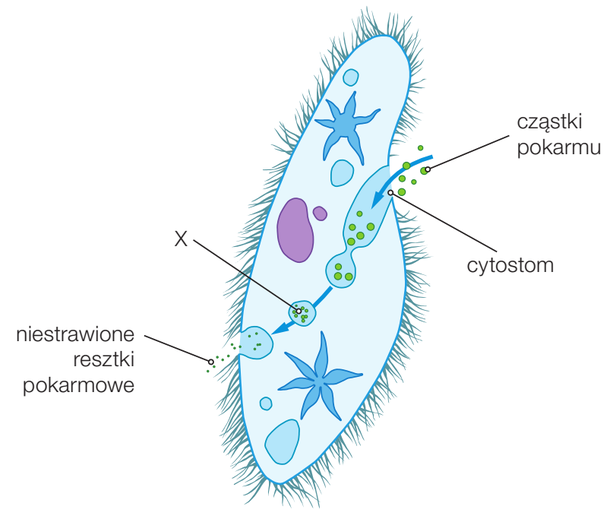
Przypomnij sobie, w jaki sposób zachodzi endocytoza. Zastanów się, jaką rolę odgrywa w tym procesie błona komórkowa.

Rozwiązanie:
Endocytoza u ameby może zachodzić w dowolnym miejscu błony komórkowej, ponieważ nie jest ona pokryta pellikulą / dodatkową białkową powłoką.

Zadanie analogiczne

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Schemat przedstawia endocytozę u pantofelka.



a) Określ, czy powyższy schemat przedstawia fagocytozę czy pinocytozę. Uzasadnij odpowiedź, uwzględniając informacje zawarte na schemacie.

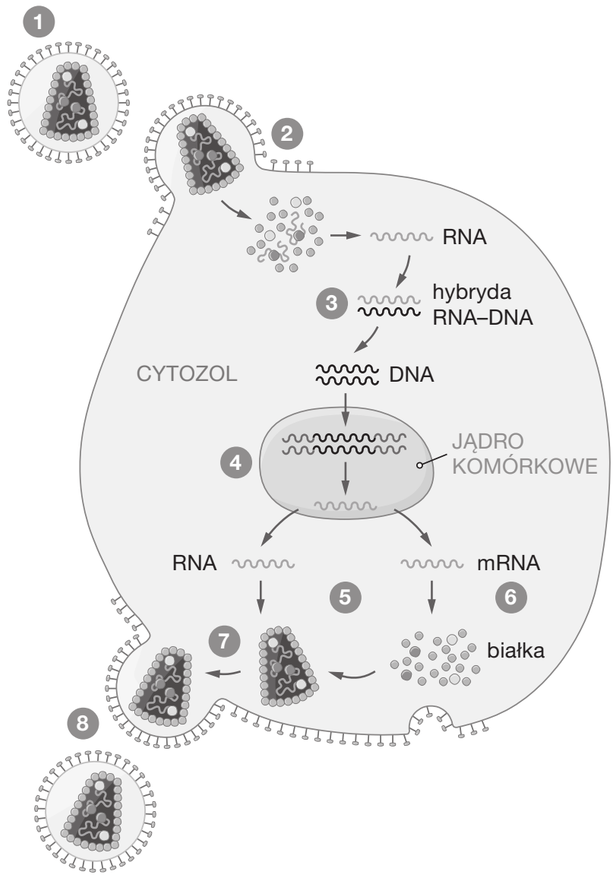
b) Podaj nazwę struktury komórkowej oznaczonej na schemacie znakiem X.

c) Wyjaśnij, dlaczego endocytoza u pantofelka może zachodzić tylko w określonym miejscu komórki – przez cytostom.

Zadania powtórzeniowe

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Schemat przedstawia cykl infekcyjny wirusa HIV.



a) Wykaż związek między budową wirusa HIV a jego zdolnością do infekowania tylko określonych komórek ludzkiego organizmu.

b) Oceń prawdziwość stwierdzenia: „Wirus HIV składa się z elementów kodowanych przez jego genom oraz przez genom zainfekowanej komórki". Odpowiedź uzasadnij.

c) Podaj nazwę etapu cyklu infekcyjnego wirusa, podczas którego zachodzi odwrotna transkrypcja, oraz numer (1–8), którym oznaczono ten etap na schemacie.

2 Zakażenie wirusem brodawczaka ludzkiego (HPV) może prowadzić do rozwoju raka szyjki macicy. Wirus HPV należy do wirusów onkogennych, ponieważ dezaktywuje białko regulatorowe p53, którego funkcją jest hamowanie cyklu komórkowego i podziałów komórkowych. W efekcie komórka gospodarza zostaje zmuszona do wejścia w fazę S cyklu komórkowego.

a) Podaj nazwę procesu zachodzącego w komórce podczas fazy S oraz określ jego znaczenie dla cyklu infekcyjnego wirusa HPV.

b) Wykaż związek między zakażeniem wirusem HPV a rozwojem guza nowotworowego.

3 Materiałem genetycznym części wirusów jest RNA. W zależności od rodzaju wirusa cząsteczki tego kwasu nukleinowego są jednoniciowe bądź dwuniciowe. W przypadku dwuniciowych cząsteczek RNA zasady azotowe jednej nici łączą się z komplementarnymi zasadami azotowymi drugiej nici.

a) Podaj nazwy komplementarnych zasad azotowych mogących tworzyć pary, dzięki którym powstają dwuniciowe cząsteczki RNA wirusów.

b) Podaj nazwę wiązania umożliwiającego powstanie dwuniciowych cząsteczek RNA.

4 Wirusowe zapalenie wątroby typu C (WZW typu C) wywołuje wirus HCV, którego cząstka ma średnicę 60–70 nm. Infekcja wirusowa powoduje przewlekłe zapalenie wątroby, które może prowadzić do niewydolności tego narządu, kończącej się jego transplantacją. Rozprzestrzenianie się wirusa zachodzi przede wszystkim drogą dożylną, choć może on być przenoszony także drogą płciową oraz przez łożysko.

a) Oceń prawdziwość stwierdzeń dotyczących dróg rozprzestrzeniania się wirusa HCV. Wybierz T, jeśli podana droga jest możliwa, lub N – jeśli nie jest.

1.	Przytulenie osoby chorej.	T	N
2.	Transfuzja krwi niepoddanej badaniom przesiewowym.	T	N
3.	Spożywanie nieumytych warzyw i owoców.	T	N

b) Określ, czy wirus HCV można obserwować za pomocą mikroskopu optycznego. Odpowiedź uzasadnij, porównując zdolność rozdzielczą mikroskopu z wielkością wirusa.

5 Cykle infekcyjne różnych bakteriofagów mogą mieć charakter lityczny lub lizogeniczny.

a) Ustal kolejność etapów cyklu infekcyjnego bakteriofaga T4.

Numer etapu	Etap	Charakterystyka etapu
?	uwalnianie	W wyniku rozpadu zainfekowanej komórki bakteryjnej uwalniają się cząstki fagowe.
?	adsorpcja	Bakteriofag dzięki włóknom ogonka rozpoznaje komórkę i przylega do jej powierzchni.
?	wnikanie	Fagowy DNA zostaje wstrzyknięty do komórki bakteryjnej, a kapsyd ulega rozpadowi.
?	składanie	Zsyntetyzowane elementy faga samorzutnie składają się w kompletne wiriony.
?	replikacja	Fagowy DNA ulega replikacji.
?	transkrypcja i translacja	Zachodzi synteza RNA i białek kapsydu.

b) Określ typ cyklu infekcyjnego bakteriofaga T4. Uzasadnij swoją odpowiedź za pomocą jednego argumentu.

6 Do najczęstszych czynników zakaźnych wywołujących choroby człowieka należą wirusy i bakterie.

Spośród podanych chorób wybierz <u>dwie</u> wywoływane przez wirusy.

wściekliza, *borelioza*, *kiła*, *odra*, *gruźlica*, *tężec*

7 *Informacja 1*

„Rhizobium, ryzobia – ekologiczna grupa Gram-ujemnych, tlenowych, […] urzęsionych pałeczek o niewielkich rozmiarach [...]. […] Ryzobia współżyją z roślinami motylkowymi w mutualistycznej relacji. Powodują one powstanie brodawek na korzeniach tych roślin. Do komórek korzenia bakterie dostają się przez specjalną strukturę – nić infekcyjną. Po infekcji dzielą się intensywnie, pobudzając komórki gospodarza do szybkiego wzrostu, który prowadzi do powstania brodawek. Po dostaniu się do wnętrza komórek roślinnych przechodzą zmiany metaboliczne stając się tzw. bakteroidami i w tej formie dopiero zaczynają asymilować azot atmosferyczny.[…] Bakteria wiążąca N_2 przetwarza go w NH_3 lub aminokwas glutaminę i w tej postaci przekazuje komórkom roślinnym".

Źródło: https://pl.wikipedia.org/wiki/Rhizobium (dostęp: 12.05.2025).

Informacja 2

Dowiedziono, że ryzobia promują wzrost i jakość upraw nie tylko roślin motylkowych, lecz także roślin należących do innych grup. Przeprowadzono badanie, w którym korzenie siewek pomidora i korzenie siewek papryki zaszczepiono dwoma różnymi szczepami bakterii *Rhizobium leguminosarum*. Jedną grupę siewek pomidora zaszczepiono szczepem TPV08, a drugą grupę – szczepem PETP01. Analogicznie postąpiono z siewkami papryki. Przygotowano również próby kontrolne, w których siewki nie zostały zaszczepione *R. leguminosarum*. Po czterech tygodniach wszystkie rośliny ususzono, a następnie zważono ich pędy oraz korzenie. Wyniki ważenia przedstawiono w poniższej tabeli.

Próba	Sucha masa pędu [mg]	Sucha masa korzenia [mg]
Pomidor (kontrola)	9,0	2,3
Pomidor + TPV08	23,1	6,0
Pomidor + PETP01	26,2	5,5
Papryka (kontrola)	16,4	3,5
Papryka + TPV08	34,0	7,2
Papryka + PETP01	33,2	6,5

Źródło: P. García-Fraile, L. Carro, M. Robledo, M.-H. Ramírez-Bahena, J.-D. Flores-Félix i in., *Rhizobium Promotes Non-Legumes Growth and Quality in Several Production Steps: Towards a Biofertilization of Edible Raw Vegetables Healthy for Humans*, „PLOS One" 2012, 7(5).

a) Sformułuj problem badawczy przedstawionego badania.

b) Na podstawie danych zawartych w tabeli narysuj wykres słupkowy porównujący suchą masę korzeni pomidora i suchą masę korzeni papryki w każdej z badanych grup.

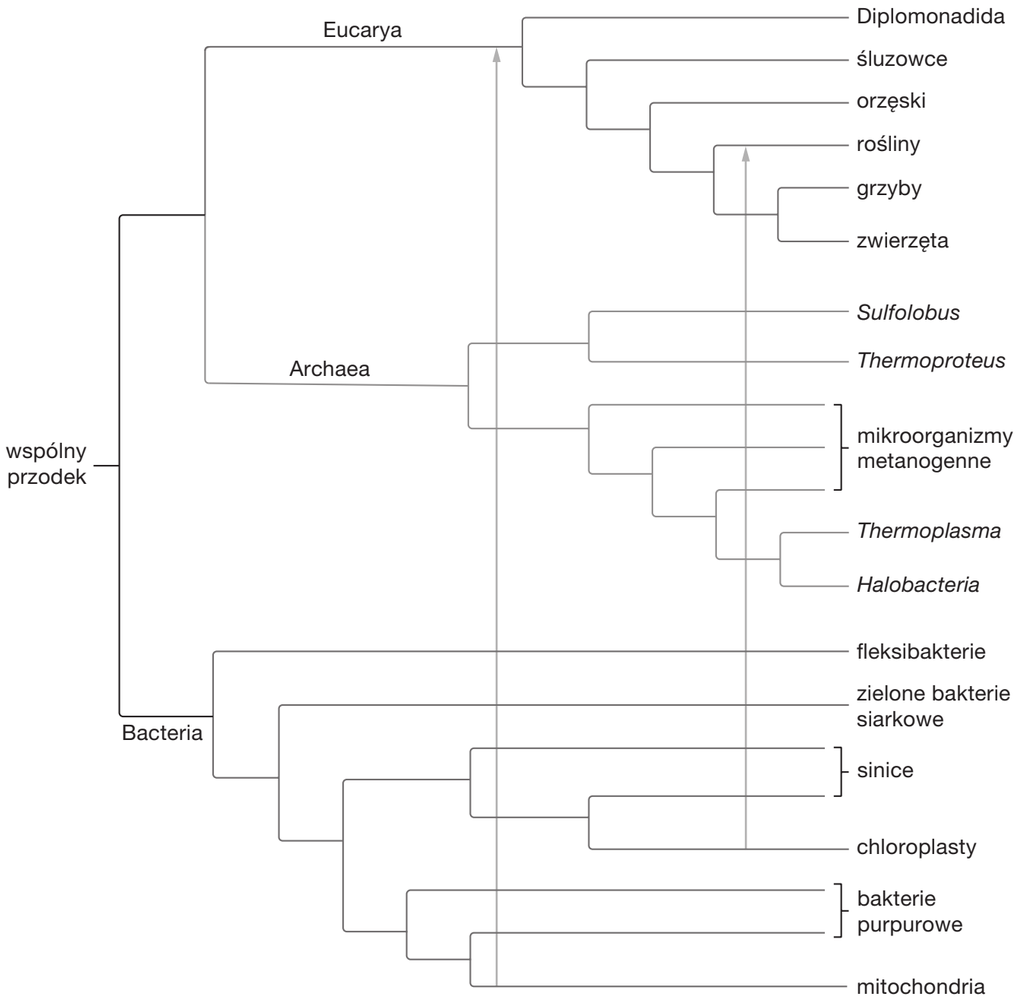
c) Sformułuj wniosek na podstawie wyników przedstawionego badania.

d) Podaj nazwy dwóch głównych grup związków organicznych, do których syntezy jest wykorzystywany azot asymilowany przez bakterie symbiotyczne.

e) Uzupełnij poniższe zdania tak, aby zawierały prawdziwe informacje. Wybierz właściwe określenia.

Bakterie Gram-ujemne, do których należą ryzobia, charakteryzuje (*gruba* / *cienka*) ściana komórkowa, zbudowana z (*kilku warstw* / *jednej warstwy*) mureiny. Na zewnątrz ściany komórkowej bakterii Gram-ujemnych (*znajduje się dodatkowa błona* / *brak dodatkowej błony*).

8 Drzewo rodowe przedstawia pokrewieństwo między niektórymi liniami ewolucyjnymi w obrębie domen: Eucarya, Archaea i Bacteria. Jasnoszare strzałki oznaczają endosymbiotyczne powiązania mitochondriów i chloroplastów z wczesnymi liniami ewolucyjnymi eukariontów.



a) Określ, czy mikroorganizmy metanogenne są grupą monofiletyczną czy parafiletyczną. Odpowiedź uzasadnij, uwzględniając informacje przedstawione w postaci drzewa rodowego.

b) Podaj dwie struktury komórkowe, które występują u wszystkich organizmów z domen Bacteria i Eucarya.

c) Na podstawie drzewa rodowego określ, jakie organizmy są najbliżej spokrewnione z chloroplastami.

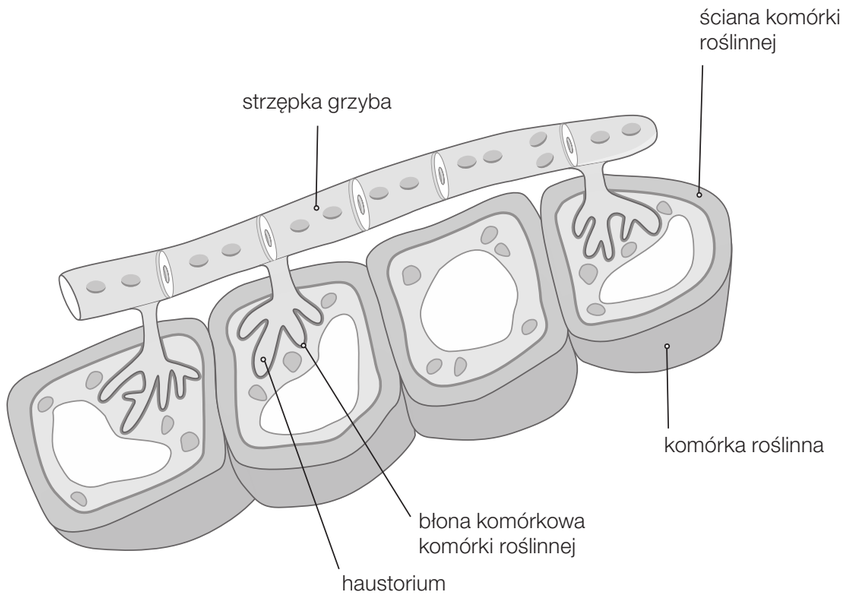
d) Podaj dwa argumenty dotyczące budowy mitochondriów przemawiające za ich endosymbiotycznym pochodzeniem.

9 Malaria jest jedną z najczęściej występujących chorób zakaźnych. Szacuje się, że rocznie umiera na nią 1–3 mln ludzi. Występuje głównie w strefach klimatycznych: okołorównikowej i zwrotnikowej.

a) Określ, kto jest żywicielem ostatecznym pasożyta powodującego malarię – człowiek czy komar widliszek.

b) Opisz, na czym polega atak malarii.

10 Schemat przedstawia strzępkę pewnego grzyba mikoryzowego.



Na podstawie: N.A. Campbell i in., *Biologia*, Poznań 2013, s. 638.

Przerysuj poniższe schematy do zeszytu. Określ kierunek transportu substancji, który zachodzi między strzępką grzyba a komórką roślinną. Narysuj w odpowiednich miejscach poprawnie skierowane strzałki.

1. węglowodany: strzępka grzyba ? komórka roślinna
2. substancje wzrostowe: strzępka grzyba ? komórka roślinna

11 Porosty są plechowcami zbudowanymi z dwóch organizmów – ze strzępek grzybów oraz z komórek organizmów fotosyntetyzujących.

a) Podaj nazwy dwóch grup organizmów fotosyntetyzujących, które wchodzą w skład plech porostów.

b) Określ, czy porosty rozmnażają się płciowo czy bezpłciowo. Uzasadnij odpowiedź, odwołując się do budowy tych organizmów.

2. Różnorodność roślin

Fot. Strelicja królewska (*Strelitzia reginae*).



2.1. Rośliny pierwotnie wodne

Ważne w tym temacie!

- cechy charakterystyczne zielenic i krasnorostów
- znaczenie zielenic oraz krasnorostów w przyrodzie i dla człowieka

Do roślin pierwotnie wodnych należą m.in. krasnorosty i zielenice, które są także zaliczane do glonów. Rośliny pierwotnie wodne występują w zbiornikach wód słodkich i słonych lub w miejscach stale wilgotnych, np. na korze drzew.

Cechy roślin pierwotnie wodnych

Rośliny pierwotnie wodne są organizmami **autotroficznymi**, które przeprowadzają **fotosyntezę oksygeniczną**. Wyróżnia się wśród nich formy jednokomórkowe, kolonijne i wielokomórkowe o budowie plechowej.

Komórki roślin pierwotnie wodnych mają typowe cechy komórek roślinnych. Ich chloroplasty zawierają **dwie błony białkowo-lipidowe** i powstały prawdopodobnie w wyniku endosymbiozy pierwotnej. Ponadto komórki roślin pierwotnie wodnych mają:



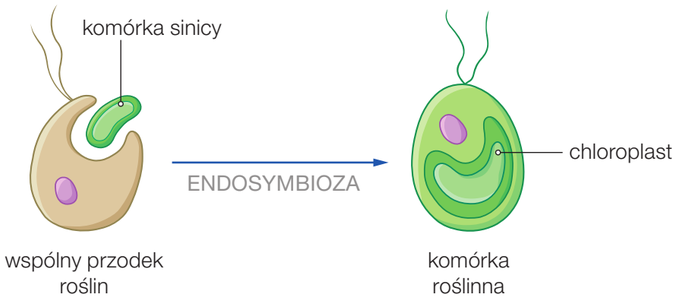
Zielenice i krasnorosty należą do sztucznej grupy organizmów – glonów. Poza roślinami pierwotnie wodnymi do glonów zalicza się także sinice (bakterie), okrzemki i brunatnice (protisty).

- ścianę komórkową zbudowaną z **celulozy**,
- duże **wakuole**,
- materiał zapasowy w postaci ziaren **skrobi**.

Przypomnij sobie

Endosymbioza pierwotna

Zgodnie z jedną z teorii endosymbiozy chloroplasty roślin powstały w wyniku fagocytozy prokariotycznych komórek sinic przez heterotroficzne komórki eukariotyczne, będące przodkami roślin. Wchłonięte komórki weszły w symbiozę z komórką gospodarza, a następnie – w toku ewolucji – przekształciły się w chloroplasty.



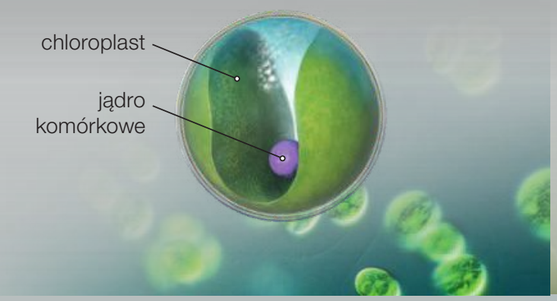
Formy morfologiczne roślin pierwotnie wodnych

Wśród roślin pierwotnie wodnych wyróżnia się formy jednokomórkowe, kolonijne i wielokomórkowe o budowie plechowej.

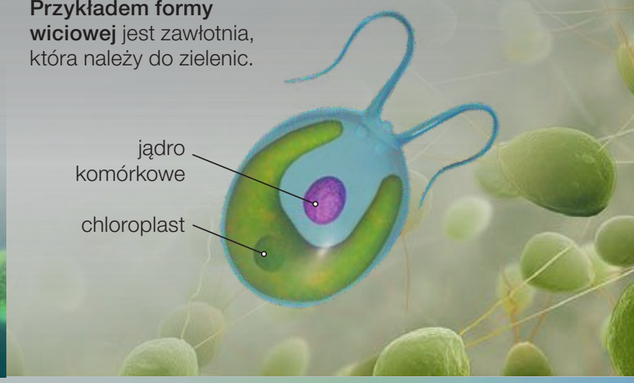
Formy jednokomórkowe

Do form jednokomórkowych zalicza się nieruchliwe formy kokoidalne oraz ruchliwe formy wiciowe.

Przykładem formy kokoidalnej jest chlorella, która należy do zielenic.



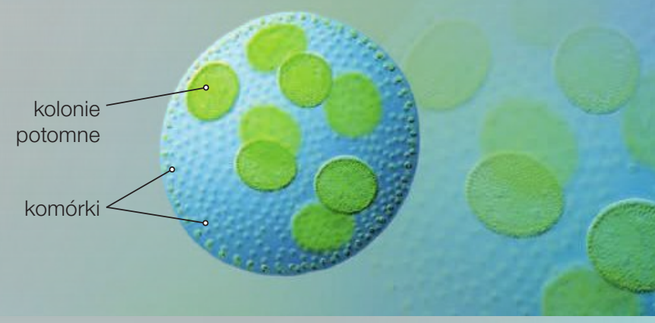
Przykładem formy wiciowej jest zawłotnia, która należy do zielenic.



Formy kolonijne

Kolonie roślin pierwotnie wodnych są zbudowane z organizmów jednokomórkowych połączonych ze sobą np. galaretowatą otoczką lub zrośniętymi ścianami komórkowymi.

Przykładem formy kolonijnej jest toczek, który należy do zielenic.



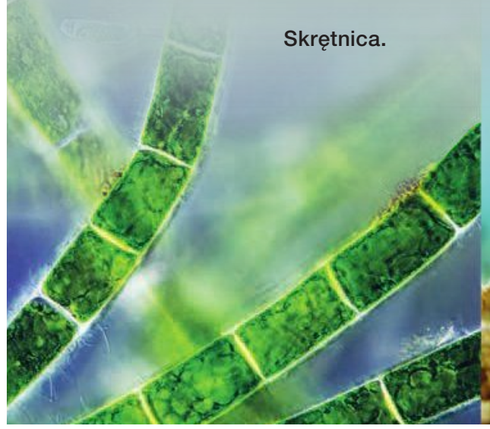
Formy plechowe

Wśród plech wyróżnia się plechy nitkowate, komórczakowe i nibytkankowe.

Plecha nitkowata jest zbudowana z luźnych nici, które składają się z wielu komórek. Taka plecha występuje np. u skrętnicy należącej do zielenic.

Plecha komórczakowa jest zwykle zbudowana z licznych wielojądrowych komórek i może być zróżnicowana na części: łodygokształtną, liściokształtną i chwytniki. Plecha komórczakowa występuje np. u pełzatek należących do zielenic.

Plecha nibytkankowa jest zbudowana z nibytkanki. Tworzą ją wielokomórkowe nici, sklejone ze sobą za pomocą ścian komórkowych. Taka plecha występuje np. u krasnorostów z rodzaju *Asparagopsis*.



Skrętnica.



Pełzatki.



***Asparagopsis*.**

Porównanie zielenic i krasnorostów

Cecha	Zielenice	Krasnorosty
Występowanie	głównie środowisko wodne, rzadziej lądowe	środowisko wodne – głównie wody słone
Formy morfologiczne	jednokomórkowe, kolonijne, wielokomórkowe plechowe	wielokomórkowe plechowe
Zdolność ruchu	formy osiadłe, aktywnie pływające za pomocą wici lub biernie unoszące się w wodzie	zwykle formy osiadłe, przytwierdzone do podłoża za pomocą chwytników
Barwniki fotosyntetyczne	chlorofile *a* i *b*, pomarańczowe i żółte karotenoidy	chlorofile *a* i *d*, pomarańczowe i żółte karotenoidy, niebieskie i czerwone fikobiliny

Zielenice

Zielenice zasiedlają głównie środowiska wodne, ale występują też na lądzie, m.in. na korze drzew. Ponadto liczne zielenice wchodzą w związki symbiotyczne z różnymi gatunkami grzybów, współtworząc **porosty**. Do zielenic należą formy jednokomórkowe, kolonijne oraz wielokomórkowe. W chloroplastach tych roślin występują **chlorofile *a* i *b***, charakterystyczne dla roślin lądowych, a także karotenoidy – pomarańczowe **karoteny** i żółte **ksantofile**. Komórki zielenic są otoczone **celulozową ścianą komórkową** i zawierają typowy dla roślin materiał zapasowy – skrobię.

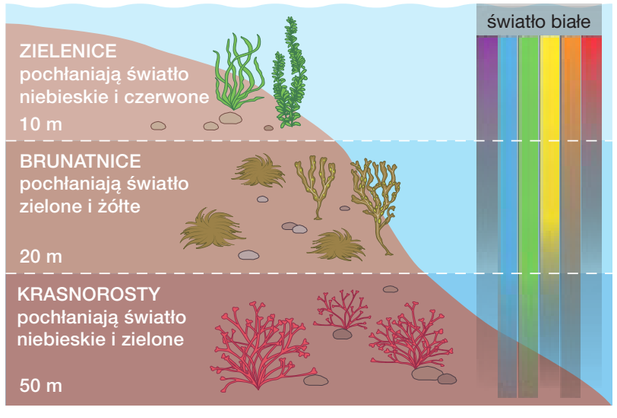
Krasnorosty

Krasnorosty, z wyjątkiem nielicznych gatunków słodkowodnych, zasiedlają przybrzeżne strefy ciepłych wód morskich. Zazwyczaj mają wielokomórkowe plechy nibytkankowe, które są podzielone na część łodygokształtną, część liściokształtną i chwytniki. Części te nie są organami, ponieważ ich budowa wewnętrzna jest inna niż budowa organów pozostałych grup roślin. W chloroplastach krasnorostów oprócz **chlorofili *a*** i ***d*** oraz karotenoidów występują także charakterystyczne dla sinic **fikobiliny** – niebieska **fikocyjanina** i czerwona **fikoerytryna**.

Dowiedz się więcej

Rozmieszczenie zielenic, krasnorostów i brunatnic w zbiornikach wodnych

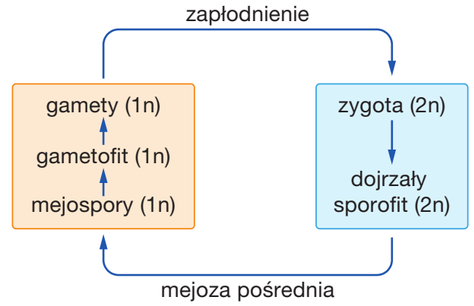
Wraz z głębokością zmniejsza się ilość światła docierającego do dna zbiornika wodnego. Z tego względu zielenice, krasnorosty i brunatnice występują na dnie zbiornika wodnego na różnych głębokościach. Wynika to z faktu, że chloroplasty tych organizmów zawierają różne barwniki fotosyntetyczne, które pochłaniają światło o innych długościach fali.



Dowiedz się więcej

Rozmnażanie się roślin pierwotnie wodnych

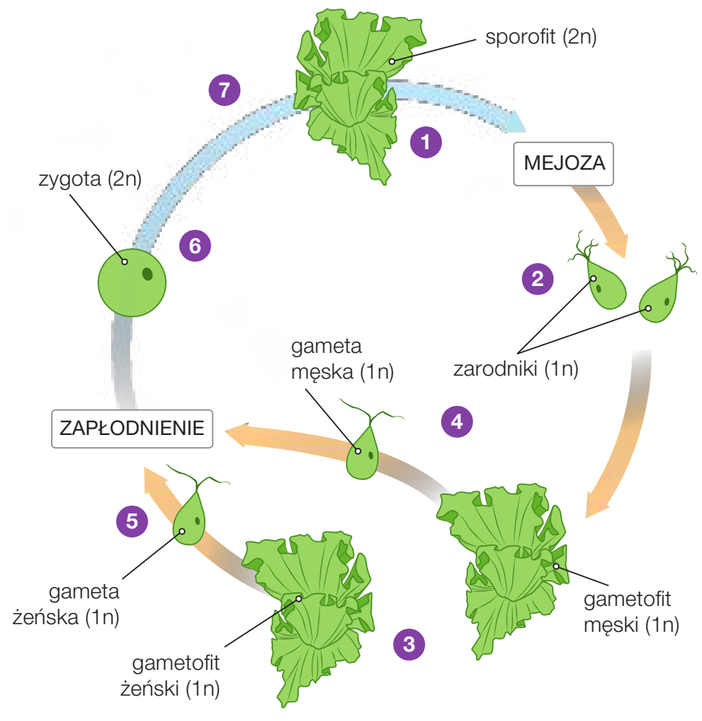
Większość roślin pierwotnie wodnych cechuje przemiana faz jądrowych połączona z przemianą pokoleń (→ s. 41). Zjawisko to polega na regularnym następowaniu po sobie pokolenia rozmnażającego się za pomocą gamet – **gametofitu** (1n) – oraz pokolenia rozmnażającego się za pomocą zarodników – **sporofitu** (2n). Zarodniki roślin pierwotnie wodnych są mejosporami – powstają w wyniku podziałów mejotycznych komórek macierzystych zarodników. Mejospory kiełkują w haploidalne gametofity. Mejoza, która prowadzi do powstania zarodników, jest nazywana **mejozą pośrednią** (→ s. 40).



Przemiana faz jądrowych u roślin pierwotnie wodnych.

Cykl rozwojowy ulwy sałatowej

Ulwa sałatowa należy do plechowych zielenic. Jej cykl rozwojowy charakteryzuje się izomorficzną przemianą pokoleń, w której gametofit i sporofit są do siebie podobne pod względem budowy, kształtu, rozmiaru i długości życia.



1. Diploidalna plecha sporofitu wytwarza zarodnie, w których zachodzi podział mejotyczny komórek macierzystych zarodników.
2. W wyniku mejozy powstają haploidalne zarodniki, które są zaopatrzone w wici (zoospory).
3. Zarodniki kiełkują w haploidalne gametofity.
4. Gametofit męski wytwarza jednokomórkowe plemnie, w których powstają małe, opatrzone wiciami gamety męskie – plemniki.
5. Gametofit żeński wytwarza jednokomórkowe lęgnie, w których powstają małe, opatrzone wiciami gamety żeńskie.
6. Zachodzi zapłodnienie gamety żeńskiej gametą męską na drodze izogamii. W wyniku zapłodnienia powstaje diploidalna zygota.
7. W rezultacie podziałów mitotycznych zygoty tworzy się diploidalny sporofit.

Znaczenie roślin pierwotnie wodnych w przyrodzie i dla człowieka

Źródło pokarmu i tlenu

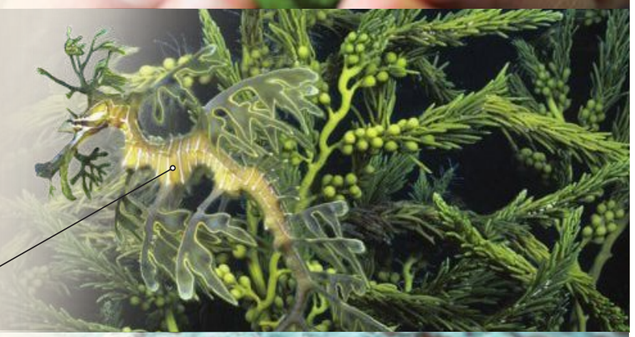
Rośliny pierwotnie wodne są pokarmem wielu zwierząt, m.in. ryb, a w niektórych krajach – także człowieka. Ponadto rośliny te uwalniają wytworzony podczas fotosyntezy tlen, który jest wykorzystywany przez organizmy oddychające tlenowo.



pełzatka, zwana zielonym kawiorem

Tworzenie siedlisk

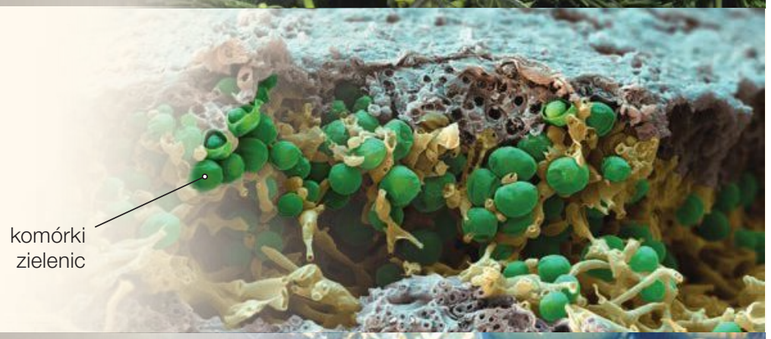
Plechy zielenic i krasnorostów porastające dno zbiorników wodnych tworzą siedliska dla zwierząt, m.in. dla ryb. Niektóre ryby, np. pławikonik australijski, upodabniają się wyglądem do plech roślin, chroniąc się w ten sposób przed atakiem drapieżników.



pławikonik australijski

Symbioza z grzybami

Liczne zielenice wchodzą w związki symbiotyczne z różnymi gatunkami grzybów, współtworząc porosty.



komórki zielenic

Źródło cennych substancji

Niektóre gatunki krasnorostów są źródłem substancji o właściwościach żelujących (karagenu i agaru), wykorzystywanych m.in. w przemyśle kosmetycznym, farmaceutycznym oraz spożywczym. Agar jest stosowany także w mikrobiologii jako składnik podłoża przeznaczonego do hodowli bakterii.



Polecenia kontrolne

1. Podaj trzy argumenty przemawiające za przynależnością zielenic i krasnorostów do królestwa roślin.
2. Podaj trzy cechy wspólne roślin pierwotnie wodnych i protistów roślinopodobnych.
3. Wykaż za pomocą jednego argumentu, że występujące u niektórych gatunków roślin pierwotnie wodnych część łodygokształtna, część liściokształtna i chwytniki nie są organami.

2.2. Cechy roślin lądowych

Ważne w tym temacie!

- różnice między warunkami życia w wodzie a warunkami życia na lądzie
- cechy budowy roślin, które umożliwiły im zasiedlenie środowisk lądowych

Rośliny lądowe to autotroficzne organizmy tkankowe, których ciało jest zwykle zróżnicowane na organy. Ze względu na doskonałe przystosowanie się do środowiska lądowego są one obecnie dominującą grupą roślin na Ziemi. Do współcześnie żyjących roślin lądowych zalicza się **mszaki**, **paprotniki**, **rośliny nagonasienne** oraz **rośliny okrytonasienne**.

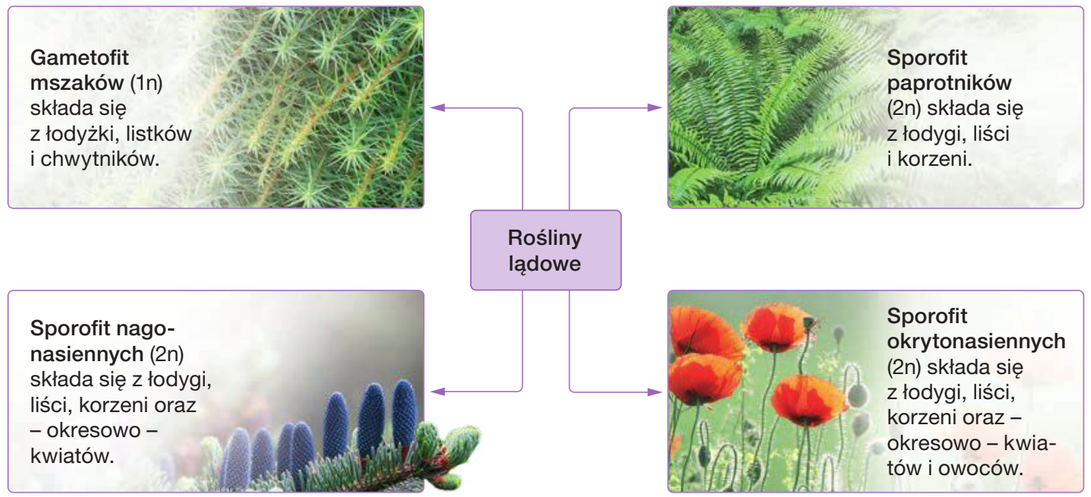
Niektóre rośliny lądowe w toku ewolucji na nowo zasiedliły zbiorniki wodne, dlatego określa się je mianem **roślin wtórnie wodnych**.

Cechy roślin lądowych i wtórnie wodnych

Do najważniejszych cech roślin lądowych i wtórnie wodnych należą:

- występowanie **chlorofili *a*** i ***b*** jako głównych barwników fotosyntetycznych,
- obecność **skrobi** jako materiału zapasowego,
- obecność ścian komórkowych zbudowanych przede wszystkim z **celulozy**.

Ponadto cykl rozwojowy roślin lądowych, podobnie jak cykl roślin pierwotnie wodnych, charakteryzuje się **przemianą pokoleń** – gametofitu (1n) rozmnażającego się za pomocą gamet oraz sporofitu (2n) rozmnażającego się za pomocą zarodników (mejospor). U wszystkich współczesnych roślin lądowych występuje **heteromorficzna przemiana pokoleń**, w której gametofit znacznie różni się od sporofitu. Można przy tym dostrzec wyraźną tendencję do redukcji gametofitu – tylko u mszaków jest on pokoleniem dominującym. U pozostałych grup roślin w przemianie pokoleń dominuje sporofit. Sporofit jest zbudowany z **organów**, czyli części odpowiedzialnych za pełnienie określonych funkcji. **Organy wegetatywne** – korzenie, łodygi i liście – zapewniają roślinie wzrost i rozwój. Natomiast **organy generatywne** – kwiaty – odpowiadają za rozmnażanie. Rośliny o sporoficie zróżnicowanym na organy noszą nazwę organowców.

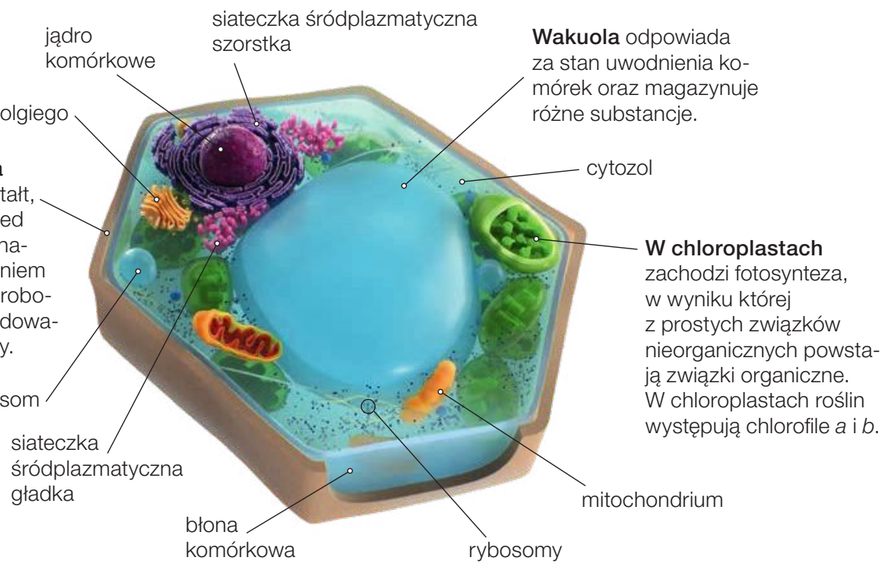


Grupy roślin lądowych.

Przypomnij sobie

Budowa komórek roślin

Komórki roślin lądowych mają ścianę komórkową zbudowaną głównie z **celulozy**. W ich wnętrzu występują duże, centralnie położone wakuole oraz owalne plastydy otoczone dwiema błonami. Podstawowym materiałem zapasowym komórek roślinnych jest skrobia.



Ląd a woda

Warunki życia na lądzie znacznie różnią się od warunków, które panują w wodzie. Najważniejszymi cechami środowiska lądowego są:

- duża dostępność światła,
- ograniczona dostępność wody,
- mała gęstość powietrza oraz silne oddziaływania mechaniczne w postaci wiatru,
- duże wahania dobowe i sezonowe temperatury.

Cechy roślin lądowych, które umożliwiły im opanowanie lądu

Opanowanie lądu przez rośliny wiązało się z korzyścią w postaci nieograniczonego dostępu do światła. Wymagało jednak przystosowania się do lądowego trybu życia. Większość roślin wykształciła **tkanki** niespotykane u organizmów pierwotnie wodnych: **okrywające**, **wzmacniające** i **przewodzące**. Zespoły różnych tkanek utworzyły funkcjonalne układy tkankowe, m.in. układ przewodzący. Rośliny, które wykształciły układ przewodzący z wyspecjalizowaną tkanką przewodzącą wodę – **drewnem**, tworzą grupę **roślin naczyniowych**. Należą do niej paprotniki, rośliny nagonasienne i rośliny okrytonasienne.

Poza tym u roślin lądowych wyodrębniły się **organy wegetatywne** sporofitu: **korzenie**, **łodygi** i **liście** (→ s. 79).

W związku z opanowaniem środowiska lądowego zmienił się także proces rozmnażania. Zapłodnienie u mszaków i paprotników odbywa się w obecności wody, jednak ich zarodniki zyskały **charakter przetrwalnikowy** i dzięki zawartości w ścianach substancji lipidowej (sporopoleniny) stały się odporne na wysuszenie. Rośliny nagonasienne i okrytonasienne wytworzyły **organy generatywne – kwiaty** – i uniezależniły proces zapłodnienia od wody (→ s. 79).

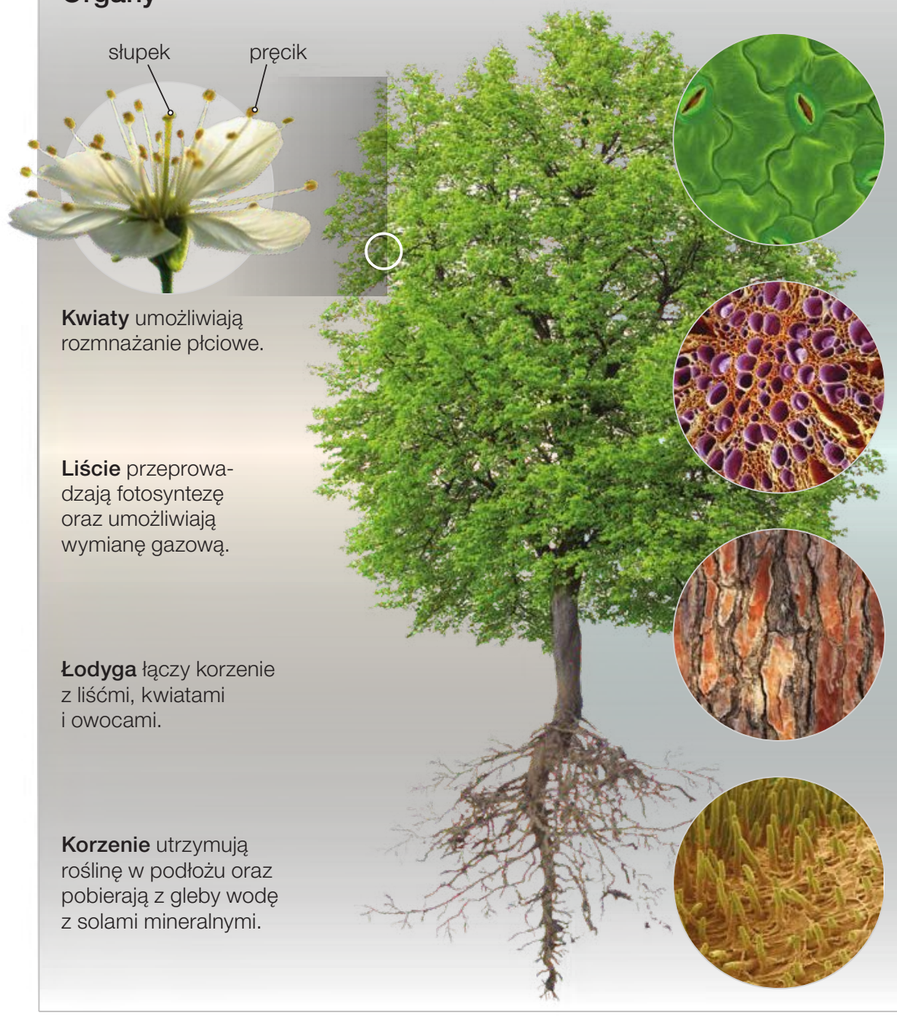
Porównanie środowiska wodnego ze środowiskiem lądowym

Czynniki środowiska	Środowisko	
	wodne	lądowe
Dostępność światła	mała	duża
Dostępność wody	nieograniczona	ograniczona
Gęstość	duża (ok. 1 g/cm^3)	mała (ok. 0,0012 g/cm^3)
Wahania temperatury (dobowe i sezonowe)	z reguły niewielkie	bardzo duże

Przykłady przystosowań roślin do środowiska lądowego

Dominującą grupą roślin lądowych są rośliny okrytonasienne, do których należą m.in. drzewa liściaste.

Organy



Tkanki

Formy ekologiczne roślin

Rośliny zasiedliły właściwie wszystkie środowiska dostępne organizmom fotosynetyzującym. Występują w zbiornikach wód słodkich i słonych, na terenach o wysokiej i niskiej wilgotności, a nawet w miejscach tak suchych jak pustynie. W zależności od dostępności wody w środowisku wyróżnia się cztery główne formy ekologiczne roślin: hydrofity, higrofity, mezofity i kserofity.

Hydrofity

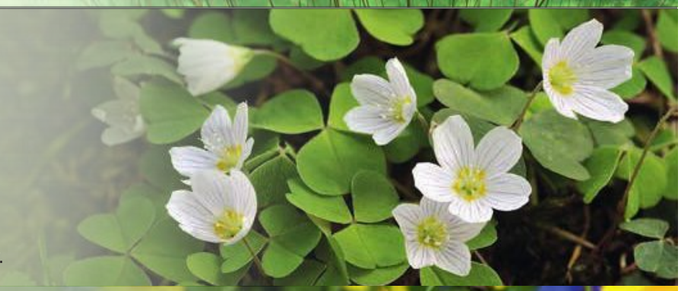
Są to rośliny wodne. Zwykle pobierają wodę całą powierzchnią ciała, dlatego wiele gatunków nie wytwarza korzeni. Mają cienkie i elastyczne łodygi, które nie stawiają oporu prądom wody, oraz delikatne blaszki liściowe. Tkanki przewodzące i tkanki wzmacniające są u nich słabo wykształcone.



Grzybienie białe.

Higrofity

Są to rośliny stanowisk wilgotnych, niezdolne do przetrwania okresów suszy. Mają słabo rozwinięty system korzeniowy, delikatne łodygi oraz duże i cienkie blaszki liściowe, przystosowane do intensywnej transpiracji.



Szczawik zajęczy.

Mezofity

Są to rośliny stanowisk umiarkowanie wilgotnych, zdolne do przetrwania krótkotrwałych okresów suszy. Mają silnie rozwinięty system korzeniowy oraz dobrze wykształcone tkanki: przewodzące, wzmacniające i okrywające.



Złocień polny.

Kserofity

Są to rośliny stanowisk suchych, odporne na suszę wywołaną nie tylko brakiem wody, lecz także niską temperaturą i dużym zasoleniem, które utrudnia pobieranie wody z podłoża. Do kserofitów należą **sukulenty**, które magazynują wodę, oraz **sklerofity**, które wydajnie ograniczają transpirację.



Agawa.

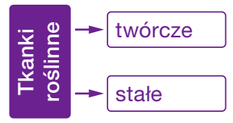
Polecenia kontrolne

1. Podaj trzy cechy świadczące o bliskim pokrewieństwie roślin lądowych i zielenic.
2. Porównaj warunki życia organizmów w środowisku wodnym i w środowisku lądowym.
3. Wyjaśnij, w jaki sposób wykształcenie przez rośliny lądowe tkanek: okrywającej, przewodzącej i wzmacniającej umożliwiło im opanowanie środowiska lądowego.

2.3. Tkanki roślinne

Ważne w tym temacie!

- rodzaje tkanek roślinnych
- związek między budową a funkcją tkanek roślinnych



Tkanki to zespoły komórek o wspólnym pochodzeniu i podobnej budowie, które pełnią w organizmie określone funkcje.

Rodzaje tkanek roślinnych

Tkanki roślinne można podzielić ze względu na różne kryteria. Biorąc pod uwagę zdolność komórek do podziału, wyróżnia się **tkanki twórcze** oraz **tkanki stałe**.

Tkanki twórcze są zbudowane z komórek, które intensywnie się dzielą. Dzięki tym podziałom roślina może m.in. wzrastać na długość i przyrastać na grubość. Komórki tkanek stałych nie mają zwykle zdolności do podziału, są za to wyspecjalizowane w pełnieniu określonych funkcji. Specjalizacja polega m.in. na zmianie kształtów komórek, a także na redukcji niektórych organelli lub całych protoplastów (części komórki ograniczonej błoną komórkową).

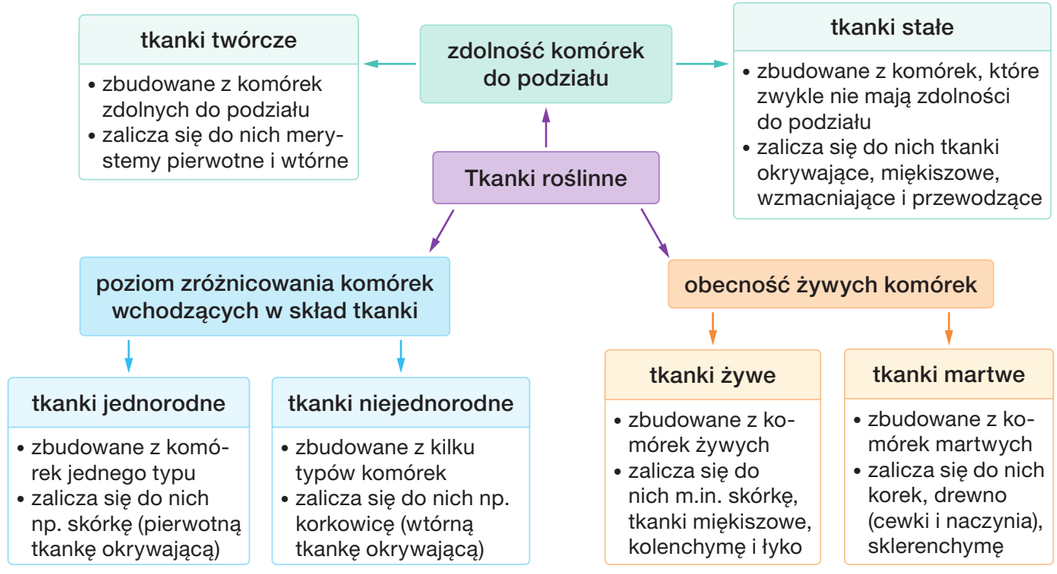
Do tkanek stałych należą: tkanki okrywające, tkanki miękiszowe, tkanki wzmacniające i tkanki przewodzące.

Tkanki roślinne można również podzielić na **żywe** i **martwe**. Tkanki żywe składają się z komórek zawierających protoplasty oraz celulozowo-pektynową ścianę komórkową. Tkanki martwe składają się z komórek, które w wyniku specjalizacji utraciły protoplasty. Oznacza to, że mają one jedynie ścianę komórkową, która oprócz celulozy i pektyn (mieszaniny węglowodanów) zawiera też inne substancje, głównie ligninę lub suberynę.

Ze względu na poziom zróżnicowania komórek wchodzących w skład tkanki wyróżnia się **tkanki jednorodne** i **tkanki niejednorodne**.

Tkanki jednorodne są zbudowane z komórek jednego typu, a tkanki niejednorodne – z kilku typów komórek.

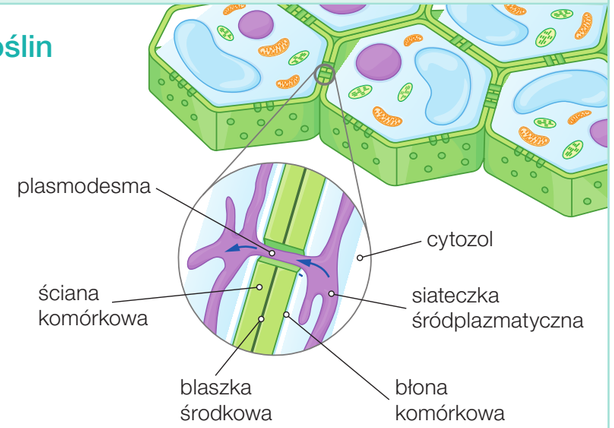
Podział tkanek roślinnych



Przypomnij sobie

Połączenia międzykomórkowe u roślin

Tkanki roślinne tworzą spójną całość dzięki temu, że sąsiadujące komórki są połączone ze sobą **blaszką środkową** – warstwą zbudowaną z pektyn, która znajduje się między ścianami komórkowymi.
Kontakt między komórkami w obrębie tkanki jest możliwy dzięki obecności **plasmodesm** – pasm cytoplazmy, które przenikają z komórki do komórki przez jamki w ścianach komórkowych.



Tkanki twórcze

Tkanki twórcze, zwane również **tkankami merystematycznymi** lub **merystemami**, są zbudowane z żywych komórek. Komórki te:

- są otoczone cienkimi pierwotnymi ścianami komórkowymi,
- mają duże jądra komórkowe,
- zawierają kilka małych wakuol,
- regularnie się dzielą.

W wyniku podziałów komórek tkanek twórczych powstają komórki potomne, które mogą ulegać specjalizacji i tworzyć tkanki stałe. W ten sposób wzrastają organy już istniejące lub tworzą się nowe organy. Wzrost organów może trwać przez całe życie rośliny (wzrost nieograniczony), np. wzrost korzeni oraz łodyg na długość i grubość, lub trwać do momentu, w którym dany organ osiągnie odpowiednią wielkość (wzrost ograniczony), np. wzrost liści, kwiatów i owoców.

Merystemy pierwotne

Merystemy pierwotne wykazują aktywność już od stadium zarodkowego rośliny. Należą do nich m.in. **merystemy wierzchołkowe** – stożki wzrostu zlokalizowane na szczytach łodyg oraz korzeni. Wynikiem działania stożków wzrostu jest wydłużanie się łodyg i korzeni, a także ich pierwotny przyrost na grubość. W konsekwencji tych procesów organy uzyskują pierwotną budowę anatomiczną (→s. 93, 102).

U niektórych gatunków roślin wzrost łodyg zapewniają **merystemy wstawowe** (interkalarne). Są one rozmieszczone wzdłuż łodygi u podstaw międzywęźli, nad nasadami liści (→s. 101). Wzrost łodyg dzięki merystemom wstawowym jest szybszy niż wzrost łodyg dzięki stożkom wzrostu, ponieważ zachodzi on jednocześnie w wielu miejscach organu. Ponadto wzrost ten nie jest ograniczany nawet wówczas, gdy szczytowe części rośliny są zgryzane przez roślinożerców.

Merystemy wtórne

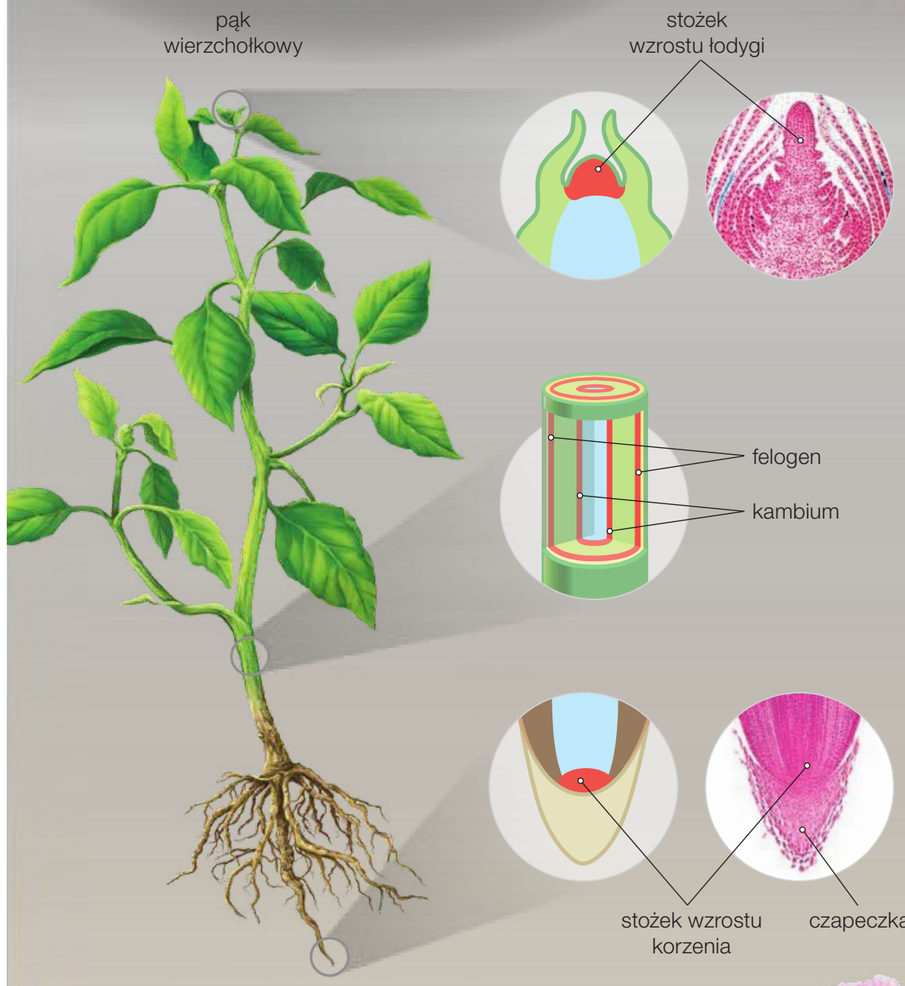
Merystemy wtórne powstają z tkanek stałych, które odzyskują zdolność do podziału. Do merystemów wtórnych należą m.in.:

- **merystemy boczne – miazga** (kambium) i **miazga korkotwórcza** (felogen). Kambium wytwarza nowe komórki tkanki przewodzącej, co powoduje wtórny przyrost łodyg i korzeni na grubość. Z kolei felogen wytwarza elementy wtórnej tkanki okrywającej – korkowicy. W wyniku działania merystemów bocznych korzenie i łodygi uzyskują **wtórną budowę anatomiczną** (→s. 93, 103);
- **tkanka przyranna** (kalus) – występuje w miejscach uszkodzenia rośliny i uczestniczy w zasklepianiu uszkodzonych tkanek;
- **tkanka zarodnikotwórcza** (archesporialna) – występuje w zarodniach, gdzie uczestniczy w wytwarzaniu zarodników.

Wzrost roślin – merystemy pierwotne i wtórne

Wzrost roślin zachodzi w wyniku działania merystemów pierwotnych (stożków wzrostu i merystemów wstawowych) i merystemów wtórnych (kambium i felogenu).

Komórki tkanki twórczej (obraz spod mikroskopu optycznego).



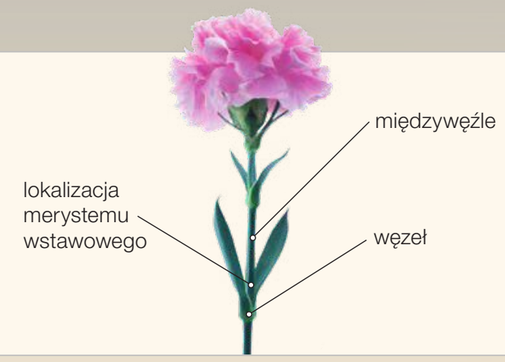
Stożek wzrostu łodygi jest zwykle osłonięty zawiązkami liści i tworzy razem z nimi pąk wierzchołkowy. Wynikiem działania tego merystemu jest wzrost łodygi na długość i w niewielkim stopniu na grubość.

Kambium i felogen są merystemami bocznymi, które występują na obwodzie łodygi i korzenia. Kambium powoduje wtórny przyrost obu organów na grubość. Z kolei felogen wytwarza składniki wtórnej tkanki okrywającej – korkowicy.

Stożek wzrostu korzenia jest okryty ochronną czapeczką, zbudowaną z tkanki miękiszowej. Dzięki temu merystemowi korzeń rośnie na długość i w niewielkim stopniu na grubość.

Merystemy wstawowe

Merystemy wstawowe występują zazwyczaj u tych gatunków roślin, które na szczycie łodygi szybko wytwarzają kwiaty, np. u goździków i traw. Merystemy te są rozmieszczone wzdłuż łodygi, u podstawy międzywęźli. Umożliwiają bardzo szybki wzrost pędu na długość.



Tkanki okrywające

Tkanki okrywające występują na powierzchni wszystkich organów roślinnych. Izolują wnętrze rośliny od środowiska zewnętrznego, a także pełnią funkcję ochronną – zabezpieczają roślinę przed zmianami składu chemicznego, uszkodzeniami mechanicznymi oraz wnikaniem drobnoustrojów chorobotwórczych. Jednocześnie tkanki te umożliwiają wymianę substancji między rośliną a środowiskiem zewnętrznym.

Do tkanek okrywających należą:

- **skórka** – pierwotna tkanka okrywająca; skórka jest tkanką żywą, która okrywa organy o budowie pierwotnej. Skórka pędu, czyli łodygi, liści i organów generatywnych, nosi nazwę **epidermy**. Natomiast skórka korzenia to **ryzoderma**;
- **korkowica** – wtórna tkanka okrywająca; korkowica jest tkanką niejednorodną, zbudowaną częściowo z martwych komórek. Okrywa organy o budowie wtórnej.

Epiderma

U większości roślin epiderma jest zbudowana z jednej warstwy żywych, ściśle przylegających do siebie komórek. Do jej głównych funkcji należą ochrona rośliny przed niekorzystnym wpływem środowiska oraz umożliwienie kontrolowanej transpiracji i wymiany gazowej między wnętrzem rośliny a środowiskiem zewnętrznym. Epiderma większości roślin lądowych nie ma chloroplastów, nie pełni więc funkcji asymilacyjnej. Jej komórki są przezroczyste, co pozwala na przenikanie światła do głębiej położonego miękiszu asymilacyjnego.

Ryzoderma

Ryzoderma jest zbudowana z jednej warstwy żywych, ściśle przylegających do siebie komórek. Do jej głównych funkcji należą ochrona wewnętrznych tkanek korzenia oraz pobieranie wody i soli mineralnych z roztworu glebowego. Charakterystyczną cechą ryzodermy jest obecność włośników.

Skórka – pierwotna tkanka okrywająca

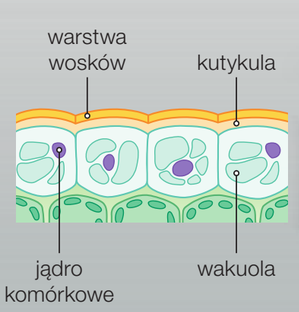
Skórka jest tkanką żywą, która okrywa organy o budowie pierwotnej.

Epiderma

Epiderma okrywa pędy roślin. Jej powierzchnię powleka nieprzepuszczalna dla wody i gazów warstwa – **kutykula**. Z kolei **aparaty szparkowe** umożliwiają kontrolowaną transpirację oraz wymianę tlenu i dwutlenku węgla między wnętrzem rośliny a środowiskiem zewnętrznym.

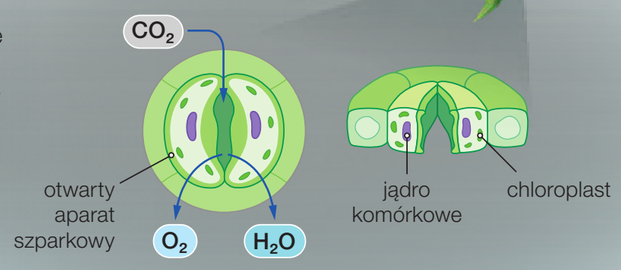
Budowa epidermy

- Epiderma większości roślin lądowych **nie ma chloroplastów**. Jej komórki są przezroczyste, co pozwala na przenikanie światła do głębiej położonych tkanek.
- U niektórych gatunków roślin epiderma jest pokryta **warstwą wosków**. Odbijają one światło słoneczne, zabezpieczając tym samym roślinę przed przegrzaniem i nadmierną transpiracją.
- Zewnętrzne ściany komórek epidermy są zwykle grubsze i powleczone warstwą kutyny – hydrofobowej substancji. Warstwa ta, zwana **kutykulą**, chroni roślinę przed nadmiernym wyparowywaniem wody, wnikaniem drobnoustrojów chorobotwórczych i urazami mechanicznymi.



Budowa aparatu szparkowego

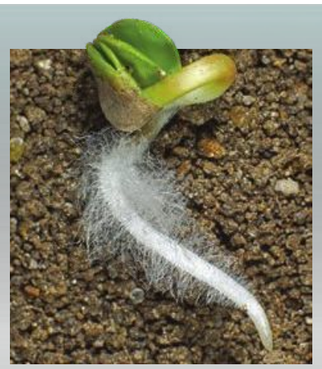
- **Aparaty szparkowe** są zwykle zbudowane z dwóch komórek szparkowych, rozdzielonych otworem – szparką. Szparki mogą się otwierać lub zamykać, regulując w ten sposób transpirację oraz wymianę tlenu i dwutlenku węgla.
- Przez **aparaty szparkowe** zachodzi wymiana gazowa między wnętrzem rośliny a środowiskiem zewnętrznym.





Ryzoderma

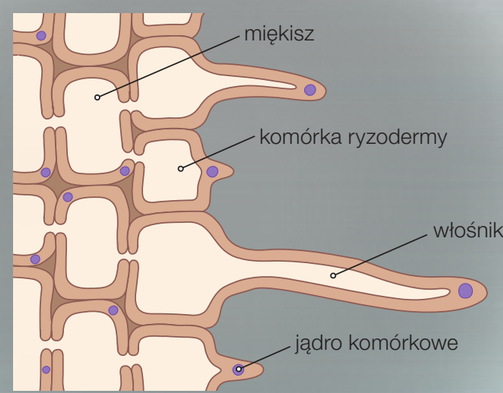
Ryzderma okrywa korzenie roślin. Jej komórki wytwarzają **włośniki**, które zwiększają powierzchnię chłonną korzenia, dzięki czemu zwiększają też wydajność pobierania wody przez roślinę.



Włośniki korzenia siewki rzodkiewki.

Budowa ryzodermy

- **Celulozowo-pektynowe ściany komórkowe** komórek ryzodermy są bardzo cienkie i nie mają na powierzchni warstwy kutykuli. Taka budowa ułatwia wchłanianie wody z solami mineralnymi.
- Komórki ryzodermy zawierają **duże wakuole**, ale nie mają chloroplasów.
- Komórki ryzodermy wytwarzają włośniki – długie **wyrostki**, które wielokrotnie zwiększają powierzchnię chłonną korzenia.



Wytwory epidermy

U większości gatunków roślin skórka wytwarza różne struktury na powierzchni, m.in. włoski lub kolce. Do wytworów epidermy należą również aparaty szparkowe.



Żywe włoski czepne występują m.in. na powierzchni pędów chmielu. Są one zaopatrzone w haczyki, które umożliwiają owijanie się pędów rośliny wokół podpory.



Kolce występują m.in. na powierzchni pędów róży. Są one żywymi i sztywnymi wytworami epidermy oraz miękiszu. Kolce chronią roślinę przed roślinożercami.



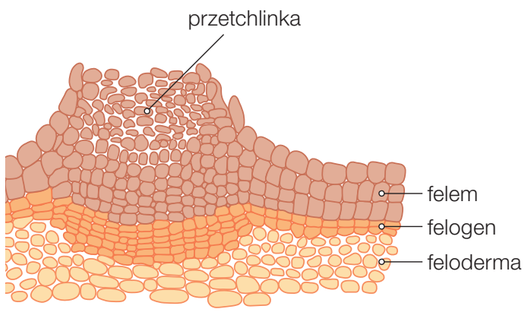
Martwe włoski kutnerowate znajdują się m.in. na powierzchni pędów dziewanny. Chronią one roślinę przed nadmiernym wyparowywaniem wody oraz gwałtownymi zmianami temperatury. Warstwa włosków kutnerowatych nosi nazwę kutneru.



Żywe włoski parzące znajdują się na powierzchni pędów pokrzywy. Ich funkcją jest ochrona rośliny przed roślinożercami. Główki włosków podczas dotknięcia się odłamują, a ostra krawędź przebija skórę zwierzęcia i wprowadza do niej parzącą wydzielinę.

Korkowica

U roślin wieloletnich skórkę zastępuje wtórna tkanka okrywająca – korkowica (peryderma). Jest ona tkanką niejednorodną, zbudowaną z **miazgi korkotwórczej** (felogenu), **miękiszu** (felodermy) i **korka** (felemu). Felogen to tkanka merystematyczna, która wytwarza dwa pozostałe składniki korkowicy. Miękisz powstaje po wewnętrznej stronie warstwy felogenu, a korek – po zewnętrznej. Korek jest zbudowany z martwych, ściśle przylegających do siebie komórek. Ściany komórkowe komórek korka są powleczone substancją lipidową – **suberyną** – dlatego nie przepuszczają wody i powietrza. Główną funkcją korka jest ochrona wnętrza organu przed utratą wody, uszkodzeniami mechanicznymi oraz wpływem zbyt wysokiej lub zbyt niskiej temperatury. Wymiana gazowa między wnętrzem organu a środowiskiem zewnętrznym jest możliwa dzięki obecności w korku **przetchlinek** – miejsc, w których między luźno ułożonymi komórkami występują obszerne przestwory międzykomórkowe.



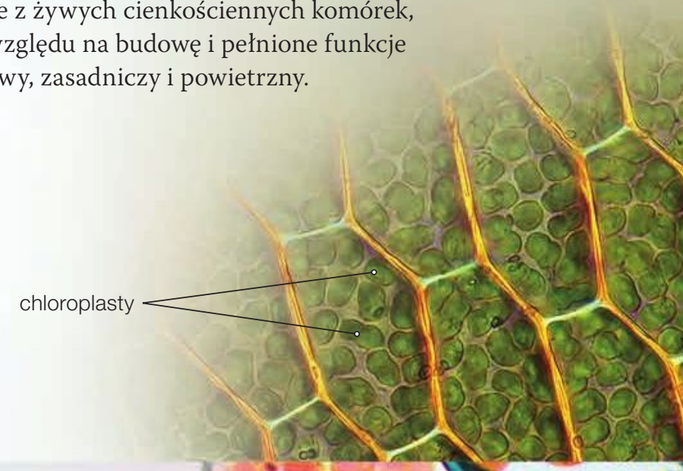
Budowa korkowicy.

Tkanki miękiszowe

Tkanki miękiszowe znajdują się we wszystkich organach rośliny i zazwyczaj stanowią ich główną część. Mimo że należą do tkanek stałych, ich komórki zachowują zwykle zdolność podziałową i często dają początek merystemom wtórnym. Tkanki miękiszowe są zbudowane z żywych cienkościennych komórek, zawierających duże wakuole. Tkanki te ze względu na budowę i pełnione funkcje dzieli się na miękisz: asymilacyjny, spichrzowy, zasadniczy i powietrzny.

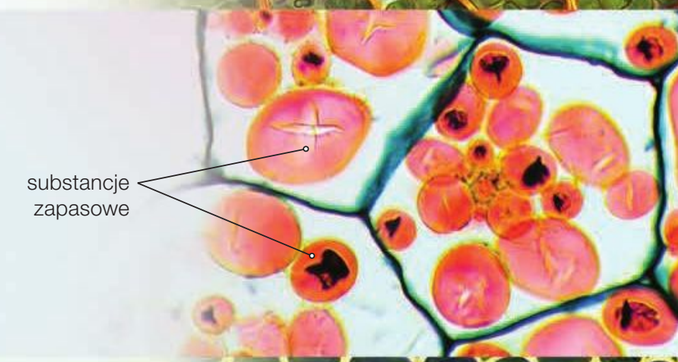
Miękisz asymilacyjny

Miękisz asymilacyjny zawiera liczne chloroplasty, w których zachodzi fotosynteza. Występuje w listkach i łodyżkach mchów oraz w liściach i zielonych łodygach roślin naczyniowych. W zależności od kształtu komórek i wielkości przestworów międzykomórkowych wyróżnia się m.in. miękisz palisadowy, miękisz gąbczasty i miękisz wieloramienny.



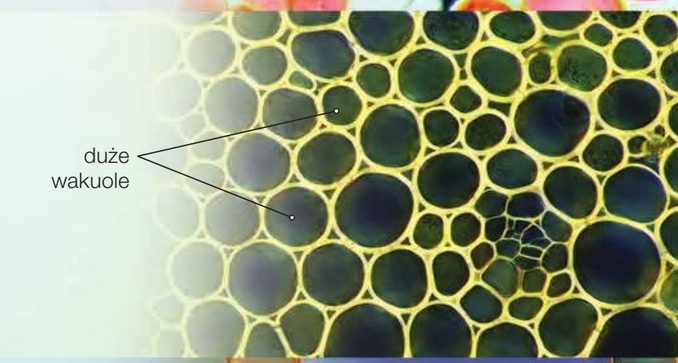
Miękisz spichrzowy

Miękisz spichrzowy jest magazynem substancji zapasowych, głównie skrobi. Występuje w organach spichrzowych roślin, m.in. w bulwach ziemniaka i korzeniach marchwi. Odmianą miękiszu spichrzowego jest miękisz wodny, który stanowi magazyn wody w łodygach lub liściach sukulentów.



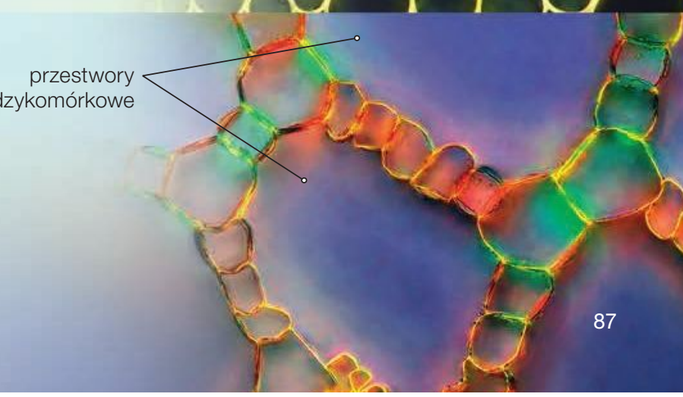
Miękisz zasadniczy

Miękisz zasadniczy wypełnia przestrzenie między innymi tkankami. Znajduje się głównie w młodych łodygach i korzeniach. Buduje również owocnie owoców mięsistych oraz płatki kwiatów.



Miękisz powietrzny

Miękisz powietrzny (aerenchyma) występuje w organach roślin wodnych i pełni u nich funkcję przewietrzającą. Charakteryzuje się on dużymi przestworami międzykomórkowymi, w których gromadzą się gazy (głównie tlen) niezbędne do przemian metabolicznych. Miękisz ułatwia też unoszenie się pędów roślin w wodzie.

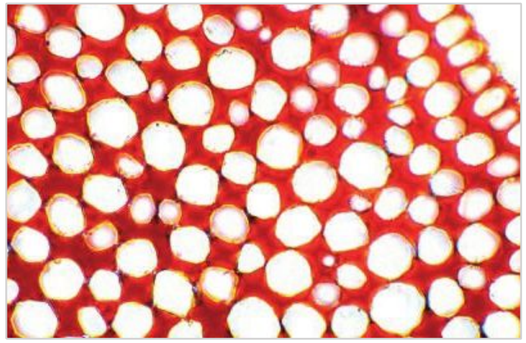


Tkanki wzmacniające

Tkanki wzmacniające – **kolenchyma** i **sklerenchyma** – umożliwiają funkcjonowanie roślin w środowisku lądowym (charakteryzującym się małą gęstością powietrza oraz występowaniem wiatru). Chronią rośliny przed złamaniem, zgnieceniem lub rozerwaniem.

Kolenchyma

Kolenchyma, zwana również zwarcicą, jest zbudowana z **żywych**, wydłużonych, ściśle przylegających do siebie komórek o nierównomiernie zgrubiałych ścianach komórkowych. Ściany te składają się głównie z celulozy i pektyn, a ich cechą charakterystyczną jest bardzo duża zawartość wody – ok. 75%. Silne uwodnienie ścian komórkowych umożliwia przesuwanie się włókien celulozy względem siebie, co nadaje komórkom i całej tkance dużą elastyczność. Dzięki temu kolenchyma jest bardzo odporna na rozerwanie, a jednocześnie może występować w ogonkach liściowych i szybko rosnących organach roślinnych.

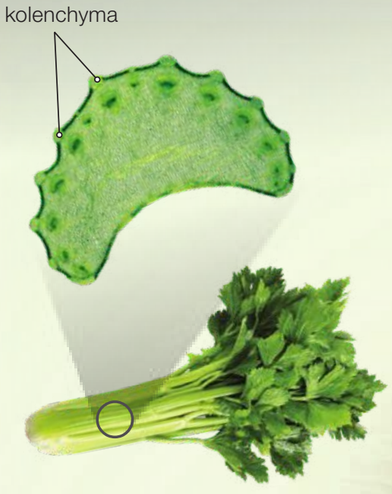


Kolenchyma (obraz spod mikroskopu optycznego). Ściany komórkowe zostały wybarwione na czerwono.

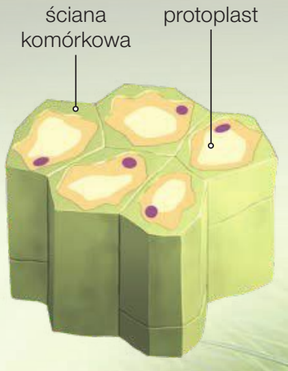
Występowanie kolenchymy

Kolenchyma występuje głównie w rosnących pędach roślin. U roślin dojrzałych znajduje się w peryferycznych częściach łodyg oraz w ogonkach liściowych, którym nadaje elastyczność. W ten sposób chroni je przed złamaniem lub rozerwaniem.

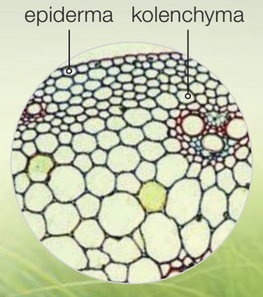
W ogonkach liściowych selera kolenchyma występuje w postaci oddzielnych, podłużnych pasm.



Komórki kolenchymy



W łodygach traw kolenchyma znajduje się pod epidermą, gdzie tworzy elastyczną i zwartą warstwę.

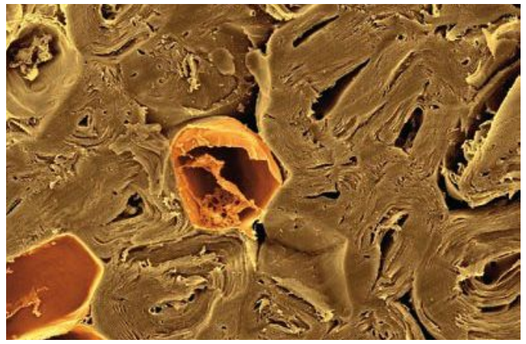


Liście roślin poruszają się pod wpływem wiatru lub opadów. Nie łamią się jednak dzięki elastycznym pasmom lub pochwom zbudowanym z kolenchymy.

Pędy roślin zielnych, np. traw, wyginają się pod wpływem podmuchów wiatru, ale się nie łamią. Jest to możliwe dzięki odwracalnemu wydłużaniu i wyginaniu się komórek kolenchymy.

Sklerenchyma

Sklerenchyma, zwana również twardzicą, składa się zwykle z **martwych** komórek pozbawionych protoplastu. Ich wtórne ściany komórkowe są grube i najczęściej zdrewniałe – wysycone ligniną. Dzięki temu sklerenchyma zwiększa odporność organów roślinnych na rozciąganie, ściskanie, zginanie oraz skręcanie. W skład sklerenchymy wchodzą dwa typy komórek – długie, cienkie, zaostrzone na końcach włókna sklerenchymatyczne oraz różnokształtne sklereidy. Do włókien sklerenchymatycznych należą m.in. włókna drzewne oraz włókna łykowe. Wyjątkowo długie są włókna łykowe lnu, konopi i juty, dlatego wykorzystuje się je m.in. do wyrobu tkanin. Sklereidy mogą występować w niewielkich grupach, np. w miękiszu owocu gruszy lub pigwy. Takie sklereidy są komórkami żywymi. Natomiast sklereidy martwe tworzą najczęściej zwarte warstwy w formie łupin nasiennych lub zdrewniałych owocni.

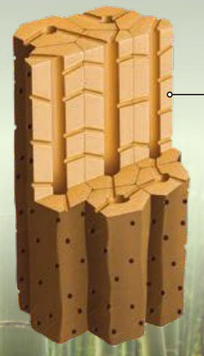


Sklereidy (obraz spod SEM, barwiony komputerowo) występują m.in. jako komórki kamienne w owocach gruszy. Ich funkcją jest ochrona nasion, w których znajdują się zarodki rośliny.

Występowanie sklerenchymy

Sklerenchyma występuje zwykle w dojrzałych korzeniach i łodygach roślin. Często otacza struktury o szczególnym znaczeniu fizjologicznym, m.in. wiązki przewodzące (pasma tkanki przewodzącej) oraz zarodki roślinne.

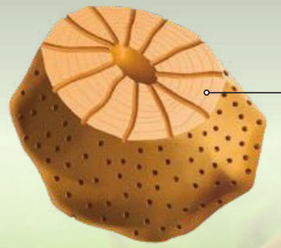
Włókna sklerenchymatyczne występują m.in. w łodygach bambusa. Nadają im twardość, a tym samym zapewniają odporność na złamanie, zgniecenie lub rozerwanie.



Budowa włókien sklerenchymatycznych.

zdrewniała ściana komórkowa

Sklereidy budują m.in. wewnętrzne, twarde części owocni orzecha włoskiego. Chronią w ten sposób zarodek przed uszkodzeniami i przed wpływem niekorzystnych warunków środowiska.



Budowa sklereidu.

zdrewniała ściana komórkowa



Tkanki przewodzące

Dobrze rozwinięte tkanki przewodzące występują u paprotników i roślin nasiennych. Ich funkcją jest transportowanie wody z solami mineralnymi oraz związków organicznych między różnymi organami rośliny. Wyróżnia się dwa rodzaje tkanek przewodzących – **drewno** i **łyko**.

Drewno

Drewno (ksylem) przewodzi wodę z solami mineralnymi od korzeni do pędów rośliny. Jest ono tkanką niejednorodną, zbudowaną z:

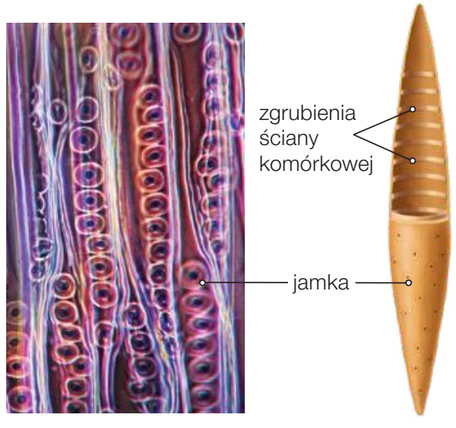
- elementów przewodzących – cewek lub naczyń,
- elementów wzmacniających – włókien sklerenchymatycznych,
- elementów spichrzowych – miękiszu drzewnego.

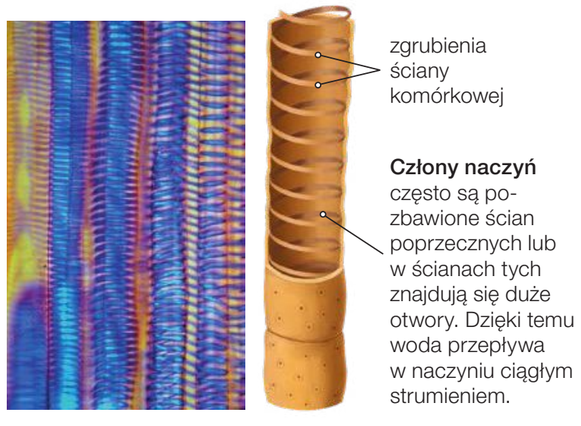
Elementy przewodzące drewna – **cewki** i **naczynia** – odpowiadają za transport wody z solami mineralnymi. Cewki występują w drewnie paprotników oraz roślin nagonasiennych. Z kolei naczynia to długie rury zbudowane z komórek zwanych **członami naczyń**. Człony naczyń występują u roślin okrytonasiennych. Oba typy komórek – cewki i człony naczyń – są **martwe** (pozbawione protoplastu). Ich ściany komórkowe są wysycone **ligniną**, która umożliwia przyleganie wody do powierzchni ścian oraz pionowy transport wody z solami mineralnymi z korzeni do pędów. Lignina nadaje również ścianom komórkowym dużą twardość, a tym samym – odporność na zgniatanie. W ścianach komórkowych cewek i członów naczyń znajdują się liczne otwory zwane **jamkami**.

Włókna sklerenchymatyczne, nazywane także włóknami drzewnymi, są martwe i pełnią funkcję wzmacniającą. Z kolei **miękisz drzewny** jest zbudowany z żywych komórek i pełni głównie funkcję spichrzową.

Cewki i naczynia

Elementy przewodzące drewna są martwe i przystosowane do transportu wody z solami mineralnymi.





Człony naczyń często są pozbawione ścian poprzecznych lub w ścianach tych znajdują się duże otwory. Dzięki temu woda przepływa w naczyniu ciągłym strumieniem.

Cewki występują w drewnie paprotników oraz roślin nagonasiennych. Są to wydłużone i zwężone na końcach puste komórki, które ściśle do siebie przylegają.

Naczynia występują w drewnie roślin okrytonasiennych. Są to długie rury zbudowane z **członów naczyń** – pustych komórek o zdrewniałych ścianach komórkowych. Taka budowa sprawia, że naczynia umożliwiają wydajniejszy transport wody niż cewki.

Łyko

Łyko (floem) przewodzi związki organiczne między różnymi organami rośliny. Do związków tych należą głównie wtórne produkty fotosyntezy, które powstają w liściach oraz w zielonych łodygach, skąd są transportowane do pozostałych części rośliny. Łyko jest tkanką niejednorodną, zbudowaną m.in. z:

- elementów przewodzących – komórek sitowych lub rurek sitowych,
- elementów wzmacniających – włókien sklerenchymatycznych,
- elementów spichrzowych – miękiszu łykowego.

Elementy przewodzące łyka – **komórki sitowe** i **rurki sitowe** – odpowiadają za transport związków organicznych. Komórki sitowe występują u paprotników oraz roślin nagonasiennych. Natomiast rurki sitowe to długie ciągi komórek, zwanych członami rurek sitowych, które występują u roślin okrytonasiennych. Oba typy komórek przewodzących łyka są **żywe** i mają **celulozowo-pektynowe** ściany komórkowe. W tych ścianach znajdują się pory zgrupowane w tzw. **pola sitowe** (sita). Elementy przewodzące łyka w trakcie specjalizacji tracą jądro komórkowe, aparat Golgiego i tonoplast (błonę wakuoli). Siateczka śródplazmatyczna jest w nich słabo rozwinięta, a mitochondria są nieliczne. Cechą charakterystyczną elementów przewodzących łyka są rozdęte plastydy magazynujące skrobię lub białko.

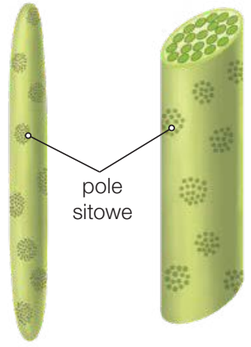
U roślin okrytonasiennych do członów rurek sitowych przylegają komórki przyrurkowe, które zawierają wszystkie typowe organelle komórek roślinnych. **Komórki przyrurkowe** sterują metabolizmem członów rurek sitowych oraz zaopatrują je w ATP.

Włókna sklerenchymatyczne, zwane również włóknami łykowymi, są martwe i pełnią funkcję wzmacniającą. Żywy **miękisz łykowy** odgrywa głównie rolę tkanki spichrzowej.

Komórki sitowe i rurki sitowe

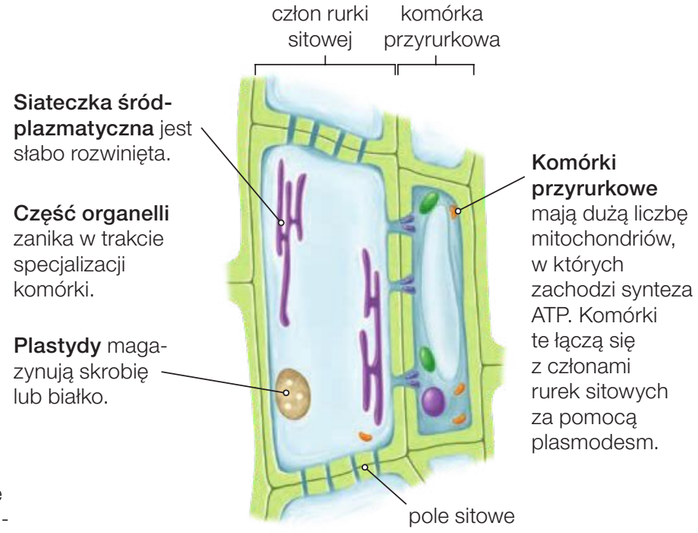
Komórki przewodzące łyka są żywe i mają pola sitowe, przez które przechodzą pasma cytoplazmy.

Przez pory **pól sitowych** przechodzą pasma cytoplazmy bogate w związki organiczne.



W komórkach sitowych pola sitowe są rozrzucone na ścianach w nieregularny sposób.

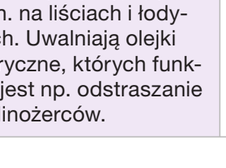
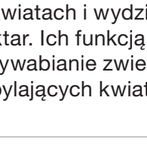
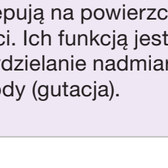
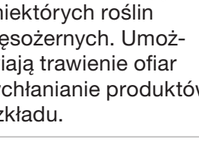
W członach rurek sitowych pola sitowe o dużych porach znajdują się w ścianach poprzecznych, a pola sitowe o mniejszych porach – w ścianach podłużnych.



Człony rurek sitowych nie mają większości organelli, w tym jądra komórkowego. Dzięki temu sprawnie transportują związki organiczne w obrębie rośliny. Ich metabolizmem sterują komórki przyrurkowe.

Wiązki przewodzące

W organach roślinnych drewno i łyko tworzą pasma nazywane **wiązkami przewodzącymi**. Wyróżnia się kilka rodzajów wiązek przewodzących.

Rodzaje wiązek przewodzących			
wiązki proste – zawierają tylko jeden rodzaj tkanki (łyko lub drewno)	**wiązki złożone – są zbudowane z drewna i łyka**		
	wiązki koncentryczne – pasmo jednej tkanki (łyka lub drewna) otacza pasmo drugiej tkanki	**wiązki naprzeciwległe zamknięte** – między drewnem a łykiem nie występuje kambium	**wiązki naprzeciwległe otwarte** – między drewnem a łykiem występuje kambium
			

Utwory wydzielnicze

Utwory wydzielnicze to zespoły komórek wydzielniczych, które wytwarzają i wydzielają na zewnątrz związki organiczne o różnych funkcjach. Wyróżnia się **utwory wydzielnicze zewnętrzne**, które wydzielają substancje na zewnątrz organizmu rośliny, oraz **utwory wydzielnicze wewnętrzne**, które wytwarzają substancje gromadzące się wewnątrz organizmu rośliny. Do utworów wydzielniczych wewnętrznych należą m.in. **kanały żywiczne**. Zmagazynowana w kanałach żywica chroni rośliny przed wnikaniem do ich wnętrza drobnoustrojów chorobotwórczych.

Utwory wydzielnicze zewnętrzne

			
Komórki wydzielnicze epidermy występują m.in. na liściach i łodygach. Uwalniają olejki eteryczne, których funkcją jest np. odstraszanie roślinożerców.	Miodniki (zaznaczone na żółto) występują w kwiatach i wydzielają nektar. Ich funkcją jest przywabianie zwierząt zapylających kwiaty.	Hydatody (szparki wodne, wypotniki) występują na powierzchni liści. Ich funkcją jest wydzielanie nadmiaru wody (gutacja).	Włoski trawienno-chłonne występują u niektórych roślin mięsożernych. Umożliwiają trawienie ofiar i wchłanianie produktów rozkładu.

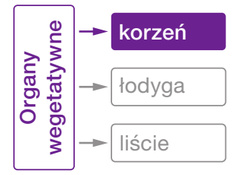
Polecenia kontrolne

1. Skonstruuj tabelę, w której porównasz rodzaje tkanek miękiszowych pod względem budowy i funkcji.
2. Przedstaw przystosowania drewna i łyka do transportu substancji w roślinie.

2.4. Korzeń – organ podziemny rośliny

Ważne w tym temacie!

- związek budowy morfologicznej i anatomicznej (pierwotnej i wtórnej) korzenia z pełnionymi przez niego funkcjami
- modyfikacje korzeni



Korzeń jest **organem wegetatywnym**, który występuje u większości roślin lądowych i wtórnie wodnych. Zazwyczaj jest on **podziemną częścią rośliny**, odpowiedzialną przede wszystkim za:

- utrzymywanie rośliny w podłożu,
- pobieranie wody z solami mineralnymi.

Pierwotna i wtórna budowa korzenia

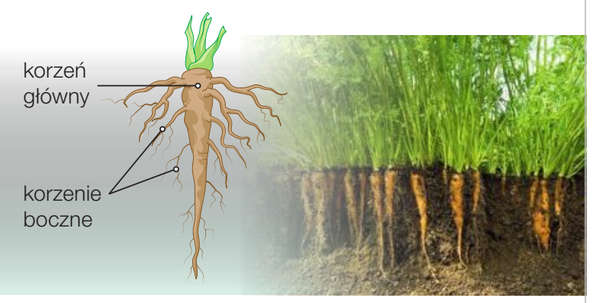
W zależności od gatunku i wieku rośliny korzenie mogą mieć pierwotną lub wtórną budowę anatomiczną. **Pierwotna budowa anatomiczna** to układ tkanek korzenia, który powstaje w wyniku działania stożka wzrostu korzenia. Z kolei **wtórna budowa anatomiczna** to układ tkanek korzenia, który powstaje w wyniku działania kambium i felogenu. U większości roślin zielnych i u wszystkich roślin drzewiastych korzenie o budowie pierwotnej występują tylko na wczesnych etapach rozwoju. Po pewnym czasie organy te uzyskują budowę wtórną.

Systemy korzeniowe

Pojedyncze korzenie występują u roślin bardzo rzadko. Najczęściej rośliny mają wiele korzeni, które wspólnie tworzą system korzeniowy. Wyróżnia się dwa typy systemów korzeniowych – system palowy oraz system wiązkowy.

System palowy

Jest charakterystyczny m.in. dla roślin nagonasiennych i części roślin okrytonasiennych, np. marchwi. Składa się z grubego i długiego **korzenia głównego**, z którego w trakcie rozwoju rośliny wyrastają krótsze i cieńsze **korzenie boczne**. U drzew system ten może sięgać daleko w głąb gleby – aż do poziomu wód gruntowych.



System wiązkowy

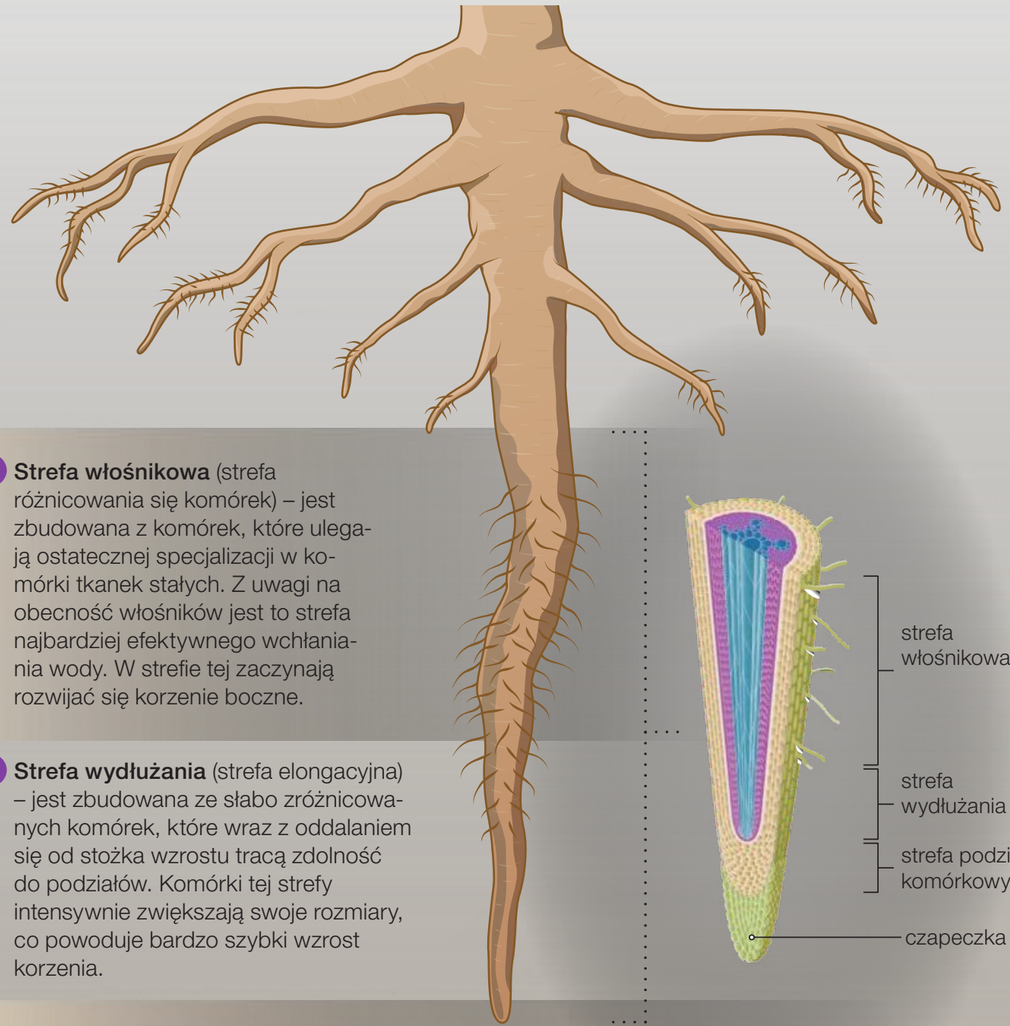
Jest charakterystyczny m.in. dla paprotników i traw. W systemie tym korzeń główny wcześnie przestaje rosnąć lub zupełnie zanika. Jego funkcje przejmują wtedy **korzenie przybyszowe**, które wyrastają zwykle u podstawy pędu. Korzenie przybyszowe są liczne i mają podobną długość. Dzięki temu system wiązkowy umożliwia efektywne pochłanianie wody z małej objętości gleby.



Strefy korzenia

W korzeniu wyróżnia się kilka stref: strefę wyrośniętą, strefę włośnikową, strefę wydłużania oraz strefę podziałów komórkowych.

1 **Strefa wyrośnięta** (strefa korzeni bocznych) – stanowi najmasywniejszą część korzenia głównego. Nie uczestniczy w pochłanianiu wody. Wyrastają z niej liczne korzenie boczne, które wspomagają utrzymywanie się rośliny w podłożu i transportują wodę z solami mineralnymi w kierunku korzenia głównego.



2 **Strefa włośnikowa** (strefa różnicowania się komórek) – jest zbudowana z komórek, które ulegają ostatecznej specjalizacji w komórki tkanek stałych. Z uwagi na obecność włośników jest to strefa najbardziej efektywnego wchłaniania wody. W strefie tej zaczynają rozwijać się korzenie boczne.

3 **Strefa wydłużania** (strefa elongacyjna) – jest zbudowana ze słabo zróżnicowanych komórek, które wraz z oddalaniem się od stożka wzrostu tracą zdolność do podziałów. Komórki tej strefy intensywnie zwiększają swoje rozmiary, co powoduje bardzo szybki wzrost korzenia.

4 **Strefa podziałów komórkowych** (stożek wzrostu korzenia → s. 83) – jest zbudowana z komórek, które intensywnie dzielą się mitotycznie. Podziały komórkowe powodują wzrost korzenia na długość oraz jego pierwotny przyrost na grubość. Od zewnątrz strefę tę osłania miękiszowa czapeczka, która chroni merystem wierzchołkowy przed uszkodzeniami – może do nich dojść podczas przesuwania się korzenia, który rośnie między cząstkami gleby.

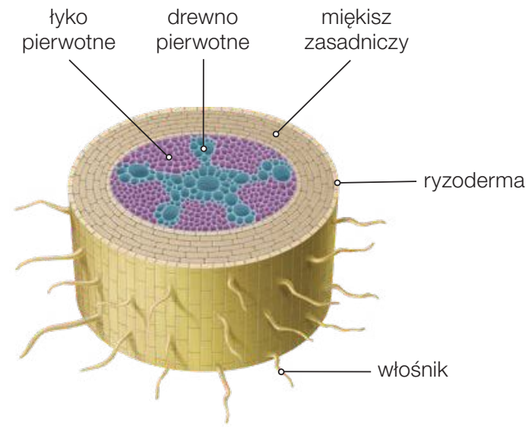
Pierwotna budowa korzenia

Pierwotna budowa anatomiczna korzenia to charakterystyczny układ jego tkanek, który powstaje w wyniku działania **stożka wzrostu korzenia**. W budowie tej można wyróżnić ryzodermę, korę pierwotną i walec osiowy.

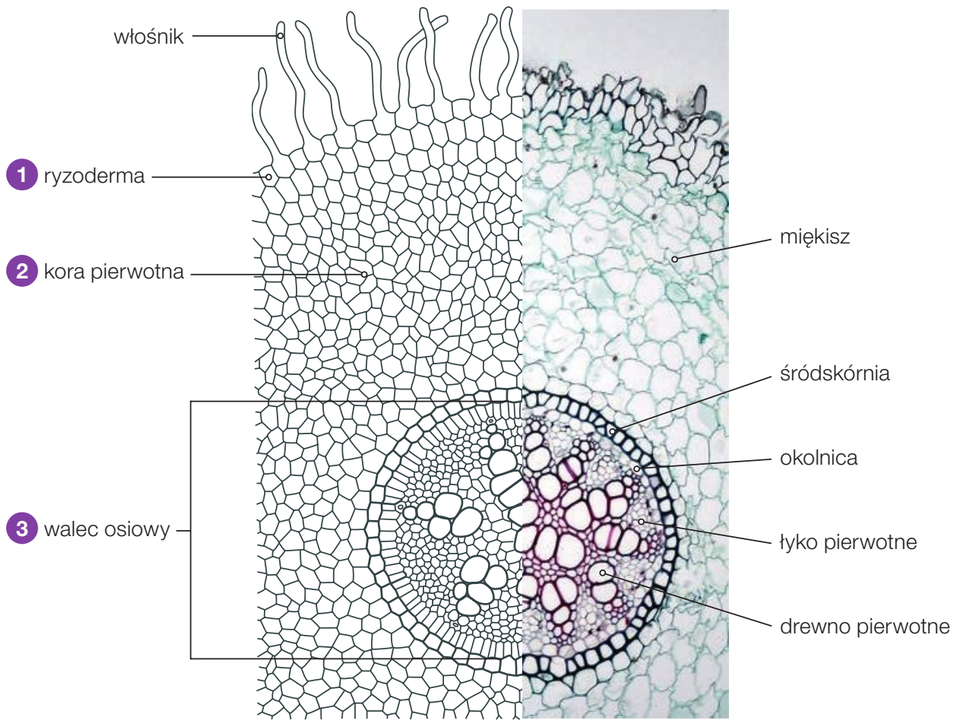
1 **Ryzoderma** stanowi zewnętrzną warstwę korzenia. Jej komórki wytwarzają **włośniki**, które ze względu na swój wydłużony kształt zwiększają powierzchnię wchłaniania wody i soli mineralnych.

2 **Kora pierwotna** znajduje się pod ryzodermą i jest zbudowana z **tkanki miękiszowej**. Tkanka ta przewodzi wodę z solami mineralnymi ze skórki do walca osiowego. U niektórych roślin pełni także funkcję spichrzową. Najbardziej wewnętrzną warstwę kory pierwotnej stanowi **śródskórnia** (endoderma). Jej rolą jest regulacja przepływu substancji między korą pierwotną a walcem osiowym.

3 **Walec osiowy** zajmuje centralną część korzenia. Jego zewnętrzną warstwę tworzy **okolnica** (perycykl), zbudowana z komórek miękiszowych, które zachowały zdolność podziałową. Funkcją okolnicy jest m.in. wytwarzanie korzeni bocznych. Wnętrze walca osiowego zajmują tkanka miękiszowa oraz ułożone naprzemianlegle **wiązki przewodzące** – łykowe i drzewne.



Czapeczka chroni merystem wierzchołkowy przed uszkodzeniami, do których może dojść podczas wzrostu korzenia.



Fragment korzenia o budowie pierwotnej (przekrój poprzeczny).

Wtórna budowa korzenia

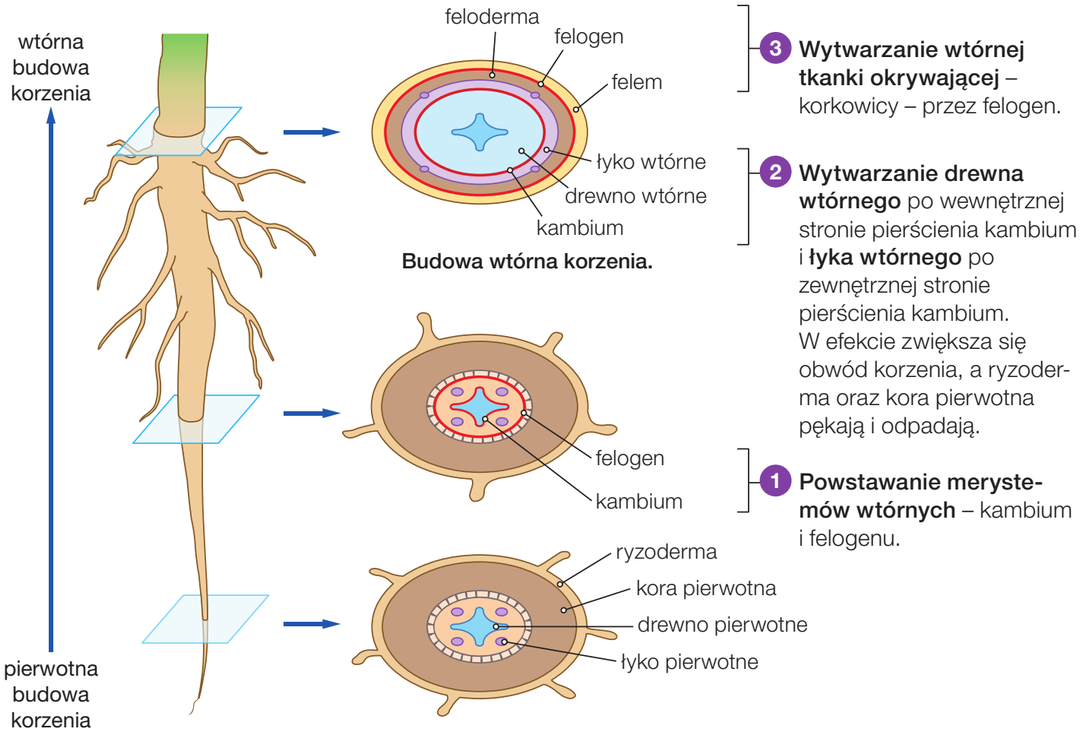
Wtórna budowa anatomiczna korzenia to charakterystyczny układ jego tkanek, który powstaje w wyniku działania merystemów bocznych – **kambium** i **felogenu**.

1. Przyrost wtórny korzenia rozpoczyna się od wytworzenia merystemów wtórnych – kambium i felogenu. Kambium powstaje z miękiszu oddzielającego wiązki drewna pierwotnego od łyka pierwotnego oraz – częściowo – z okolnicy. Fragmenty kambium łączą się ze sobą w pierścień. Felogen powstaje zwykle z okolnicy.
2. Kambium odpowiada za wtórny przyrost korzenia na grubość. Wytwarza ono **drewno wtórne** po wewnętrznej stronie pierścienia i **łyko wtórne** – po stronie zewnętrznej. Działanie kambium prowadzi do zwiększenia obwodu korzenia oraz pękania i odpadania ryzodermy i kory pierwotnej.
3. W przyrastającym na grubość korzeniu funkcję tkanki okrywającej przejmuje **korkowica**. Powstaje ona w efekcie działania felogenu.

Wtórnemu przyrostowi na grubość ulegają w największym stopniu korzenie **wieloletnich roślin drzewiastych**. Dzięki temu powstaje u nich rozbudowana strefa wyrośnięta korzenia, z której biorą początek grube i długie korzenie boczne. W strefie tej nie zachodzi wchłanianie wody, ponieważ jest ona pokryta nieprzepuszczalną dla wody korkowicą. Jej funkcją jest natomiast utrzymywanie dużych i ciężkich roślin w glebie.

Etapy wtórnego przyrostu korzenia na grubość

Za wtórny przyrost korzenia na grubość odpowiada kambium, które wytwarza wtórne tkanki przewodzące – drewno wtórne i łyko wtórne. Wskutek działania felogenu powstaje natomiast wtórna tkanka okrywająca, czyli korkowica.



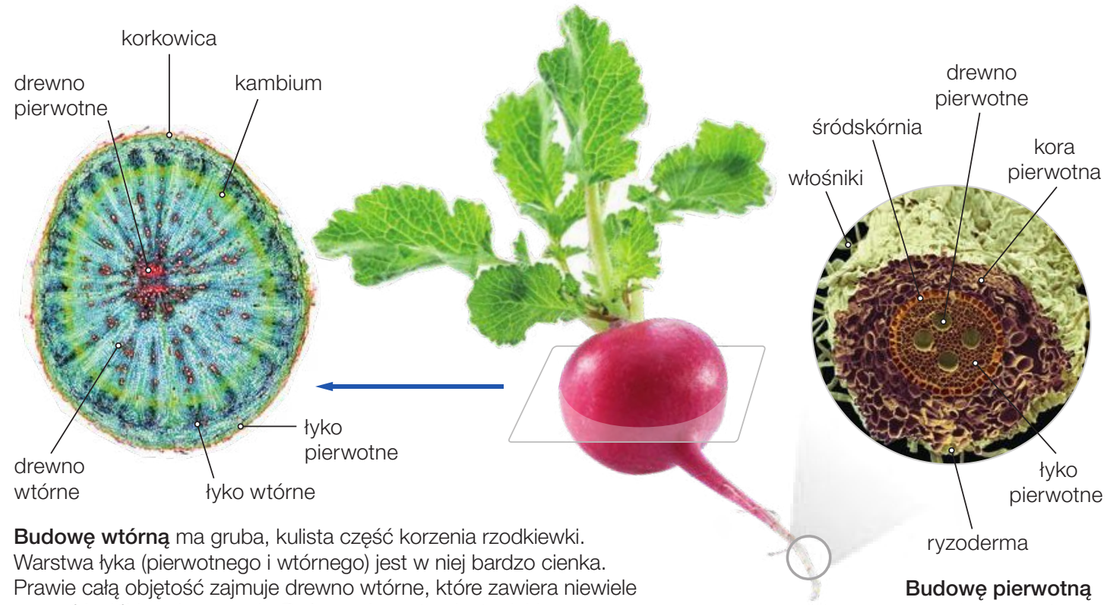
Budowa wtórna korzenia.

3. **Wytwarzanie wtórnej tkanki okrywającej** – korkowicy – przez felogen.
2. **Wytwarzanie drewna wtórnego** po wewnętrznej stronie pierścienia kambium i **łyka wtórnego** po zewnętrznej stronie pierścienia kambium. W efekcie zwiększa się obwód korzenia, a ryzoderma oraz kora pierwotna pękają i odpadają.
1. **Powstawanie merystemów wtórnych** – kambium i felogenu.

Budowa pierwotna korzenia.

Korzenie roślin dwuletnich i jednorocznych

U roślin dwuletnich, np. rzodkiewki, marchwi czy buraka, oraz jednorocznych, np. rzodkiewnika pospolitego, przyrostowi wtórnemu ulegają stosunkowo krótkie odcinki korzenia, które sąsiadują bezpośrednio z łodygą.



Budowę wtórną ma gruba, kulista część korzenia rzodkiewki. Warstwa łyka (pierwotnego i wtórnego) jest w niej bardzo cienka. Prawie całą objętość zajmuje drewno wtórne, które zawiera niewiele naczyń i włókien drzewnych. Dużo w nim natomiast miękiszu drzewnego, który pełni funkcję spichrzową.

Budowę pierwotną ma cienka, wydłużona część korzenia rzodkiewki.

Korzenie przybyszowe

Korzenie przybyszowe mogą rozwijać się z korzenia głównego (w strefie jego budowy wtórnej) lub z organów pędowych, czyli łodyg albo liści. Korzenie przybyszowe wyrastające z korzenia głównego umocowują roślinę w podłożu, a dzięki strefom włośnikowym zlokalizowanym w ich końcowych odcinkach zwiększają także powierzchnię chłonną systemu korzeniowego.

Korzenie przybyszowe pochodzenia pędowego u roślin zielnych wyrastają zwykle z węzłów łodygi, natomiast u roślin drzewiastych – z przetchlinek korkowicy. Zawiązki tych korzeni tworzą się z komórek merystematycznych, które powstają w wyniku odróżnicowania się komórek tkanek stałych łodygi.

Zdolność organów pędowych do wytwarzania korzeni przybyszowych pozwala na **wegetatywne rozmnażanie się** roślin. Jest to rodzaj rozmnażania bezpłciowego, w którym z kawałków pędu rośliny macierzystej powstaje roślina potomna.



Zdolność organów pędowych do wytwarzania korzeni przybyszowych znajduje zastosowanie w wytwarzaniu sadzonek pędowych, m.in. na potrzeby rolnictwa.

Modyfikacje korzeni

U wielu roślin korzenie ulegają modyfikacjom, dzięki którym mogą pełnić dodatkowe funkcje.



Korzenie powietrzne

Występują u epifitów, czyli roślin, które porastają inne rośliny, m.in. u niektórych gatunków storczyków. Są to korzenie nadziemne, pokryte welamenem – wielowarstwową skórką zbudowaną z martwych komórek otoczonych porowatymi ścianami. Ich funkcją jest wchłanianie wody deszczowej lub pary wodnej zawartej w powietrzu.

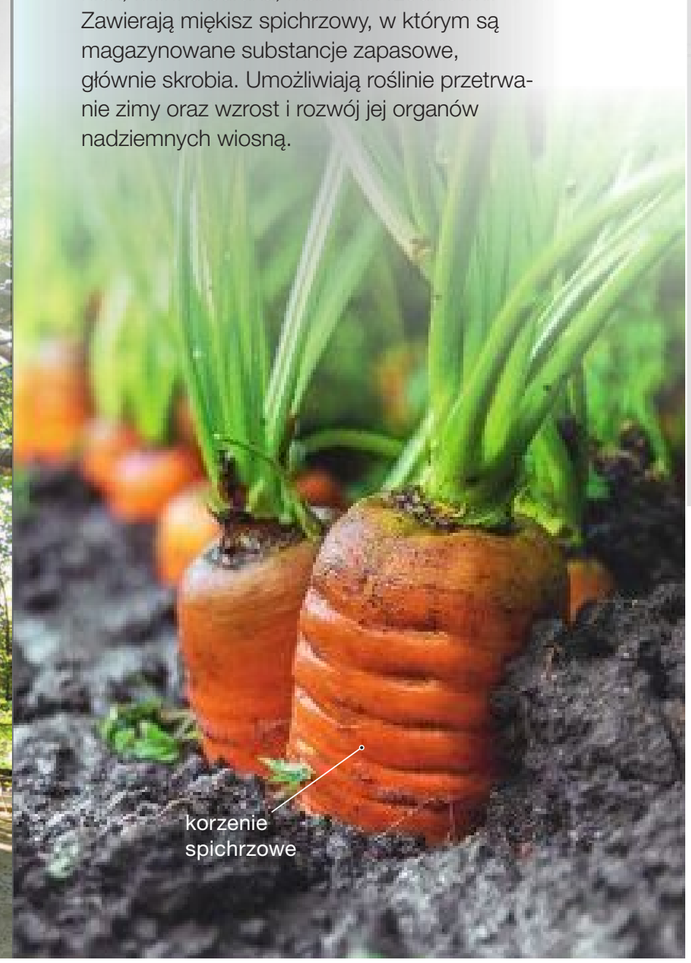
Korzenie podporowe

Występują u roślin o płytkim systemie korzeniowym, m.in. u figowców, oraz rosnących w grząskim podłożu, m.in. u namorzynów. Wyrastają z dolnej części łodygi i wrastają w podłoże. Dzięki temu podpierają roślinę ze wszystkich stron i zabezpieczają ją przed utratą równowagi.



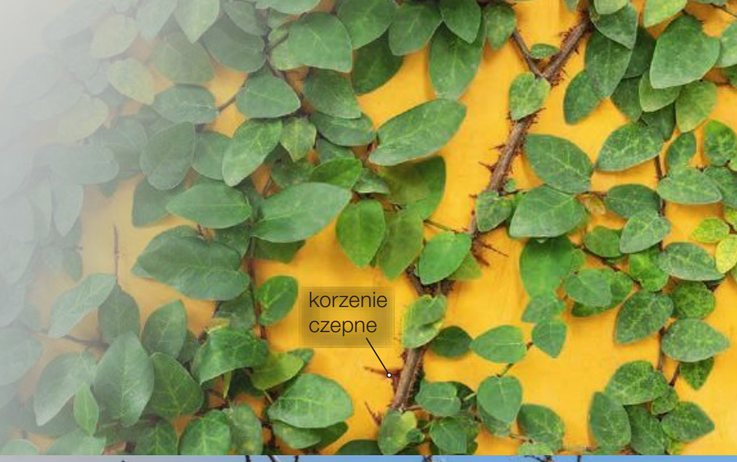
Korzenie spichrzowe

Występują przede wszystkim u roślin dwuletnich, m.in. u buraka, marchwi i rzodkiewki. Zawierają miękkisz spichrzowy, w którym są magazynowane substancje zapasowe, głównie skrobia. Umożliwiają roślinie przetrwanie zimy oraz wzrost i rozwój jej organów nadziemnych wiosną.



Korzenie czepne

Występują u pnączy, m.in. u figowca pnącego, oraz u epifitów. Są cienkie, dlatego mogą wrastać w różne zagłębienia podłoża. Korzenie te przymocowują roślinę do gałęzi, pni drzew, skał, murów lub ścian.



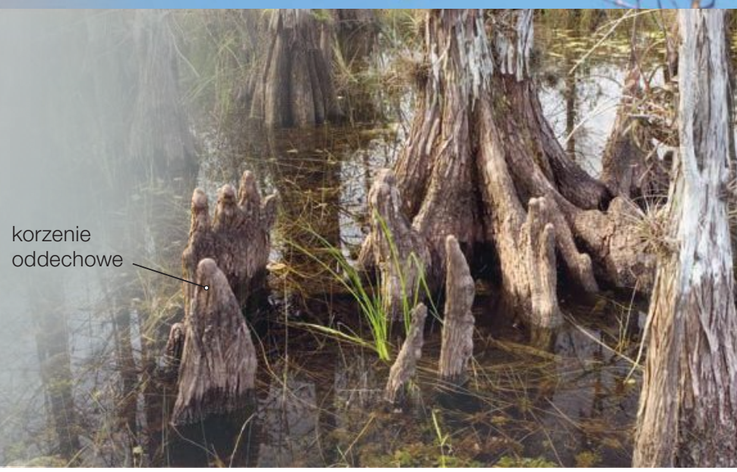
Ssawki (haustoria)

Występują u roślin pasożytniczych i półpasożytniczych. Na przykład jemioła, która jest półpasożytem, przeprowadza fotosyntezę, jednak wodę i sole mineralne pobiera z organizmu żywiciela za pomocą korzeni przekształconych w ssawki.



Korzenie oddechowe (pneumatofory)

Występują u roślin terenów bagnistych, rosnących w ciepłym klimacie, np. u cypryśnika błotnego. Są pionowymi, wystającymi z gleby odgałęzieniami podziemnego systemu korzeniowego rośliny. Ich funkcją jest dostarczanie tlenu do korzeni podziemnych.



Polecenia kontrolne

1. Podaj podstawowe funkcje korzenia.
2. Porównaj budowę palowego systemu korzeniowego z budową wiązkowego systemu korzeniowego.
3. Scharakteryzuj strefową budowę korzenia.
4. Porównaj pierwotną budowę korzenia z wtórną budową korzenia.
5. Podaj nazwy tych tkanek, które powstają w wyniku działania merystemów wtórnych w korzeniu.

2.5. Pęd. Budowa i funkcje łodygi

Ważne w tym temacie!

- związek budowy morfologicznej i anatomicznej (pierwotnej i wtórnej) łodygi z pełnionymi przez nią funkcjami
- modyfikacje łodyg

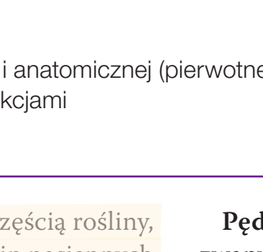
Organy wegetatywne → korzeń, łodyga, liście

Pęd jest najczęściej nadziemną częścią rośliny, zbudowaną z łodygi i liści. U roślin nasiennych pęd wytwarza okresowo kwiaty, a u roślin okrytonasiennych – także owoce. Łodygi i liście są organami wegetatywnymi pędu, które zapewniają roślinie wzrost i rozwój. Z kolei kwiaty są organami generatywnymi, odpowiedzialnymi za rozmnażanie płciowe rośliny. U roślin okrytonasiennych z kwiatów powstają owoce.

Pędy podziemne występują u grupy roślin zwanych bylinami. **Byliny** to wieloletnie rośliny zielne, których pędy nadziemne obumierają pod wpływem niekorzystnych warunków środowiska. W klimacie umiarkowanym dzieje się to jesienią, kiedy temperatura spada, a dzień staje się krótszy. Sposobem bylin na przetrwanie zimy jest wytwarzanie podziemnych pędów o charakterze przetrwalnikowym – kłączy, bulw lub cebul (→ s. 100, 106).

Cebule

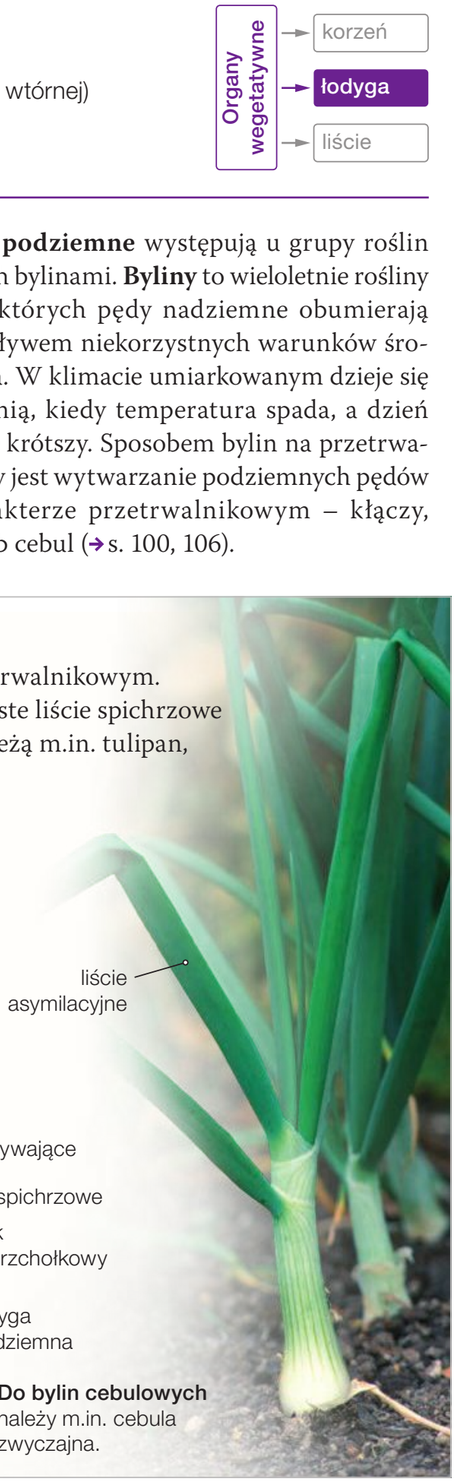
Cebule to podziemne i ulistnione pędy o charakterze przetrwalnikowym. W ich skład wchodzą łodyga oraz dwa rodzaje liści – mięsiste liście spichrzowe oraz łuskowate liście okrywające. Do bylin cebulowych należą m.in. tulipan, hiacynt, narcyz oraz czosnek.



Pęd nadziemny cebuli zwyczajnej składa się z zielonych liści asymilacyjnych oraz pędu zbudowanego z bezlistnej łodygi zakończonej kwiatami.



Pęd podziemny cebuli zwyczajnej – cebula – składa się ze zgrubiałej łodygi, która zawiera na szczycie pąk wierzchołkowy, oraz z dwóch rodzajów liści – łuskowatych (zewnętrznych) i spichrzowych. Wiosną z pąka wierzchołkowego rozwija się pęd nadziemny.



Do bylin cebulowych należy m.in. cebula zwyczajna.

Funkcje i budowa zewnętrzna łodygi

Łodyga jest organem wegetatywnym rośliny, który stanowi oś pędu. Jej funkcje polegają na:

- utrzymywaniu liści, a u okrytonasiennych – również kwiatów i owoców,
- przewodzeniu wody z solami mineralnymi od korzeni w górę rośliny,
- przewodzeniu związków organicznych między różnymi organami rośliny.

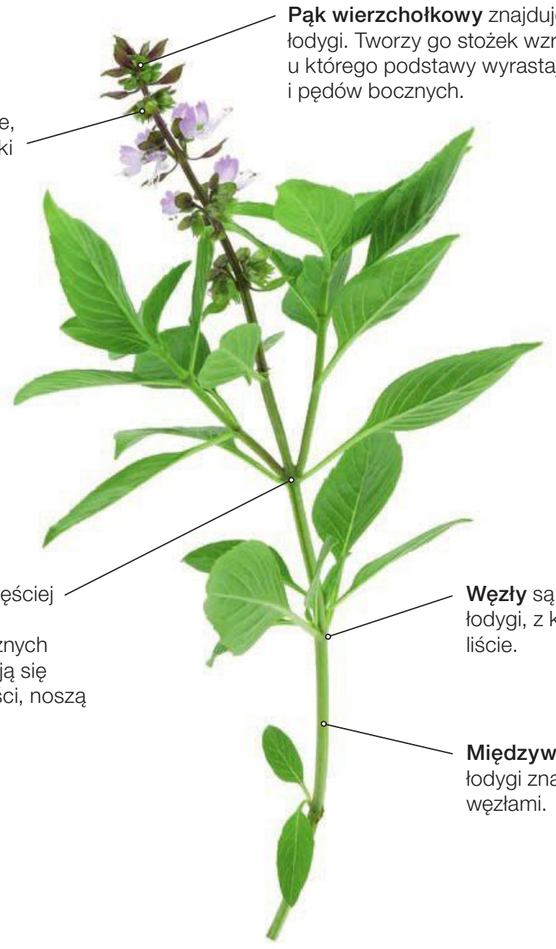
W budowie zewnętrznej łodygi wyróżnia się węzły, międzywęźla i pąki. **Węzły** to zwykle zgrubiałe części łodygi, z których wyrastają liście. **Międzywęźla** to odcinki łodygi znajdujące się między węzłami. **Pąki** to miejsca, w których zachodzą wzrost łodygi na długość oraz jej rozgałęzianie się. Wyróżnia się dwa rodzaje pąków – pąk wierzchołkowy oraz pąki boczne. Wszystkie rodzaje pąków mogą być osłonięte okrywą z młodych zielonych liści lub – w przypadku pąków zimowych – twardymi łuskami pąkowymi, zbudowanymi głównie ze sklerenchymy.

Budowa morfologiczna łodygi

U części roślin w budowie łodygi wyróżnia się węzły, międzywęźla i pąki. W miejscach występowania pąków odbywa się wzrost i rozgałęzianie się łodygi.

Pąk wierzchołkowy znajduje się na szczycie łodygi. Tworzy go stożek wzrostu łodygi, u którego podstawy wyrastają zawiązki liści i pędów bocznych.

Pąki kwiatowe to pąki boczne, w których znajdują się zawiązki kwiatów.



Pąki boczne tworzą się najczęściej w kątach liści i umożliwiają powstawanie odgałęzień bocznych łodygi. Pąki, w których znajdują się zawiązki odgałęzień łodygi i liści, noszą nazwę **pąków liściowych**.

Węzły są zgrubiałymi częściami łodygi, z których wyrastają liście.

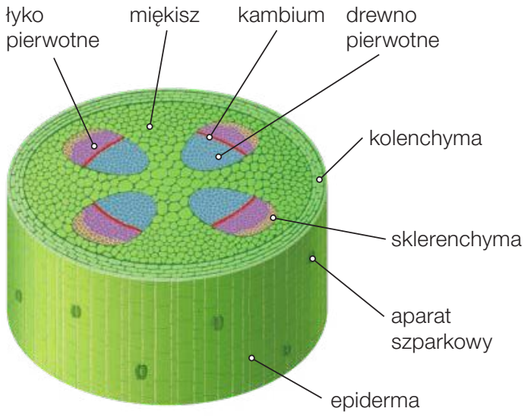
Międzywęźla są odcinkami łodygi znajdującymi się między węzłami.

Budowa pierwotna łodygi

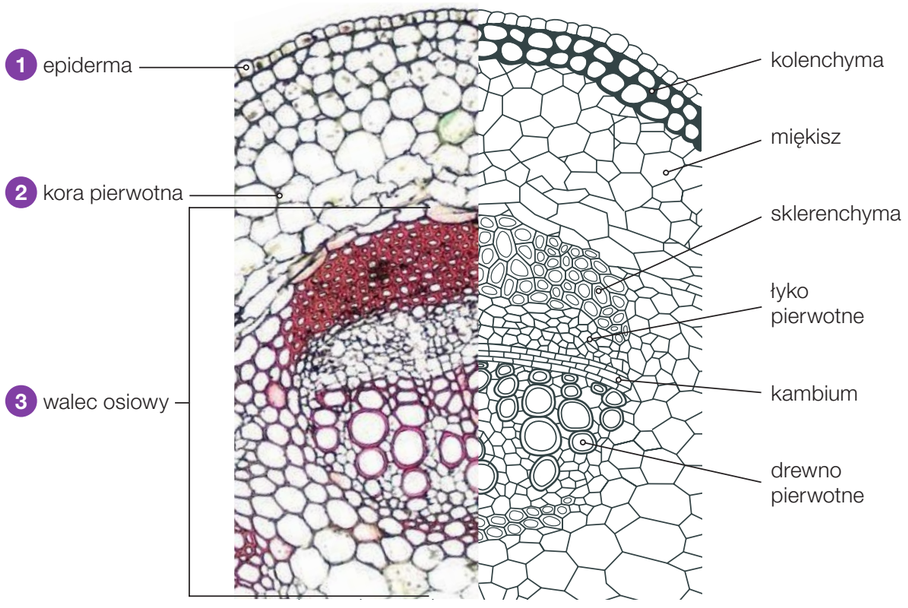
Pierwotna budowa anatomiczna łodygi to charakterystyczny układ jej tkanek, który powstaje w wyniku działania stożka wzrostu łodygi.

W budowie pierwotnej łodygi można wyróżnić epidermę, korę pierwotną i walec osiowy.

1. **Epiderma** jest najbardziej zewnętrzną warstwą łodygi. Pełni funkcję ochronną oraz, ze względu na obecność aparatów szparkowych, uczestniczy w wymianie gazowej i transpiracji.
2. **Kora pierwotna** jest zbudowana z tkanki miękiszowej, której zewnętrzne komórki zawierają chloroplasty. W obrębie kory pierwotnej mogą występować tkanki wzmacniające – pasma kolenchymy lub włókna sklerenchymatyczne. U niektórych gatunków roślin wewnętrzną warstwę kory pierwotnej stanowi śródskórnia (→s. 95). Jednak u większości roślin śródskórnia nie występuje, a granica między korą pierwotną a walcem osiowym jest niewyraźna.
3. **Walec osiowy** zajmuje centralną część łodygi. U niektórych gatunków roślin jego zewnętrzną warstwę stanowi okolnica (→s. 95) zbudowana z komórek miękiszowych. U większości roślin okolnica nie występuje. Głównym elementem walca osiowego są wiązki przewodzące ułożone w formę pierścienia. Każda z wiązek przewodzących składa się z pasma łyka pierwotnego i z pasma drewna pierwotnego. U większości roślin między drewnem a łykiem występuje **kambium**, które umożliwia wtórny przyrost łodygi na grubość.



Tkanki pierwotne łodygi (przekrój poprzeczny przez łodygę zielną).



Fragment łodygi o budowie pierwotnej (przekrój poprzeczny).

Budowa wtórna łodygi

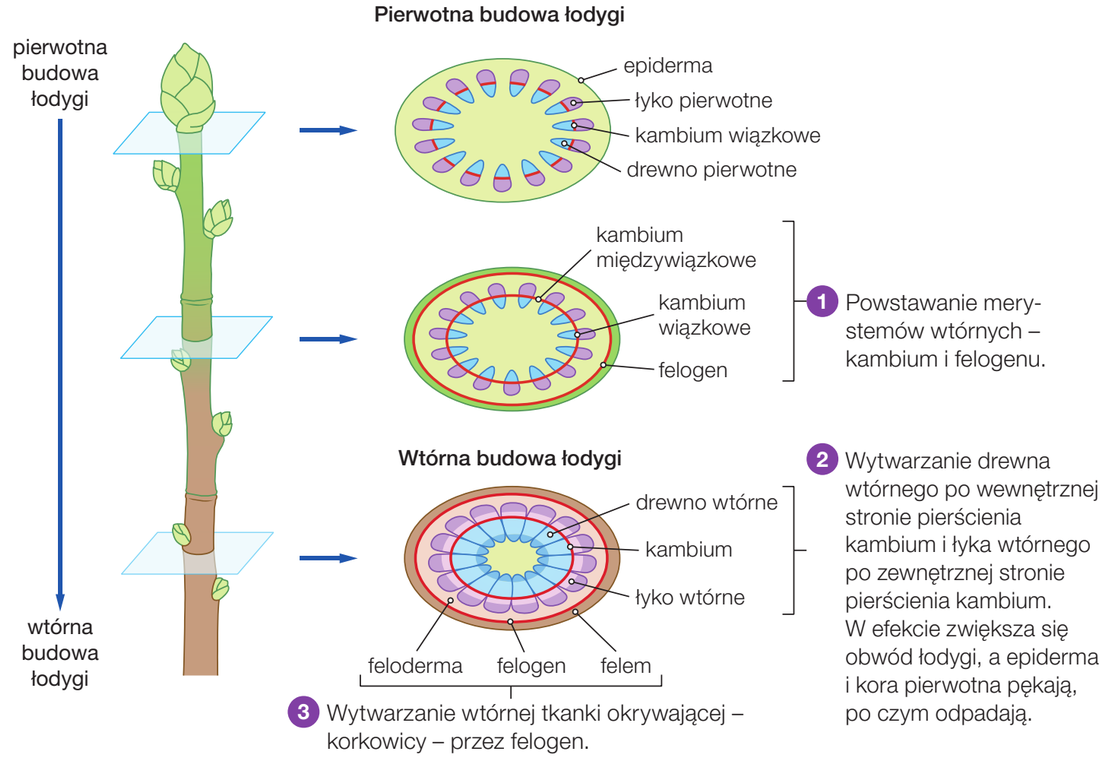
Wtórna budowa anatomiczna łodygi to charakterystyczny układ jej tkanek, który powstaje w wyniku działania merystemów bocznych – **kambium** i **felogenu**.

1. Przyrost wtórny łodygi rozpoczyna się od wytworzenia kambium i felogenu. Kambium powstaje w wyniku łączenia się pasm kambium wiązkowego z pasmami kambium międzywiązkowego (kambium międzywiązkowe wywodzi się z tkanki miękiszowej, która oddziela wiązki przewodzące). Z kolei felogen powstaje zwykle z kory pierwotnej.
2. Intensywne podziały komórek kambium powodują odkładanie się wtórnych tkanek przewodzących. W efekcie wiązkowy układ pierwotnych tkanek przewodzących zostaje zastąpiony grubym cylindrem **drewna wtórnego** po wewnętrznej stronie pierścienia kambium oraz cieńszym cylindrem **łyka wtórnego** po zewnętrznej stronie pierścienia kambium.
3. W przyrastającej na grubość łodydze funkcję okrywającą przejmuje **korkowica**. Powstaje ona wskutek działania felogenu.

U roślin zielnych przyrost wtórny nie występuje lub jest nieznaczny. Natomiast u roślin drzewiastych, zwłaszcza u drzew, przebiega on bardzo intensywnie, prowadząc ostatecznie do powstania grubego i silnego pnia (→s. 104).

Etapy wtórnego przyrostu łodygi na grubość

Za wtórny przyrost łodygi na grubość odpowiada kambium, które wytwarza wtórne tkanki przewodzące – drewno wtórne i łyko wtórne. Z kolei wskutek działania felogenu powstaje wtórna tkanka okrywająca, czyli korkowica.



Łodygi różnych grup roślin

Poszczególne grupy roślin różnią się budową łodygi.

Łodygi roślin zielnych

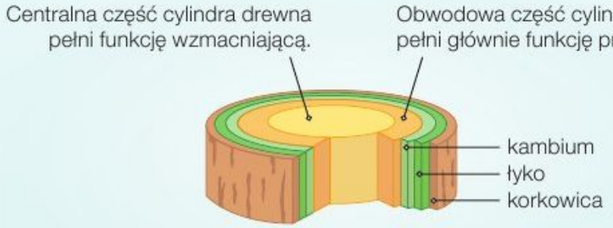
U wszystkich roślin jednorocznych i dwuletnich, a także u niektórych roślin wieloletnich (bylin) występują **łodygi zielne**. Łodygi te są cienkie, zielone i soczyste. Mają zwykle pierwotną budowę anatomiczną, dlatego są bardzo wrażliwe na niekorzystne warunki środowiska. Są one organami nietrwałymi, obumierającymi pod koniec każdego sezonu wegetacyjnego (jesienią).



Łodygi zielne występują u większości roślin łąkowych.

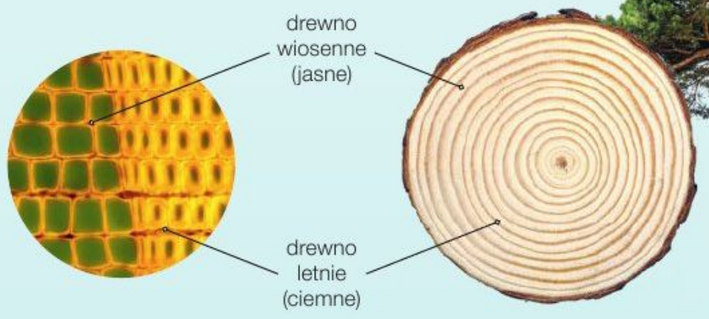
Łodygi drzew, krzewów i krzewinek

U wieloletnich roślin drzewiastych – drzew, krzewów i krzewinek – występują **łodygi zdrewniałe**. Pędy tych roślin nie zamierają pod koniec każdego sezonu wegetacyjnego. Łodygi zdrewniałe są organami trwałymi. Mają wtórną budowę anatomiczną – zawierają wtórne tkanki przewodzące i są okryte korkowicą.



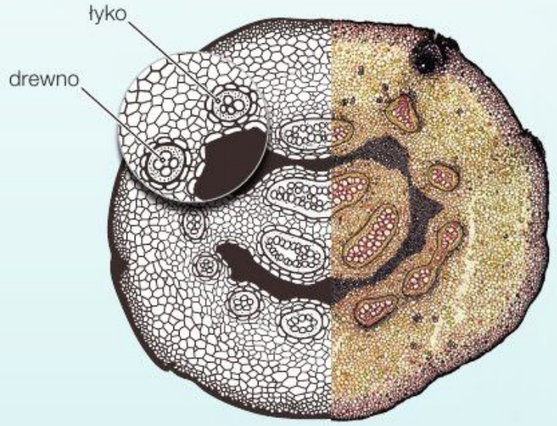
Przekrój poprzeczny łodygi.

W klimacie umiarkowanym kambium jest aktywne wiosną i latem. Drewno wiosenne zawiera elementy przewodzące o większej średnicy i cieńszych ścianach niż drewno letnie. Poszczególne warstwy drewna tworzą na przekroju pnia słoje przyrostów rocznych.



Łodygi paproci

U paproci występują podziemne łodygi – **kłącza**. Nie przyrastają one na grubość i mają wiązki przewodzące rozmieszczone nieregularnie na całym przekroju. Każda z wiązek jest zbudowana z drewna pierwotnego, które jest otoczone pierścieniem łyka pierwotnego. Między drewnem a łykiem nie występuje kambium. Tak zbudowane wiązki nazywa się **wiązkami koncentrycznymi**.



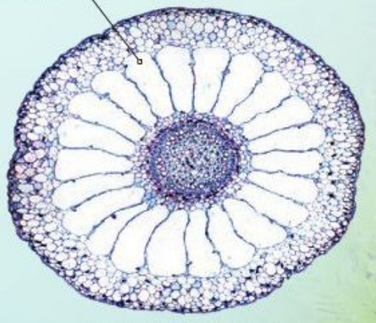
Przekrój poprzeczny łodygi paproci.



Łodygi hydrofitów

W łodygach hydrofitów (roślin wodnych) występuje **miękisz powietrzny** (aerenchyma → s. 87) – wyspecjalizowana tkanka, która umożliwia unoszenie się pędów roślin w wodzie, a także magazynuje gazy, głównie tlen.

Miękisz powietrzny występuje w łodygach hydrofitów, np. wywłócznika.



Przekrój poprzeczny łodygi wywłócznika.

Modyfikacje łodyg

U wielu roślin łodygi ulegają modyfikacjom, dzięki którym mogą pełnić dodatkowe funkcje.



Rozłogi

Występują u wielu roślin zielnych, np. u pięciornika, truskawki lub niektórych traw. Stanowią odgałęzienia dolnej części nadziemnego pędu, które płożą się po powierzchni ziemi. Są organami rozmnażania wegetatywnego.

Wąsy czepne

Występują u niektórych roślin pnących, np. u winorośli. Są wiotkimi i cienkimi fragmentami łodyg, które umożliwiają roślinie owijanie się wokół podpory.



Ciernie

Występują u niektórych roślin, zwłaszcza drzew lub krzewów, np. u śliwy tarniny. Są sztywnymi, zaostrzonymi, zwykle silnie zdrewniałymi odgałęzieniami bocznymi łodygi. Chronią roślinę przed zwierzętami roślinożernymi.



Kłącza

Występują u bylin, np. u imbiru, konwalii czy kosaćca. Są wieloletnimi, bezlistnymi, zgrubiałymi, podziemnymi łodygami o skróconych międzywęźlach i nieograniczonym wzroście. Pełnią funkcje spichrzową i przetrwalnikową. Są również organami rozmnażania wegetatywnego.



Bulwy

Występują u bylin, np. u kalarepy lub ziemniaka. Są krótkimi, bezlistnymi, silnie zgrubiałymi podziemnymi lub nadziemnymi łodygami o ograniczonym wzroście. Pełnią funkcje spichrzowe i przetrwalnikowe. Są również organami rozmnażania wegetatywnego.



Łodygi spichrzowe sukulentów

Występują u sukulentów łodygowych. Są mięsistymi, zielonymi łodygami o kulistym lub słupowatym kształcie. Gromadzą wodę w miękiszu wodnym oraz przeprowadzają fotosyntezę zamiast liści, które przekształciły się w ciernie.



Polecenia kontrolne

1. Podaj podstawowe funkcje łodygi.
2. Scharakteryzuj budowę morfologiczną łodygi.
3. Porównaj pierwotną budowę łodygi z wtórną budową łodygi.
4. Wyjaśnij, dlaczego byliny wykształcają pędy podziemne. Podaj nazwy dwóch rodzajów takich pędów.

2.6. Budowa i funkcje liści

Organy wegetatywne → korzeń, łodyga, **liście**

Ważne w tym temacie!

- związek budowy morfologicznej i anatomicznej liści z pełnionymi przez nie funkcjami
- modyfikacje liści

Liście są organami wegetatywnymi, które wchodzą w skład pędu rośliny. Do ich głównych zadań należą:

- wytwarzanie związków organicznych w procesie fotosyntezy,
- transpiracja, czyli wyparowywanie wody z rośliny,
- wymiana gazowa między wnętrzem rośliny a środowiskiem zewnętrznym.

Budowa morfologiczna liści

Typowy liść jest zbudowany z trzech elementów: blaszki liściowej, ogonka liściowego i nasady liścia.

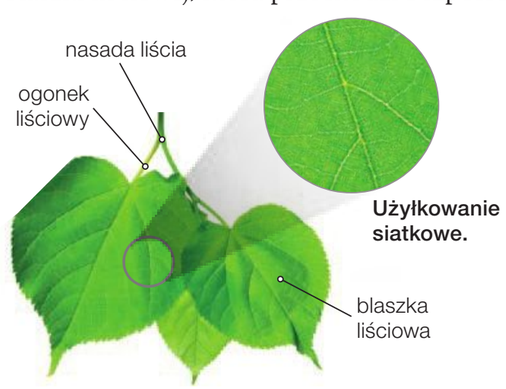
Blaszka liściowa jest zwykle płaska i cienka. Dzięki temu ma dużą powierzchnię, która pozwala na optymalne wykorzystanie światła słonecznego niezbędnego do zajścia fotosyntezy oraz na efektywną transpirację i wymianę gazową. W blaszce liściowej przebiegają wiązki przewodzące, które tworzą rusztowanie liścia. Nosi ono nazwę użyłkowania lub unerwienia. Użyłkowanie może być równoległe lub siatkowe. W użyłkowaniu równoległym wiązki przewodzące biegną równolegle do siebie. W użyłkowaniu siatkowym są one silnie rozgałęzione i tworzą rodzaj siatki. Wiązki przewodzące doprowadzają wodę z łodygi do liścia, a odprowadzają związki organiczne wytworzone w procesie fotosyntezy.

Ogonek liściowy łączy blaszkę liściową z nasadą liścia i ustawia liść w odpowiednim położeniu względem promieni słonecznych. Zawiera kolenchymę, która nadaje mu elastyczność. Przez ogonek liściowy przebiegają też wiązki przewodzące.

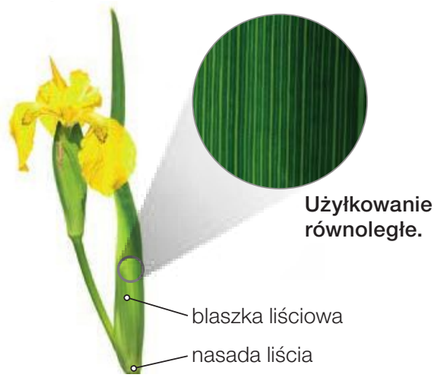
Nasada liścia jest rozszerzoną i spłaszczoną strukturą, która łączy liść z łodygą.

Formy morfologiczne liści

W zależności od gatunku rośliny wyróżnia się dwie główne formy morfologiczne liści: liście ogonkowe oraz liście bezogonkowe. Liście ogonkowe są zbudowane z blaszki liściowej, ogonka liściowego i nasady liścia. Z kolei liście bezogonkowe składają się z blaszki liściowej, która przechodzi bezpośrednio w nasadę liścia.



Budowa morfologiczna liścia ogonkowego.



Budowa morfologiczna liścia bezogonkowego.

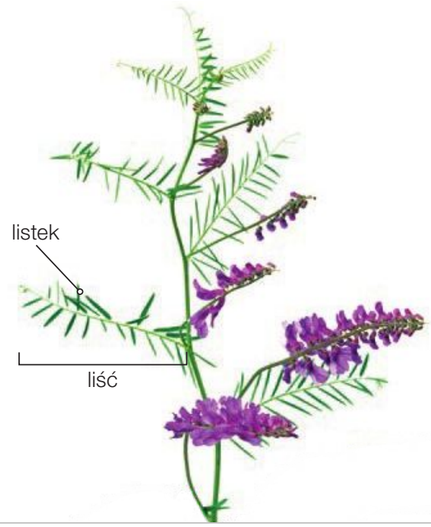
Liście pojedyncze i złożone

W zależności od liczby blaszek liściowych liście można podzielić na pojedyncze i złożone.

Liście pojedyncze mają tylko jedną blaszkę liściową, która może być niepodzielona lub podzielona wcięciami o różnej głębokości. Przykładem rośliny o liściach pojedynczych jest fiołek Rivina.



Liście złożone są zbudowane z kilku blaszek liściowych nazywanych listkami. Przykładem rośliny o liściach złożonych jest wyka ptasia.



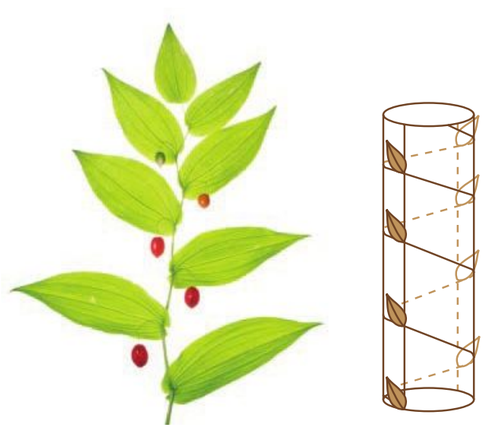
Dowiedz się więcej

Ulistnienie

Układ liści na łodydze nosi nazwę ulistnienia. Układ ten jest regularny i charakterystyczny dla danego gatunku rośliny. Wyróżnia się dwa główne typy ulistnienia: ulistnienie okółkowe i ulistnienie skrętoległe.



Ulistnienie okółkowe występuje wówczas, gdy z jednego węzła łodygi wyrasta więcej niż jeden liść. Taki rodzaj ulistnienia występuje np. u goryczki trojeściowej.



Ulistnienie skrętoległe występuje wtedy, gdy z jednego węzła łodygi wyrasta jeden liść, a wszystkie liście układają się na łodydze w kształt helisy. Taki rodzaj ulistnienia występuje np. u liczydła górskiego.

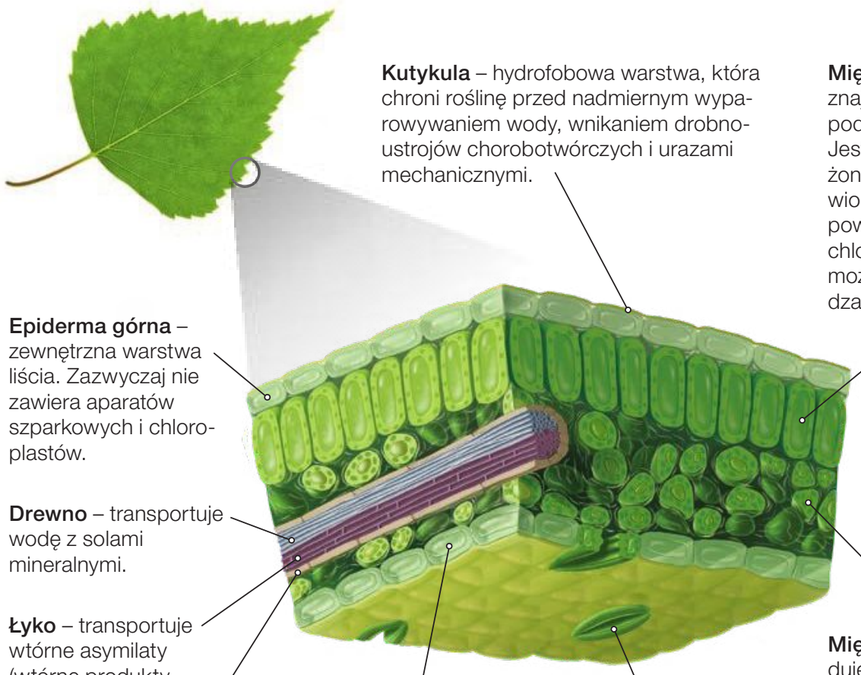
Budowa anatomiczna liścia

W budowie większości liści można wskazać cztery zasadnicze tkanki: epidermę, miękisz asymilacyjny, drewno i łyko.

Epiderma stanowi zewnętrzną warstwę liścia. Zwykle jest zbudowana z jednej warstwy komórek, które nie zawierają chloroplastów. Zewnętrzne ściany komórek epidermy są powleczone hydrofobową warstwą kutyny, która tworzy **kutykulę**. W epidermie liścia są zlokalizowane **aparaty szparkowe**. Umożliwiają one kontrolowaną transpirację oraz wymianę tlenu i dwutlenku węgla między wnętrzem rośliny a środowiskiem zewnętrznym.

Miękisz asymilacyjny, zwany również mezofilem, wypełnia przestrzeń między górną a dolną epidermą liścia. Jego komórki zawierają liczne **chloroplasty**, w których zachodzi fotosynteza. U części roślin miękisz asymilacyjny występuje w dwóch formach – w formie miękiszu palisadowego i miękiszu gąbczastego.

Drewno i **łyko** występują w obrębie wiązek przewodzących liścia. Funkcją drewna jest transport wody z solami mineralnymi z łodygi do żywych komórek liścia. Z kolei funkcją łyka jest transport asymilatów wytworzonych w miękiszu asymilacyjnym liścia do pozostałych żywych komórek rośliny.



Kutykula – hydrofobowa warstwa, która chroni roślinę przed nadmiernym wyparowywaniem wody, wnikaniem drobnoustrojów chorobotwórczych i urazami mechanicznymi.

Epiderma górna – zewnętrzna warstwa liścia. Zazwyczaj nie zawiera aparatów szparkowych i chloroplastów.

Drewno – transportuje wodę z solami mineralnymi.

Łyko – transportuje wtórne asymilaty (wtórne produkty fotosyntezy).

Tkanka wzmacniająca – ochrania wiązkę przewodzącą.

Epiderma dolna – zewnętrzna warstwa liścia. Zwykle zawiera aparaty szparkowe.

Aparat szparkowy – umożliwia transpirację oraz wymianę gazową między wnętrzem rośliny a środowiskiem zewnętrznym. Zawiera chloroplasty.

Miękisz palisadowy – znajduje się bezpośrednio pod górną epidermą liścia. Jest zbudowany z wydłużonych komórek, ustawionych prostopadle do powierzchni liścia. Zawiera chloroplasty, dzięki czemu możliwe jest przeprowadzanie fotosyntezy.

Miękisz gąbczasty – znajduje się nad dolną epidermą liścia. Jest zbudowany z komórek o nieregularnym kształcie, między którymi występują duże przestwory międzykomórkowe. Zawiera chloroplasty, dzięki czemu możliwe jest przeprowadzanie fotosyntezy. Ponadto jego budowa zapewnia intensywną cyrkulację gazów niezbędnych w procesach fotosyntezy i oddychania, a także stwarza optymalne warunki do transpiracji.

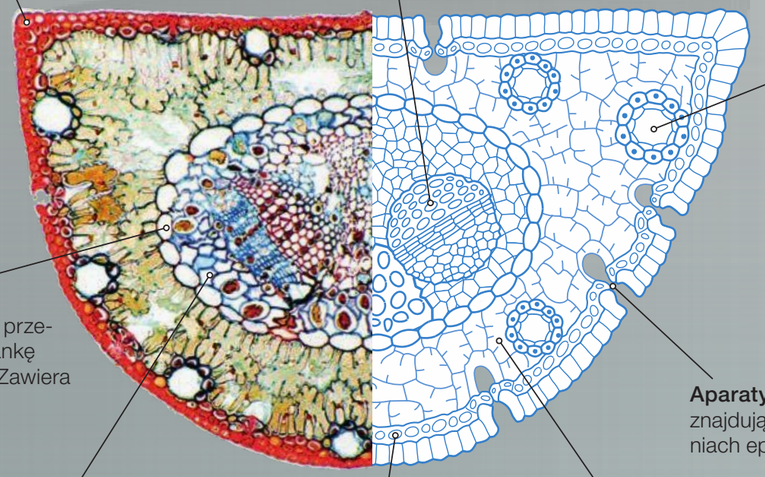
Budowa anatomiczna liścia na przykładzie liścia brzozy.

Liście roślin szpilkowych

Liście roślin szpilkowych – szpilki (igły) – charakteryzują się cechami **kseromorficznymi**, czyli adaptacjami do warunków suszy, w tym suszy fizjologicznej. Susza fizjologiczna występuje głównie zimą, kiedy woda w glebie zamarza i nie może zostać pobrana przez rośliny. Przystosowania w budowie liści roślin szpilkowych do warunków suszy służą głównie ograniczaniu transpiracji. Do przystosowań tych należą:

- silnie zredukowana blaszka liściowa, a tym samym – mała powierzchnia wyparowywania wody,
- epiderma zbudowana z grubościennych komórek powleczonych grubą warstwą kutykuli, a często również woskiem,
- aparaty szparkowe umiejscowione w zagłębieniach epidermy.





Epiderma – jest zbudowana z grubościennych komórek otoczonych grubą warstwą kutykuli.

Wiązki przewodzące – są nierozgałęzione i występują w centralnej części szpilki.

Kanał żywiczny – zawiera żywicę, która chroni rośliny przed wnikaniem do ich wnętrza drobnoustrojów chorobotwórczych.

Pochwa wiązkowa – otacza wiązki przewodzące i tkankę transfuzyjną. Zawiera ziarna skrobi.

Aparaty szparkowe – znajdują się w zagłębieniach epidermy.

Tkanka transfuzyjna – występuje wyłącznie u nagonasiennych roślin szpilkowych. Otacza wiązki przewodzące i pośredniczy w wymianie substancji między miękiszem a wiązkami przewodzącymi. Jej komórki są połączone licznymi plazmodesmami.

Warstwa sklerenchymy – występuje pod epidermą. Usztywnia szpilkę i ogranicza dopływ wody z miękiszu asymilacyjnego do powierzchni liścia.

Miękisz asymilacyjny – ma formę miękiszu wieloramiennego. Składa się z komórek o pofałdowanych ścianach, które zwiększają powierzchnię wymiany gazowej i wydajność fotosyntezy. Taka budowa miękiszu rekompensuje małą powierzchnię blaszki liściowej.

Budowa anatomiczna liścia szpilkowego na przykładzie szpilki sosny.

Liście różnych form ekologicznych roślin

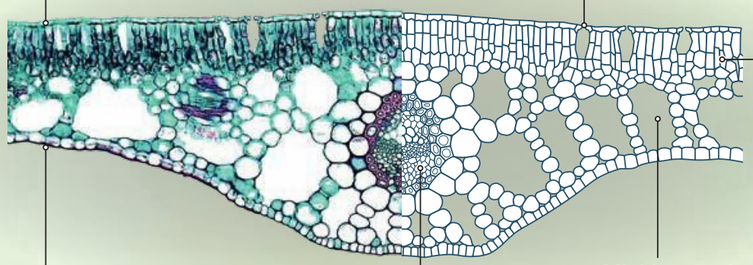
Budowa anatomiczna liścia zależy przede wszystkim od środowiska życia rośliny.

Hydrofity

Liście hydrofitów, np. rdestnicy, są cienkie i delikatne. Ich budowa stanowi przystosowanie do życia w wodzie lub do unoszenia się na jej powierzchni. Charakterystyczną cechą tych liści jest obecność miękiszu powietrznego.

Epiderma wielu gatunków zawiera chloroplasty – jest to przystosowanie do warunków świetlnych panujących w wodzie (do wody dociera bowiem niewielka ilość światła).

Aparaty szparkowe występują wyłącznie w liściach pływających po powierzchni wody. Są zlokalizowane w epidermie górnej.



miękisz asymilacyjny

Kutykula jest słabo rozwinięta – dzięki temu hydrofity mogą pobierać wodę bezpośrednio z otoczenia.

wiązka przewodząca

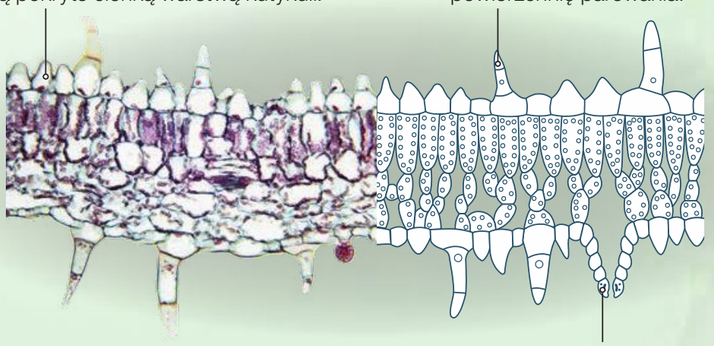
Miękisz powietrzny (aerenchyma) jest magazynem gazów, głównie tlenu, oraz umożliwia unoszenie się pędów roślin w wodzie lub na jej powierzchni.

Higrofity

Liście higrofitów, np. koleusa, mają cienkie blaszki liściowe. Są przystosowane do tego, aby ułatwiać roślinie transpirację w warunkach wysokiej wilgotności gleby i powietrza. Ponadto u wielu gatunków higrofitów występują hydatody (→ s. 92), które usuwają z rośliny wodę w stanie ciekłym.

Epiderma jest jednowarstwowa. Budują ją wypukłe cienkościenne komórki, które są pokryte cienką warstwą kutykuli.

Żywe włoski, które pokrywają epidermę, zwiększają powierzchnię parowania.

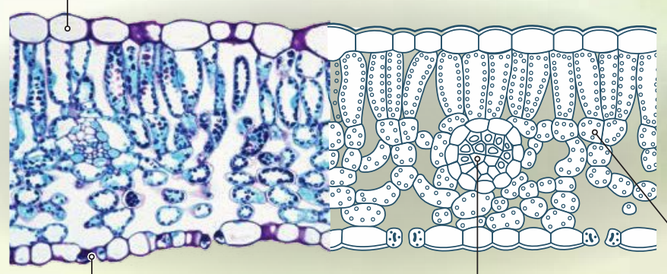


Aparaty szparkowe są stale otwarte i znajdują się po obu stronach blaszki liściowej (na specjalnych uwypukleniach epidermy).

Mezofity

Liście mezofitów, np. lilaka pospolitego, są przystosowane do regulowania transpiracji w zależności od aktualnej dostępności wody w środowisku.

Epiderma jest jednowarstwowa i pozbawiona chloroplastów. Na jej powierzchni znajduje się warstwa kutykuli.



Aparaty szparkowe znajdują się na spodniej stronie liści.

wiązka przewodząca

Miękisz asymilacyjny jest zwykle zróżnicowany na miękisz palisadowy i miękisz gąbczasty.

Kserofity

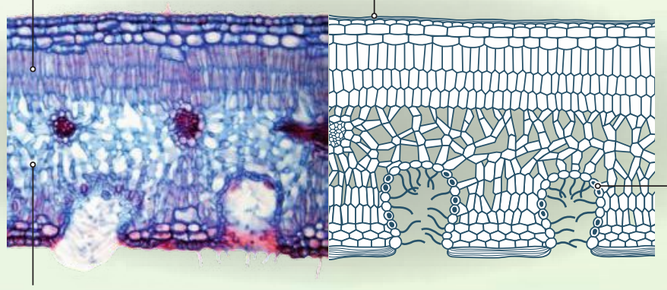
Do kserofitów należą sklerofity oraz sukulenty.

Sklerofity

Liście sklerofitów, np. oleandra, są twarde i skórzaste. Taka budowa stanowi przystosowanie do ograniczania transpiracji w warunkach niedoboru wody w środowisku.

Miękisz palisadowy jest zbudowany z kilku warstw.

Epiderma jest wielowarstwowa i pokryta grubą kutykulą.



Aparaty szparkowe znajdują się na spodniej stronie liści, w zagłębieniach epidermy. Zwykle są one otoczone martwymi włoskami, które utrudniają wyparowywanie wody.

Miękisz gąbczasty ma niewielkie przestwory międzykomórkowe.

Sukulenty

Liście sukulentów liściowych, np. aloesu, są grube i soczyste. Taka budowa stanowi przystosowanie do magazynowania wody.

Epiderma jest pokryta warstwą kutykuli oraz wosków.



Miękisz wodny gromadzi wodę.

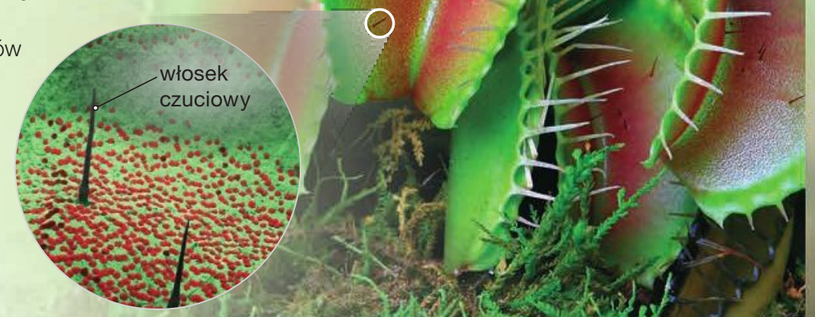
Modyfikacje liści

U niektórych roślin liście ulegają modyfikacjom, dzięki czemu mogą pełnić dodatkowe funkcje.

Liście pułapkowe

Występują u roślin mięsożernych, np. u muchołówki. Liście te są wyspecjalizowane w chwytaniu i trawieniu drobnych zwierząt bezkręgowych, głównie owadów – w ten sposób roślina pozyskuje niezbędne do wzrostu związki azotu. Liście pułapkowe zawierają włoski trawienno-chłonne (→ s. 92).

Na liściach pułapkowych muchołówki znajdują się włoski czuciowe. Ich potrącenie przez ofiarę powoduje zamknięcie się liścia – pułapki.



Ciernie

Występują u wielu sukulentów, np. u kaktusów. Są silnie zredukowane, sztywne, zaostrzone i zwykle zdrewniałe. Chronią przed zwierzętami roślinożernymi oraz ograniczają transpirację. U tych sukulentów funkcję asymilacyjną pełni łodyga.



Liście spichrzowe

Występują np. u kapusty. Są grube, mięsiste i bogate w miękisz spichrzowy. Magazynują substancje zapasowe.



Liściaki

Występują u niektórych kserofitów, np. u akacji. Są to przekształcone ogonki liściowe, które pełnią funkcję asymilacyjną.



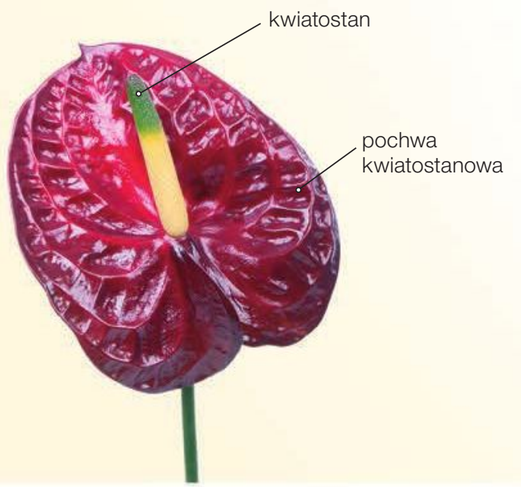
Wąsy czepne

Występują u niektórych roślin pnących, np. u wyki. Są wiotkimi i cienkimi fragmentami liści, które umożliwiają roślinie owijanie się wokół podpory.



Pochwy kwiatostanowe

Występują np. u anturium. Są zwykle duże i barwne. Otaczają niepozorne kwiatostany, dzięki czemu przywabiają do nich zwierzęta zapylające. Pełnią więc funkcje powabni.



Liście łuskowate

Występują u roślin wieloletnich, np. u drzew. Są suche, bezzieleniowe i bogate w sklerenchymę. Ochraniają m.in. zawiązki liści lub kwiatów.



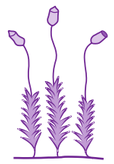
Polecenia kontrolne

1. Wykaż związek między budową morfologiczną a funkcjami liści.
2. Przedstaw różnice między budową morfologiczną liści ogonkowych a budową morfologiczną liści bezogonkowych oraz między budową liści pojedynczych a budową liści złożonych.
3. Omów przystosowania w budowie anatomicznej liścia sosny do życia w warunkach suszy fizjologicznej.
4. Podaj przykłady modyfikacji liści i określ ich znaczenie dla roślin.

2.7. Mchy – rośliny o dominującym gametoficie

Ważne w tym temacie!

- cechy charakterystyczne mchów
- rozmnażanie się mchów
- znaczenie mchów w przyrodzie i dla człowieka



Większość mchów to rośliny lądowe, które zasiedlają głównie tereny wilgotne. Najczęściej spotyka się je w runie leśnym, czyli w najniższej warstwie lasu. Niektóre gatunki rosną w środowiskach niedostępnych dla innych roślin, np. na powierzchni skał. Nieliczne gatunki przystosowały się wtórnie do życia w środowisku wodnym.

Charakterystyczną cechą mchów jest występowanie w ich cyklu rozwojowym heteromorficznej przemiany pokoleń, w której gametofit (1n) dominuje nad sporofitem (2n).

Budowa mchów

Gametofit to zielona wieloletnia roślina, która składa się z:

- **łodyżki** – zwykle wzniesionej i nierozgałęzionej. Jej zewnętrzną warstwę stanowi grubościenna skórka, a wnętrze wypełnia miękiszowy rdzeń. U niektórych gatunków przez rdzeń biegnie słabo wykształcona wiązka przewodząca, zbudowana z **hydroidów** (komórek przewodzących wodę) oraz **leptoidów** (komórek przewodzących asymilaty). Na szczycie łodyżki zazwyczaj powstają gametangia (rodnie, w których są wytwarzane komórki jajowe, lub plemnie, w których powstają plemniki);
- **listków** – najczęściej zbudowanych z jednej warstwy miękiszu asymilacyjnego. Listki mogą być wzmocnione wielowarstwowym żeberkiem, wewnątrz którego przebiegają hydroidy i leptoidy. U większości gatunków listki odgrywają główną rolę w pobieraniu wody ze środowiska;
- **chwytników** – wielokomórkowych i rozgałęzionych. Umocowują one roślinę w podłożu.

Sporofit jest pokoleniem krótkotrwałym, uzależnionym od gametofitu – pobiera z niego wodę z substancjami mineralnymi, a u niektórych gatunków również produkty fotosyntezy. Sporofit składa się:

- ze **stopy** wyrastającej z gametofitu. Stopę tworzą pofałdowane komórki o dużej powierzchni, które pobierają z gametofitu wodę i substancje odżywcze;
- z **sety**, czyli bezlistnego trzonka. Seta jest wzniesiona i zwykle nierozgałęziona. Jej zewnętrzną warstwę tworzy grubościenna epiderma. Wnętrze sety wypełnia miękiszowy rdzeń, przez który może przebiegać wiązka przewodząca (np. u płonników);
- z **zarodni** zbudowanej z puszki i wieczka. Wewnątrz puszki znajduje się tkanka zarodnikotwórcza (archesporialna). Komórki tej tkanki dzielą się mejotycznie, w wyniku czego powstają haploidalne zarodniki – mejospory.

Mchy to jedyne rośliny lądowe, które nie są roślinami naczyniowymi. Oznacza to, że nie wytwarzają drewna – wyspecjalizowanej tkanki przewodzącej wodę. Mchy nie są także organowcami, ponieważ mają prostą budowę tkankową, a ich sporofit nie wykształca organów – korzeni, łodyg i liści. Łodyżki, listki i chwytniki gametofitu są strukturami analogicznymi do organów sporofitu, które występują u pozostałych roślin – dlatego noszą inne nazwy.



Budowa płonników

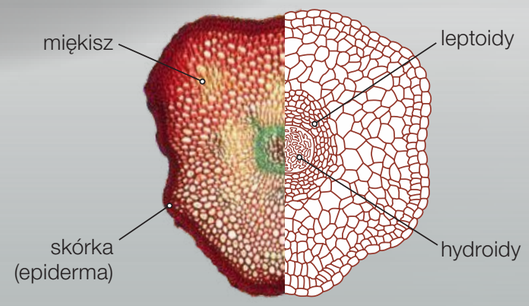
Płonniki to grupa mchów o wysokim stopniu organizacji. Gametofity i sporofity płonników zawierają wiązki przewodzące zbudowane z hydroidów i leptoidów.

Budowa gametofitu płonników

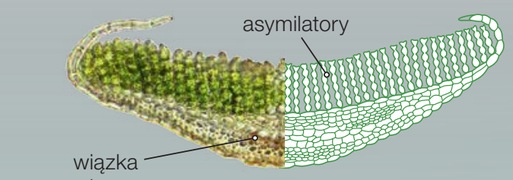
Łodyżka jest zbudowana ze skórki i z miękiszowego rdzenia, w którym znajduje się wiązka przewodząca.

Listki mają na górnej powierzchni asymilatory – pionowe szeregi komórek zawierających chloroplasty, w których zachodzi fotosynteza. Wiązka przewodząca listków jest połączona z wiązką łodyżki. U płonników listki są pokryte kutykulą, co ogranicza pobieranie przez nie wody.

Chwytniki umocowują roślinę w podłożu. U płonników mogą też uczestniczyć w pobieraniu wody z solami mineralnymi.



Przekrój przez łodyżkę.



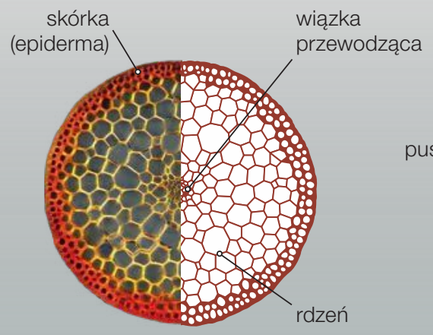
Przekrój przez listek.



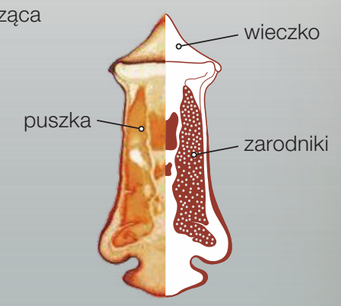
Budowa sporofitu płonników

Zarodnia składa się z puszki i wieczka. Wewnątrz puszki powstają zarodniki (mejospory).

Seta jest zbudowana z epidermy i miękiszowego rdzenia, w którym znajduje się wiązka przewodząca.



Przekrój przez setę.



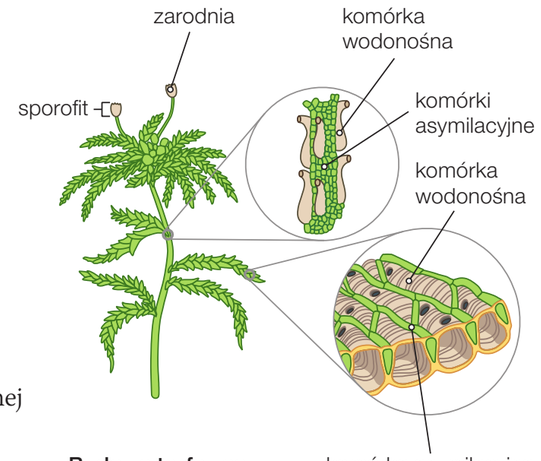
Przekrój przez zarodnię.

Mchy rosną w gęstych kępach i mają zdolność gromadzenia wody. Ułatwia im to rozmnażanie, ponieważ zapłodnienie wymaga obecności wody. Ponadto gęste kępy mchów chronią glebę przed erozją.



Torfowce

Torfowce są wyspecjalizowaną grupą mchów. Dojrzały gametofit torfowców jest pozbawiony chwytników – ma postać łodyżki z licznymi odgałęzieniami, na których tworzą się rodnie lub plemnie. Dzięki temu wierzchołkowa część łodyżki stale rośnie, natomiast dolna stopniowo obumiera i ulega mineralizacji. Łodyżki i listki są zbudowane z żywych, zdolnych do fotosyntezy komórek asymilacyjnych i z martwych komórek wodonośnych, które chłoną i gromadzą wodę. Sporofit torfowców składa się z silnie zredukowanej sety oraz z zarodni, która jest osadzona na trzoneczku wytworzonym przez gametofit.



Budowa torfowca.

Rozmnażanie się mchów

Rozmnażanie się mchów przebiega dwuetapowo: gametofit rozmnaża się za pomocą gamet, a sporofit – za pomocą zarodników.

Gametofit wytwarza gametangia – rodnie i plemnie. Wskutek podziałów mitotycznych w rodniach powstają nieruchliwe komórki jajowe, a w plemniach – ruchliwe, opatrzone wiciami plemniki. Zapłodnienie u mchów wymaga obecności wody, ponieważ plemniki muszą przepłynąć z plemni do rodni, która zawiera komórkę jajową.

Gametangia powstają najczęściej na szczycie łodyżki, co uniemożliwia jej dalszy wzrost.

Gatunki, u których rodnie i plemnie występują na tym samym osobniku, określa się jako **jednopienne**, a gatunki, u których rodnie i plemnie występują na różnych osobnikach – jako **dwupienne**.

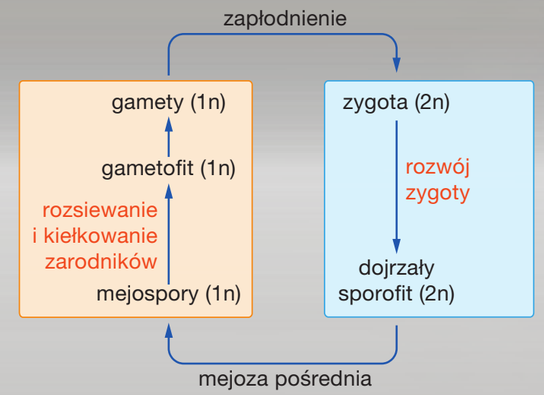
Sporofit wytwarza zarodnie. Wewnątrz zarodni w wyniku podziałów mejotycznych tkanki zarodnikotwórczej powstają haploidalne zarodniki – **mejospory**. Są one jednakowe morfologicznie, lecz różne genetycznie. Mejospory mają charakter przetrwalnikowy i służą do rozprzestrzeniania się gatunku. To dlatego mchy należą do **roślin zarodnikowych**.

Cechy charakterystyczne mchów

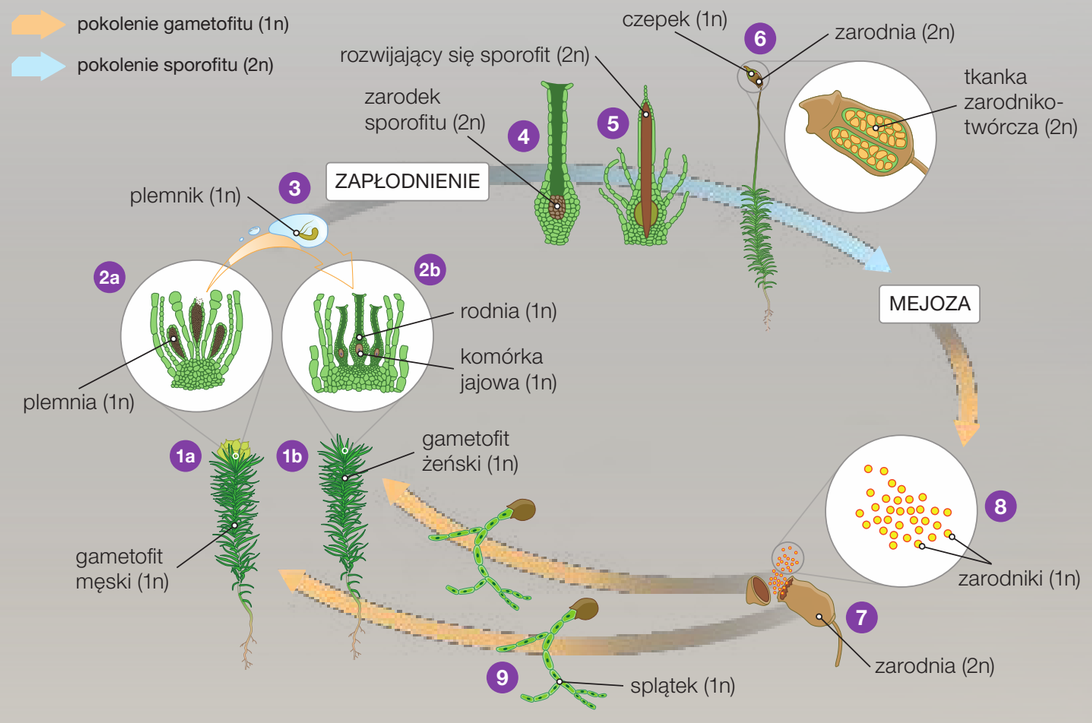
Cecha	Opis
Pokolenie dominujące w przemianie pokoleń	W cyklu rozwojowym gametofit (1n) dominuje nad sporofitem (2n).
Budowa sporofitu (2n)	Sporofit nie wykształca organów – korzeni, łodyg i liści (mchy nie należą do organowców).
Budowa gametofitu (1n)	Gametofit to zielona, wieloletnia roślina, która wytwarza łodyżki, listki i chwytniki – struktury analogiczne do organów sporofitu innych grup roślin.
Występowanie drewna (lub jego brak)	Nie wytwarzają drewna (mchy nie są roślinami naczyniowymi). U niektórych gatunków jego funkcję pełnią komórki przewodzące wodę – hydroidy.
Sposób rozprzestrzeniania się	Rozprzestrzeniają się przez zarodniki (mchy należą do roślin zarodnikowych).
Sposób zapłodnienia	Do zapłodnienia mchów (oogamii) jest potrzebna woda.

Cykl rozwojowy płonnika pospolitego

Płonnik pospolity występuje w lasach, na łąkach oraz na torfowiskach. W jego cyklu rozwojowym dominuje wieloletni, samożywny gametofit. Gametofity płonnika są dwupienne – rodnie zebrane w rodniostany i plemnie zebrane w plemniostany znajdują się na różnych osobnikach. Sporofit jest krótkotrwały, bezzieleniowy i odżywia się kosztem gametofitu.



Przemiana pokoleń u płonnika pospolitego.



1a Na gametofitach męskich tworzą się plemnie.

1b Na gametofitach żeńskich tworzą się rodnie.

2a W plemniach powstają opatrzone wiciami plemniki.

2b W każdej rodni powstaje komórka jajowa.

3 Plemnik przepływa w kropli wody do rodni, gdzie w procesie zapłodnienia łączy się z komórką jajową. W wyniku zapłodnienia powstaje zygota.

4 Zygota dzieli się mitotycznie, co prowadzi do powstania wielokomórkowego zarodka sporofitu.

5 Rozwijający się sporofit wytwarza stopę oraz setę. Stopa wrasta w gametofit i pobiera z niego wodę z solami mineralnymi oraz asymilaty.

6 Na szczycie sety powstaje zarodnia, w której znajduje się tkanka zarodnikotwórcza. Komórki tej tkanki wytwarzają zarodniki.

7 Zarodniki (mejospory) wysypują się z zarodni.

8 Zarodniki są jednakowe morfologicznie, ale zróżnicowane płciowo i genetycznie.

9 Zarodniki kiełkują w nitkowate splątki, które są młodocianymi stadiami gametofitu.

Znaczenie mchów w przyrodzie i dla człowieka



Organizmy pionierskie

Ze względu na niewielkie wymagania życiowe mchy często jako pierwsze zasiedlają nowe środowiska. Na przykład rosną na nagich skałach, gdzie uczestniczą w tworzeniu się gleby. Dopiero na przygotowanym przez nie podłożu mogą rozwijać się inne rośliny.



Magazynowanie wody

Dzięki zdolności do zatrzymywania wody mchy uczestniczą w regulowaniu bilansu wodnego biocenoz leśnych. W okresie suszy zapobiegają wysychaniu gleby, a podczas obfitych opadów gromadzą i zatrzymują nadmiar wody.



Torfowiska

Znacząca rolę w przyrodzie oraz gospodarce człowieka odgrywają **torfowce**. Są one głównym składnikiem **torfowisk** – zbiorowisk roślinnych rozwijających się na terenach podmokłych. Na torfowiskach, w warunkach dużej wilgotności oraz ograniczonego dostępu powietrza, z obumarłych torfowców i innych roślin bagiennych powstaje węglowa skała osadowa – torf.



Torfowiska to zbiorowiska roślinne, które składają się głównie z torfowców. Oprócz nich żyje tam wiele rzadkich gatunków roślin, np. bagno zwyczajne, i zwierząt, np. szlaczkoń torfowiec.



Borowina to rozdrobniony, zmieszany z wodą i podgrzany torf. Zawiera wiele cennych składników o działaniu bakteriobójczym i nawilżającym.

Przykłady rodzimych gatunków mchów

W Polsce występuje ponad 670 gatunków mchów. Większość z nich żyje w wilgotnych i zacienionych miejscach, np. w runie leśnym, choć spotyka się również gatunki zasiedlające zbiorniki wodne.



Rokietnik pospolity to mech rosnący głównie w borach (czyli w lasach z przewagą drzew iglastych), w których tworzy żółtozielone darnie. Gatunek ten jest objęty ochroną częściową.



Bielistka siwa, mimo że występuje pospolicie na terenie całej Polski, jest objęta częściową ochroną gatunkową. Rośnie głównie w lasach iglastych, ale można ją spotkać również na wilgotnych łąkach, skałach czy wrzosowiskach.



Zdrojek pospolity występuje w wodach słodkich – stojących i płynących. Porasta dno i kamienie, tworząc podwodne kępy. Rośnie w bardzo czystych wodach o różnym stopniu żyzności.



Torfowiec nastroszony rośnie na średnio żyznych torfowiskach, które występują w lasach iglastych i mieszanych. Jest objęty ochroną gatunkową.

Polecenia kontrolne

1. Przedstaw przystosowania mchów do lądowego trybu życia.
2. Wyjaśnij, jakie znaczenie dla rozmnażania płciowego mchów ma fakt, że rośliny te występują w zwartych kępach.
3. Skonstruuj tabelę, w której porównasz budowę gametofitu mchów z budową sporofitu mchów.
4. Ustal, do którego pokolenia należą podane niżej struktury:
   a. splątek,
   b. czepek,
   c. zarodnik,
   d. seta.
5. Wyjaśnij, w jaki sposób mchy wpływają na regulację bilansu wodnego biocenoz leśnych.

2.8. Paprotniki – zarodnikowe rośliny naczyniowe

Ważne w tym temacie!

- cechy charakterystyczne paprotników
- rozmnażanie się paprotników
- znaczenie paprotników w przyrodzie i dla człowieka

Takson paprotników to sztuczna, polifiletyczna grupa, do której niegdyś zaliczano trzy grupy roślin: paprociowe (paprocie), skrzypowe i widłakowe. Ze względu na różne pochodzenie ewolucyjne grupy te są obecnie klasyfikowane jako odrębne jednostki taksonomiczne w kategorii gromady lub podgromady.

Cechy wspólne paprotników

Paprotniki mimo różnego pochodzenia ewolucyjnego mają pewne cechy wspólne:

- rozprzestrzeniają się za pomocą **zarodników** (mejospor) – oznacza to, że paprotniki należą do roślin zarodnikowych,
- występuje u nich heteromorficzna przemiana pokoleń, w której pokoleniem dominującym jest samożywny, wieloletni **sporofit**,
- sporofit jest zbudowany z organów – łodyg, korzeni i liści – co świadczy o tym, że paprotniki należą do **organowców**,



Do paprotników należą m.in. widliczki (przedstawiciele widłakowych). Widliczki wytwarzają dwa rodzaje zarodników, które kiełkują w dwupienne gametofyty.

- w budowie anatomicznej sporofitu występuje **drewno** – tym samym paprotniki są **roślinami naczyniowymi**,
- gametofit paprotników (nazywany przedroślem) jest drobny i krótkotrwały,
- zapłodnienie (oogamia) wymaga obecności wody.

Rodzaje zarodników paprociowych, widłakowych i skrzypowych

Zarodniki paprotników

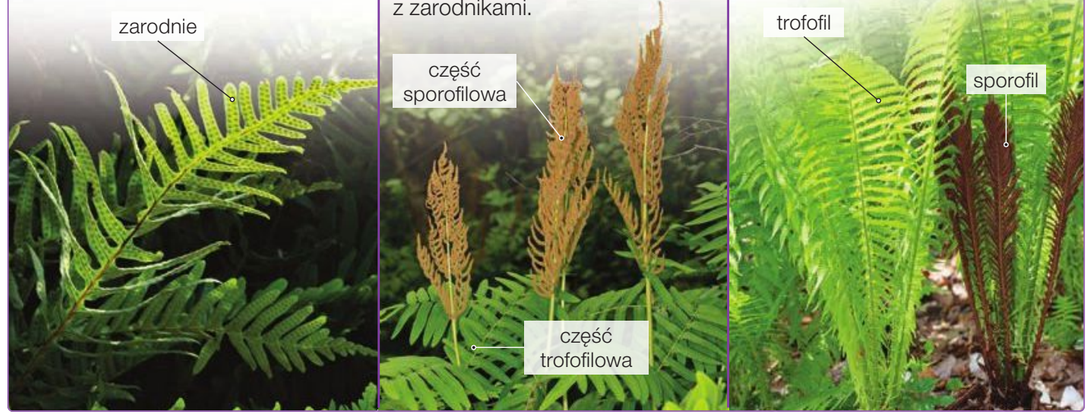
jednakowe morfologicznie i niezróżnicowane płciowo	jednakowe morfologicznie, ale zróżnicowane płciowo	zróżnicowane morfologicznie i płciowo
• kiełkują w jednopienne gametofity – jeden gametofit wytwarza zarówno rodnie, jak i plemnie • występują u paprotników **jednakozarodnikowych** (części paproci i części widłakowych)	• kiełkują w dwupienne gametofity – rodnie i plemnie występują na różnych gametofitach • występują u skrzypów	• kiełkują w dwupienne gametofity – duże makrospory dają początek gametofitom żeńskim (z rodniami), a mniejsze mikrospory dają początek gametofitom męskim (z plemniami) • występują u paprotników **różnozarodnikowych** (części paproci i części widłakowych)

Liście paprotników

Liście paprotników są często zróżnicowane na sporofile (liście zarodnionośne), na których znajdują się zarodnie, oraz trofofile (liście asymilacyjne), które przeprowadzają fotosyntezę. Część paprotników ma sporotrofofile – liście, które łączą funkcje zarodnionośną i asymilacyjną.

Rodzaje liści paprotników na przykładzie paproci

sporotrofofile		sporofile i trofofile
Liście **paprotki zwyczajnej** to sporotrofofile – pełnią funkcję asymilacyjną oraz uczestniczą w rozmnażaniu się rośliny. Na ich spodniej stronie znajdują się kupki zarodni.	Liście **długosza królewskiego** są sporotrofofilami. Dolna (zielona) część liści pełni funkcję asymilacyjną, natomiast górna (brunatna) część wytwarza zarodnie z zarodnikami.	**Pióropusznik strusi** wytwarza dwa rodzaje liści. Zielone trofofile pełnią funkcję asymilacyjną, a brunatne sporofile wytwarzają zarodnie.



Paprociowe

Paprociowe nazywa się również paprociami. **Sporofit paproci** składa się zwykle z:

- podziemnej łodygi – **kłącza** – która magazynuje substancje odżywcze i umocowuje roślinę w glebie,
- **korzeni przybyszowych** (→ s. 93), które pobierają z gleby wodę z solami mineralnymi,
- **pierzastych liści**, które przeprowadzają fotosyntezę oraz wytwarzają zarodnie z zarodnikami.

Większość paproci należy do roślin jednakozarodnikowych – wytwarza jeden rodzaj zarodników, które kiełkują w jednopienne gametofity. Paprocie różnozarodnikowe wytwarzają dwa rodzaje zarodników, które kiełkują w dwupienne gametofity. Paprocie te są stosunkowo nieliczne.

Gametofit paproci ma postać niewielkiej plechy, przytwierdzonej do podłoża chwytnikami. Pokolenie to wytwarza gametangia (rodnie i plemnie), a także rozmnaża się za pomocą gamet.



Paprocie drzewiaste występują głównie w klimacie tropikalnym. Ich organy nie przyrastają wtórnie na grubość – uzyskują one sztywność dzięki płytkom sklerenchymy.

Budowa nerecznicy samczej

Nerecznica samcza występuje w cienistych lasach na terenie całej Polski. Sporofit nerecznicy składa się z kłącza, korzeni przybyszowych oraz liści o charakterze sporotrofofili. Gametofit jest samożywny, jednopienny, przytwierdzony do podłoża za pomocą chwytników.

Sporofit nerecznicy samczej



Dojrzałe liście przeprowadzają fotosyntezę. Są one pierzaste i składają się z wielu mniejszych listków.

Młode liście są zwinięte w charakterystyczny ślimakowaty sposób.

Kłącze jest podziemną łodygą, która magazynuje substancje zapasowe i utrzymuje roślinę w glebie.

Korzenie przybyszowe są liczne i cienkie. Służą do pobierania z gleby wody z solami mineralnymi.

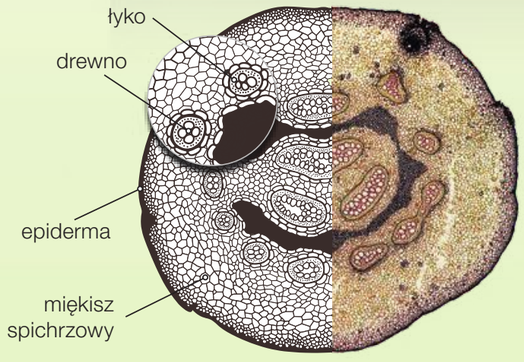


Zarodnie są wytwarzane w kupkach na spodniej stronie dojrzałych liści. Każda kupka jest otoczona błoną – zawijką. Zarodnie mają specjalny półpierscień otwierający, który umożliwia wysypywanie się zarodników.

Gametofit nerecznicy samczej

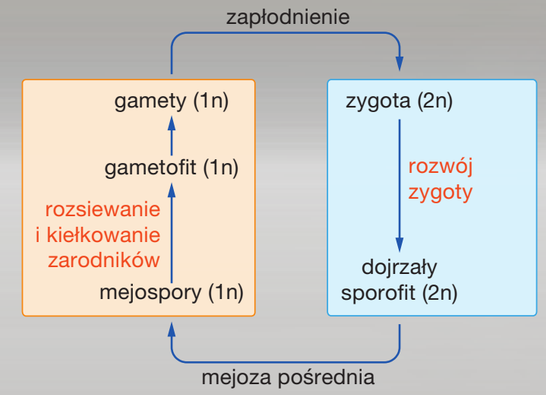
Budowa anatomiczna łodygi paproci

Łodygę (kłącze) paproci okrywa epiderma. Wnętrze łodygi wypełnia miękisz spichrzowy. W środkowej części łodygi przebiegają koncentryczne wiązki przewodzące. W centrum każdej z nich znajduje się drewno zbudowane z cewek, a wokół niego – łyko zbudowane z komórek sitowych. Wiązki przewodzące występują również w liściach i korzeniach.

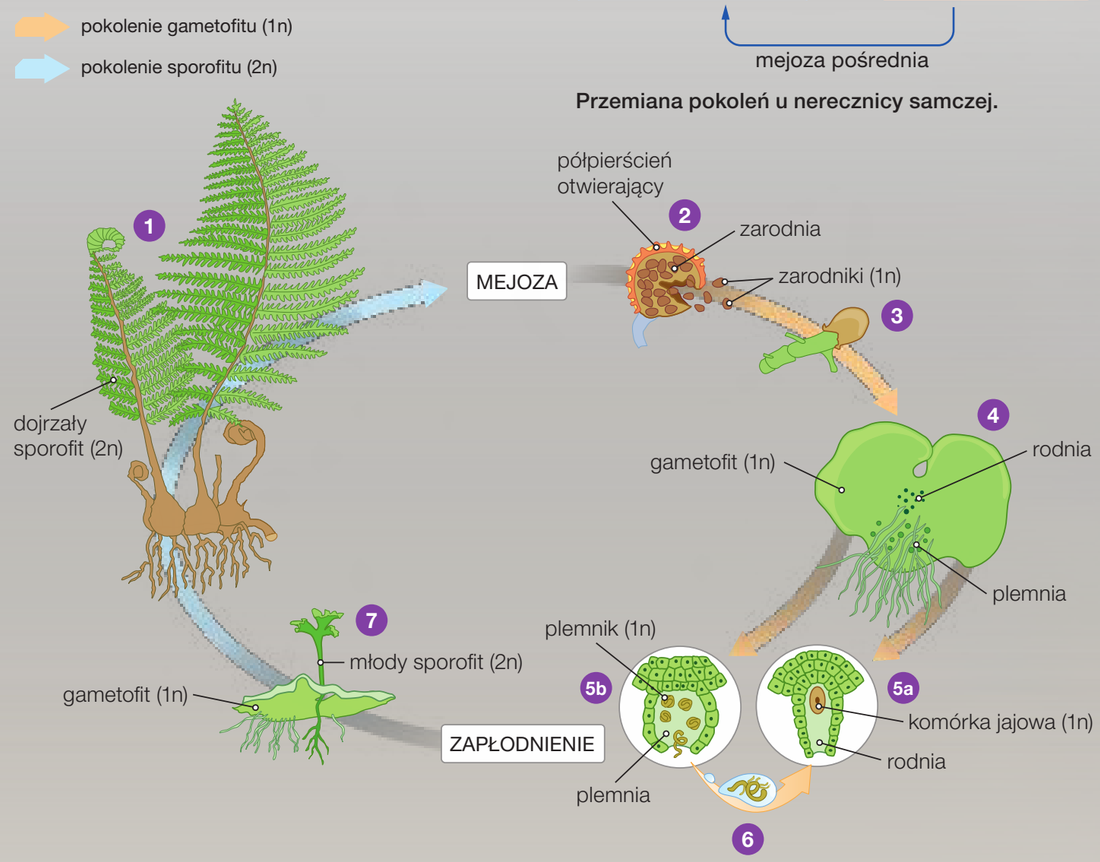


Cykl rozwojowy nerecznicy samczej

Nerecznica samcza należy do paproci jednakozarodnikowych – jej zarodniki nie są zróżnicowane morfologicznie i płciowo, ale są zróżnicowane genetycznie. Z zarodników wyrastają jednopienne gametofity.



Przemiana pokoleń u nerecznicy samczej.



1. Na spodniej stronie liści znajdują się zarodnie, które są zebrane w kupki i otoczone zawijką.
2. W zarodniach znajduje się tkanka zarodnikotwórcza. Komórki tej tkanki dzielą się mejotycznie i w ten sposób wytwarzają zarodniki. Zarodnie są zaopatrzone w półpierścień, który po dojrzeniu zarodników się wygina, co skutkuje rozerwaniem zarodni i wysypaniem się zarodników.
3. Zarodniki (mejospory) kiełkują i wytwarzają gametofit (przedrośle).
4. Przedrośle jest jednopienne – na dolnej powierzchni zawiera rodnie oraz plemnie.

5a. W każdej rodni powstaje komórka jajowa.

5b. W plemniach powstają plemniki.

6. Plemniki przepływają do rodni w warstwie wody. W rodni jeden z plemników łączy się z komórką jajową (zachodzi zapłodnienie).
7. Z zygoty rozwija się sporofit, który do momentu wykształcenia liści korzysta z asymilatów wytwarzanych przez przedrośle. Po usamodzielnieniu się sporofitu przedrośle obumiera.

Skrzypowe

Do współczesnych skrzypowych zalicza się tylko jeden rodzaj – skrzypy.

Sporofit skrzypu jest wieloletnią rośliną zielną. Składa się on z:

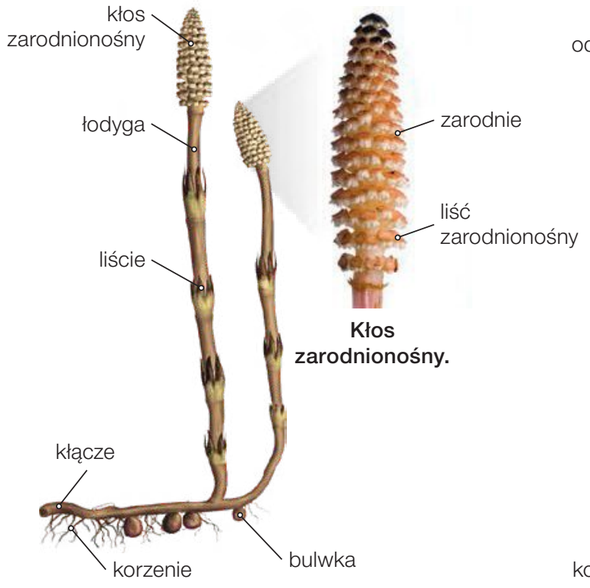
- **łodyg nadziemnych** oraz **kłączy**, zróżnicowanych na krótkie węzły i wydłużone międzywęźla. Łodygi nadziemne skrzypów mogą być rozgałęzione – wówczas z węzłów wyrastają okółki pędów bocznych, również podzielonych na węzły i międzywęźla. Kłącza zawierają bulwki, w których są magazynowane substancje zapasowe;
- **korzeni przybyszowych**, które wyrastają z węzłów kłącza;
- **łuskowatych** liści zrośniętych w pochewkę, które wyrastają z węzłów łodygi nadziemnej.

Liście skrzypów nie przeprowadzają fotosyntezy, a funkcję organu asymilacyjnego całkowicie przejmuje nadziemna łodyga. Na szczytach nadziemnych łodyg znajdują się **kłosy zarodnionośne** (sporofilostany), czyli skupienia liści zarodnionośnych (sporofili). Na spodniej stronie liści zarodnionośnych wykształcają się zarodnie, w których powstają zarodniki (mejospory). Zarodniki skrzypów są jednakowe morfologicznie, ale wykazują zróżnicowanie genetyczne i płciowe – wyrastają z nich **dwupienne gametofity** (przedrośla żeńskie oraz przedrośla męskie). W zależności od gatunku kłosy zarodnionośne mogą występować na szczytach zielonych łodyg asymilacyjnych (płonnych) lub na osobnych pędach bezzieleniowych (zarodnionośnych).

Gametofity skrzypów są plechowate, drobne, zielone i przytwierdzone do gleby za pomocą chwytników. Pokolenie to wytwarza gametangia i rozmnaża się za pomocą gamet.

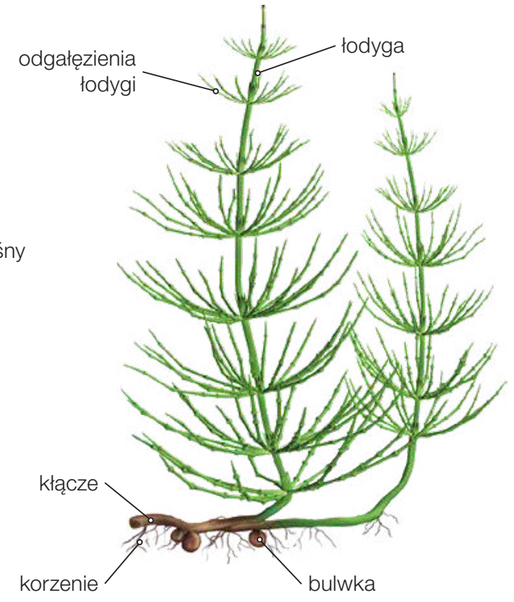
Budowa sporofitu skrzypu polnego

U skrzypu polnego występują dwa typy pędów – wiosenny, bezzieleniowy pęd zarodnionośny oraz letni, zielony pęd płonny, który nie bierze udziału w rozmnażaniu.



Kłos zarodnionośny.

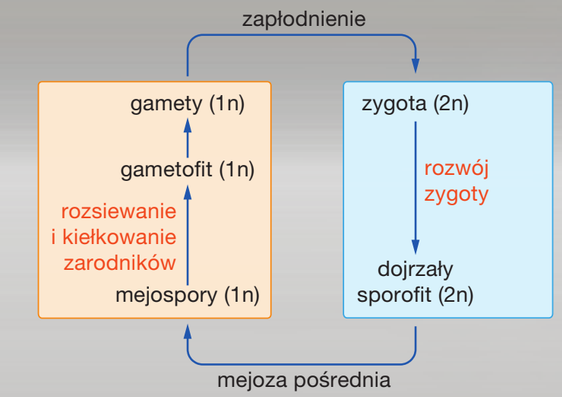
Pęd zarodnionośny wyrasta z kłącza wiosną. Jest on bezzieleniowy, a substancje odżywcze czerpie z kłącza i bulwek. Pęd żyje zaledwie kilkanaście dni – do czasu wytworzenia i wysypania się zarodników.



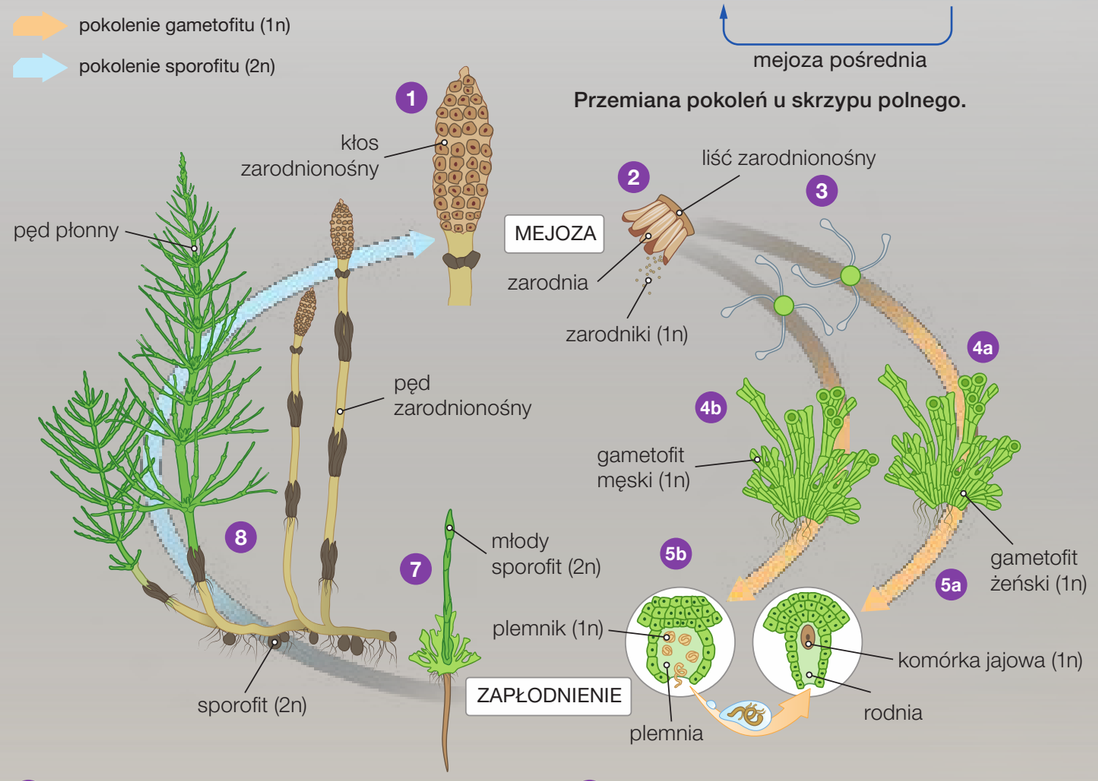
Pęd płonny żyje od wiosny do późnej jesieni. Przeprowadza fotosyntezę, a nadmiar wytworzonych asymilatów zostaje zmagazynowany w kłączu oraz w bulwkach. Roślina zimuje w w postaci kłącza.

Cykl rozwojowy skrzypu polnego

Skrzyp polny wytwarza dwa rodzaje pędów – pęd zarodnionośny oraz pęd płonny. Zarodniki powstające w zarodniach pędu zarodnionośnego nie są zróżnicowane morfologicznie, ale są zróżnicowane genetycznie i płciowo. Z zarodników wyrastają dwupienne gametofity.



Przemiana pokoleń u skrzypu polnego.



1. Na szczycie pędu zarodnionośnego powstaje kłos zarodnionośny złożony z liści zarodnionośnych.
2. Na spodniej stronie liści zarodnionośnych tworzą się zarodnie z tkanką zarodnikotwórczą. Jej komórki, dzieląc się mejotycznie, wytwarzają zarodniki.
3. Zarodniki wysypują się z zarodni. Każdy z nich jest zaopatrzony w cztery taśmowate twory – sprężyce. Zarodniki sczepiają się sprężycami, dzięki czemu są roznoszone w grupach. Zwiększa to prawdopodobieństwo wykiełkowania obok siebie gametofitów męskich i żeńskich.

4a. Zarodnik kiełkuje w przedrośle żeńskie wytwarzające rodnie.

4b. Zarodnik kiełkuje w przedrośle męskie wytwarzające plemnie.

5a. W każdej rodni powstaje komórka jajowa.

5b. W plemniach powstają opatrzone wiciami plemniki.

6. Plemniki przepływają w kropli wody do rodni. W rodni jeden z plemników łączy się z komórką jajową (zachodzi zapłodnienie).

7. Z zygoty rozwija się sporofit w postaci pędu płonnego. Pęd ten wytwarza kłącze i bulwki, a następnie – jesienią – obumiera.

8. Wiosną z kłącza wyrasta pęd zarodnionośny.

Widłakowe

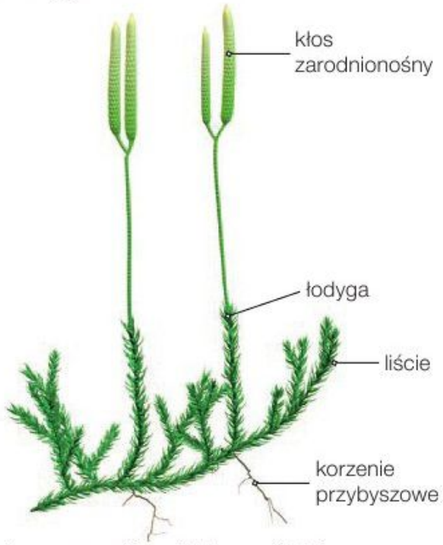
W Polsce występuje 13 gatunków widłakowych – wszystkie są objęte ochroną.

Sporofit widłakowych składa się z:

- widlasto rozgałęzionej, płożącej się po ziemi **łodygi**,
- widlasto rozgałęzionych **korzeni przybyszowych**,
- **drobnych liści** – zielonych łuskowatych liści asymilacyjnych oraz liści zarodnionośnych, skupionych zazwyczaj w kłos zarodnionośny.

Wśród widłakowych wyróżnia się gatunki **jednakozarodnikowe** (wytwarzające zarodniki jednakowe morfologicznie i fizjologicznie, z których powstają jednopienne gametofity) oraz gatunki **różnozarodnikowe** (wytwarzające dwa rodzaje zarodników – makrospory i mikrospory – które kiełkują w dwupienne gametofity).

Gametofit gatunków jednakozarodnikowych jest niewielki, wieloletni i bezzieleniowy, a jego rozwój wymaga obecności grzyba mikoryzowego (→ s. 52). Gametofity gatunków różnozarodnikowych są silnie zredukowane – ich rozmiar jest niewiele większy od rozmiaru zarodników, z których powstają. Pokolenie to wytwarza gametangia i rozmnaża się za pomocą gamet.



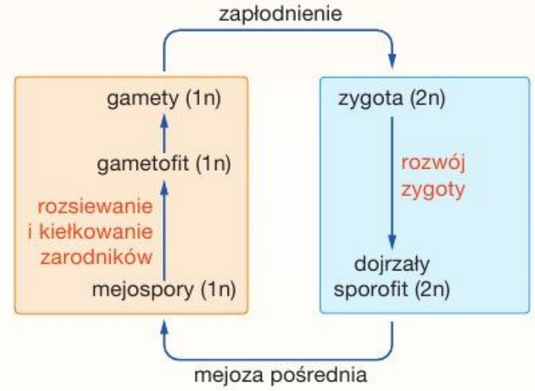
Budowa sporofitu widłaka goździstego.

Porównanie paprociowych, skrzypowych i widłakowych

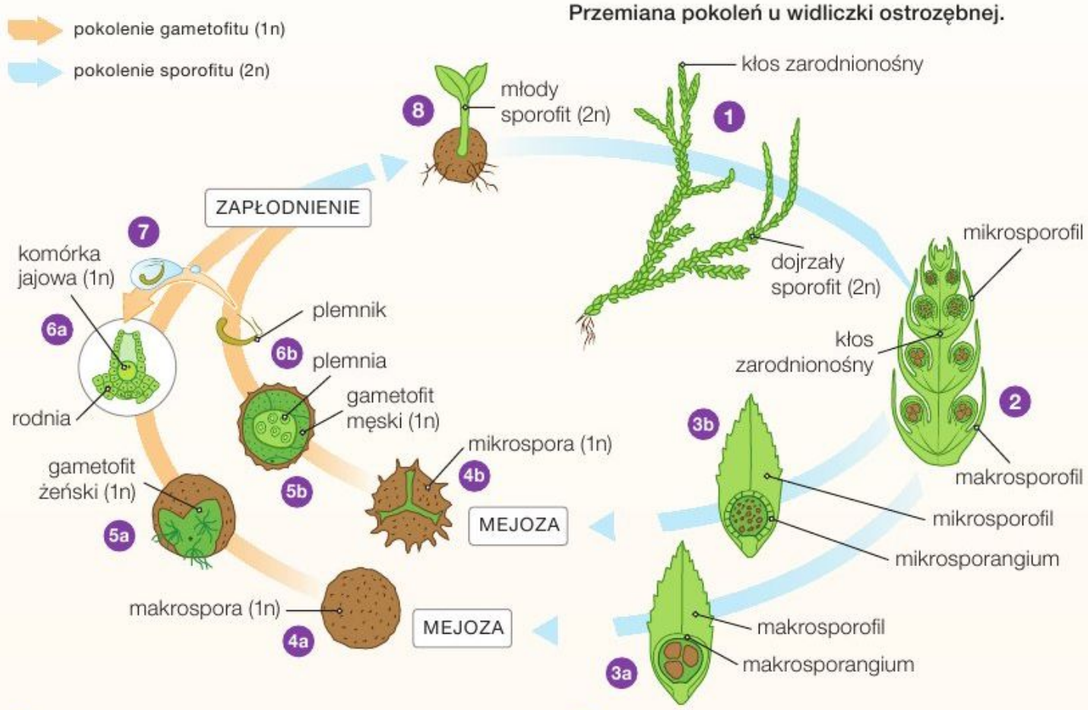
Porównywana cecha	Paprociowe	Skrzypowe	Widłakowe
Budowa sporofitu	• podziemna łodyga (kłącze) • duże, pierzaste, zielone liście • korzenie przybyszowe	• podziemna łodyga (kłącze) oraz nadziemna, zielona łodyga • łuskowate, bezzieleniowe liście • korzenie przybyszowe	• widlasto rozgałęziona, nadziemna łodyga • drobne, zielone liście • widlasto rozgałęzione korzenie przybyszowe
Organy sporofitu o funkcji asymilacyjnej	• liście	• nadziemna łodyga i jej odgałęzienia	• liście
Rodzaje zarodników	• zarodniki jednakowe morfologicznie i płciowo • zarodniki różne morfologicznie i płciowo	• zarodniki jednakowe morfologicznie, ale różne płciowo	• zarodniki jednakowe morfologicznie i płciowo • zarodniki różne morfologicznie i płciowo
Budowa gametofitu	• niewielka, zielona plecha przymocowana do podłoża chwytnikami	• plechowaty, drobny, zielony twór, przymocowany do podłoża chwytnikami	• u gatunków jednakozarodnikowych – drobny, zwykle bezzieleniowy • u gatunków różnozarodnikowych – silnie zredukowany

Cykl rozwojowy widliczki ostrozębnej

Widliczka ostrozębna jest rośliną różnozarodnikową – wytwarza zarodniki różne morfologicznie, płciowo i genetycznie. Z zarodników widliczki wyrastają dwupienne, silnie zredukowane gametofity.



Przemiana pokoleń u widliczki ostrozębnej.



1. Na szczytach pędów sporofitów powstają kłosy zarodnionośne.
2. W dolnej części kłosów znajdują się makrosporofile, natomiast w górnej części kłosów znajdują się mikrosporofile.
3a. Na makrosporofilach tworzą się zarodnie – makrosporangia.
3b. Na mikrosporofilach tworzą się zarodnie – mikrosporangia.
4a. W makrosporangiach powstają makrospory.
4b. W mikrosporangiach powstają mikrospory.
5a. Makrospory kiełkują w przedrośla żeńskie, na których rozwijają się rodnie.
5b. Mikrospory kiełkują w przedrośla męskie, na których rozwijają się plemnie (kiełkowanie odbywa się w obrębie zarodni – mikrosporangium).
6a. W każdej rodni powstaje komórka jajowa.
6b. W plemniach powstają opatrzone wiciami plemniki.
7. Plemniki przepływają w kropli wody do rodni. W rodniach zachodzi zapłodnienie.
8. W wyniku zapłodnienia powstaje zygota, która rozwija się w sporofit. Przedrośla żeńskie z rozwijającymi się sporofitami wypadają na ziemię. Tam następuje dalszy rozwój sporofitu.

Cechy charakterystyczne paprotników

Cecha	Opis
Pokolenie dominujące w przemianie pokoleń	W cyklu rozwojowym sporofit (2n) dominuje nad gametofitem (1n).
Budowa sporofitu (2n)	Sporofit wykształca organy – korzeń, łodygę i liście (paprotniki należą do organowców).
Budowa gametofitu (1n)	Gametofit jest samodzielną rośliną – zieloną lub żyjącą w symbiozie z grzybami mikoryzowymi. Gametofit jest zwykle krótkotrwały.
Występowanie drewna (lub jego brak)	Drewno występuje w budowie anatomicznej sporofitu (paprotniki są roślinami naczyniowymi).
Sposób rozprzestrzeniania się	Rozprzestrzeniają się przez zarodniki (paprotniki należą do roślin zarodnikowych).
Sposób zapłodnienia	Do zapłodnienia (oogamii) jest potrzebna woda.

Rodzime gatunki

Przykłady rodzimych gatunków paprotników

W Polsce większość paprotników zasiedla wilgotne środowiska lądowe (głównie lasy). Część gatunków występuje w wodach słodkich.

Paprociowe



Orlica pospolita rośnie na terenie całej Polski, zwłaszcza w lasach iglastych lub mieszanych.



Salwinia pływająca występuje w wodach stojących lub wodach o spokojnym nurcie, np. starorzeczach.

Skrzypowe



Skrzyp leśny występuje w żyznych lasach liściastych, przede wszystkim w miejscach zacienionych.



Skrzyp zimowy jest rośliną zimozieloną, charakterystyczną dla żyznych lasów liściastych.

Widłakowe



Widliczka ostrozębna rośnie wyłącznie w wyższych partiach gór, m.in. na półkach skalnych.



Poryblin jeziorny to roślina, którą można spotkać głównie na Pomorzu – porasta jeziora ubogie w substancje odżywcze.

Znaczenie paprotników w przyrodzie i dla człowieka

Tworzenie siedlisk i źródło pokarmu

Paprotniki stanowią środowisko życia dla wielu zwierząt, np. niektórych gatunków pająków. Ponadto paprotniki są pożywieniem wielu zwierząt.



Źródło substancji leczniczych

Niektóre paprotniki wykazują właściwości lecznicze. Cenionym surowcem farmaceutycznym są m.in. pędy skrzypu polnego. Stosuje się je w chorobach nerek, a wspomagająco – w leczeniu ran, stanów zapalnych, a także w celu wzmocnienia włosów i paznokci.



Węgiel kamienny

W drugiej połowie ery paleozoicznej na Ziemi występowały liczne gatunki paprotników drzewiastych, dorastających do 40 m wysokości. Tworzyły one bujne lasy, a także były głównym producentem tlenu i stanowiły źródło pokarmu dla innych organizmów. Zmiany warunków klimatycznych doprowadziły jednak do ich masowego wymierania. Szczątki drzewiastych paprotników utworzyły złoża węgla kamiennego. Do paprotników kopalnych należą m.in. lepidodendrony, sygilarie i kalamity.



Ponad 300 mln lat temu obszary dzisiejszej centralnej Europy, w tym Polski, były porośnięte przez olbrzymie paprocie, skrzypy i widłaki.

Polecenia kontrolne

1. Podaj dwie cechy wspólne mchów i paprotników oraz dwie cechy różniące te grupy roślin.
2. Wyjaśnij, dlaczego paprotniki należą do organowców i roślin naczyniowych.
3. Przerysuj schematy A i B do zeszytu. Następnie uzupełnij oba schematy i podaj przykłady roślin, które rozmnażają się w opisany sposób.

A. sporofit → zarodnia → [?] → jednopienny gametofit → rodnie → [?]; plemnie → [?]

B. sporofit → [?] → makrospory → gametofit → [?] → rodnie → [?]; [?] → mikrospory → gametofit → [?] → plemnie → [?]

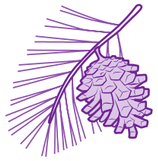
Przykład do schematu A: [?]

Przykład do schematu B: [?]

2.9. Rośliny nagonasienne

Ważne w tym temacie!

- cechy charakterystyczne roślin nagonasiennych
- rozmnażanie się roślin nagonasiennych
- znaczenie roślin nagonasiennych w przyrodzie i dla człowieka



Do nagonasiennych należą wieloletnie rośliny drzewiaste – najczęściej drzewa, np. sosna lub świerk, rzadziej krzewy, np. jałowiec. Cechą charakterystyczną nagonasiennych są **nieosłonięte zalążki i nasiona** (stąd nazwa gromady – nagozalążkowe lub nagonasienne). Większość nagonasiennych należy do roślin szpilkowych, których liście mają postać **szpilek**. Rośliny te są przeważnie **zimozielone** – nie zrzucają liści na zimę, lecz wymieniają je stopniowo, co kilka lat. Rośliny nagonasienne wraz z roślinami okrytonasiennymi (→s. 140) tworzą grupę **roślin nasiennych**.



Najwięcej gatunków nagonasiennych rośnie w tajdze, czyli w lasach iglastych północnej części Europy, Azji i Ameryki Północnej.

Cechy roślin nasiennych

Rośliny nasienne (nagonasienne i okrytonasienne) dominują w większości zbiorowisk roślinnych. Zawdzięczają to pewnym cechom wspólnym.

1. **Dominacja sporofitu** – w cyklu rozwojowym nasiennych występuje heteromorficzna przemiana pokoleń z wyraźnie dominującym sporofitem.
2. **Ciało zbudowane z organów** – sporofit nasiennych tworzą organy:
   - wegetatywne, czyli korzenie, łodygi i liście – organy te mają skomplikowaną budowę tkankową, a korzenie i łodygi często charakteryzują się przyrostem wtórnym,
   - generatywne, czyli kwiaty – organy rozmnażania płciowego.
3. **Zapłodnienie niezależne od wody** – zapłodnienie nasiennych zachodzi w obrębie kwiatów i jest niezależne od obecności wody.
4. **Wytwarzanie nasion** – nasiona to struktury o charakterze przetrwalnikowym, które służą nasiennym do rozprzestrzeniania się. Wewnątrz nasion znajdują się zarodki, czyli młode, niedojrzałe sporofity.



Do nagonasiennych należy m.in. świerk, a do okrytonasiennych – np. malwa.

Budowa roślin nagonasiennych

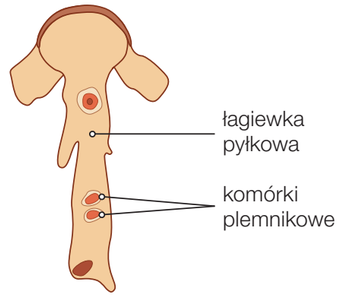
Dojrzały sporofit nagonasiennych jest zbudowany z:

- **łodygi i korzeni** – organy te cechują się zwykle intensywnym przyrostem wtórnym i są pokryte wtórną tkanką okrywającą nazywaną korkowicą;
- **liści** – u większości gatunków mają one postać **szpilek** o zredukowanej blaszce liściowej (→s. 111). Znaczna część nagonasiennych nie zrzuca liści na zimę, dzięki czemu może przeprowadzać fotosyntezę przez cały rok;
- **jednopłciowych kwiatów** – to w nich są wytwarzane haploidalne zarodniki (makrospory i mikrospory). W kwiatach zachodzi następnie rozwój gametofitów żeńskich lub męskich. Kwiaty mogą występować na różnych roślinach (u roślin dwupiennych) lub na jednej roślinie (u roślin jednopiennych).

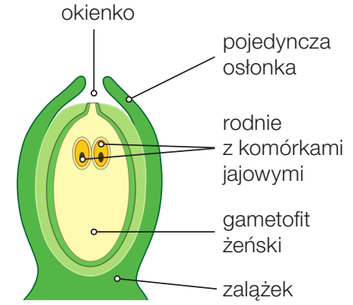
W budowie anatomicznej sporofitu roślin nagonasiennych występuje wyspecjalizowana tkanka przewodząca wodę z solami mineralnymi – drewno – która jest zbudowana z **cewek** (→s. 90). Łyko nagonasiennych jest natomiast zbudowane z **komórek sitowych** (→s. 91).

Gametofit nagonasiennych jest silnie zredukowany. W pokoleniu tym wyróżnia się:

- **gametofit męski** (przedrośle męskie), czyli **ziarno pyłku**. Jest ono zbudowane z kilku komórek, z których jedna wytwarza **łagiewkę pyłkową** – strukturę charakterystyczną dla roślin nasiennych. Dzięki łagiewce pyłkowej komórki plemnikowe (powstające w gametoficie męskim) przedostają się bezpośrednio do rodni – bez udziału wody. Gamety męskie u nasiennych nie są ruchliwe, dlatego nazywa się je komórkami plemnikowymi;
- **gametofit żeński** (przedrośle żeńskie), czyli **bielmo pierwotne**. Bielmo jest zbudowane z komórek miękiszowych zawierających substancje odżywcze. Wykształcają się w nim zazwyczaj **dwie rodnie**, z których każda zawiera dużą komórkę jajową.



Budowa kiełkującego ziarna pyłku (gametofitu męskiego).



Budowa zalążka (makrosporangium) z bielmem pierwotnym (gametofitem żeńskim).



Rośliny nagonasienne, np. świerki, dzięki redukcji blaszki liściowej oraz obecności korkowicy są odporne na wielomiesięczną suszę i silne mrozy.

Budowa sosny zwyczajnej

Sosna zwyczajna jest zimozielonym drzewem osiągającym wysokość ok. 30 m. W budowie zewnętrznej sosny można wyróżnić palowy system korzeniowy (→ s. 93) oraz nadziemny pęd, złożony z pnia oraz z korony.



Korona to górna część drzewa. W jej skład wchodzą rozgałęzienia łodygi, liście (szpilki) oraz – okresowo – kwiaty.

Pień, czyli zdrewniała, masywna łodyga, jest pokryty korkowicą.

Palowy system korzeniowy sięga daleko w głąb gleby.

kwiatostan żeński

Kwiaty żeńskie są zebrane w czerwone, szyszkowate **kwiatostany**. Powstają z nich szyszki z nasionami.

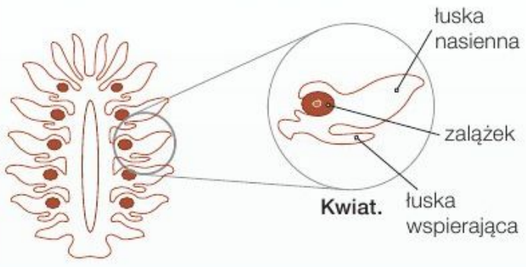
Kwiaty męskie występują licznie na jednej gałązce, jednak w odróżnieniu od kwiatów żeńskich **nie tworzą kwiatostanów**. Mają żółtą barwę.

pojedynczy kwiat męski

Szpilki mają zredukowaną blaszkę liściową, przystosowaną do warunków suszy.

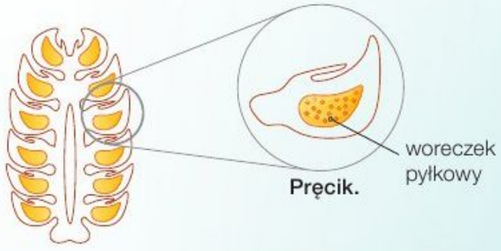
Łodyga i korzenie przyrastają wtórnie na grubość. Zawierają dużą ilość drewna wtórnego, pełniącego funkcje przewodzącą i wzmacniającą, a także korkowicę – wtórną tkankę okrywającą.

Kwiatostan żeński składa się z kwiatów żeńskich. Każdy kwiat jest zbudowany z łuski nasiennej i z łuski wspierającej. U nasady łuski nasiennej znajdują się dwa zalążki – makrosporangia. W zalążkach w wyniku mejozy powstają makrospory.



Kwiat.

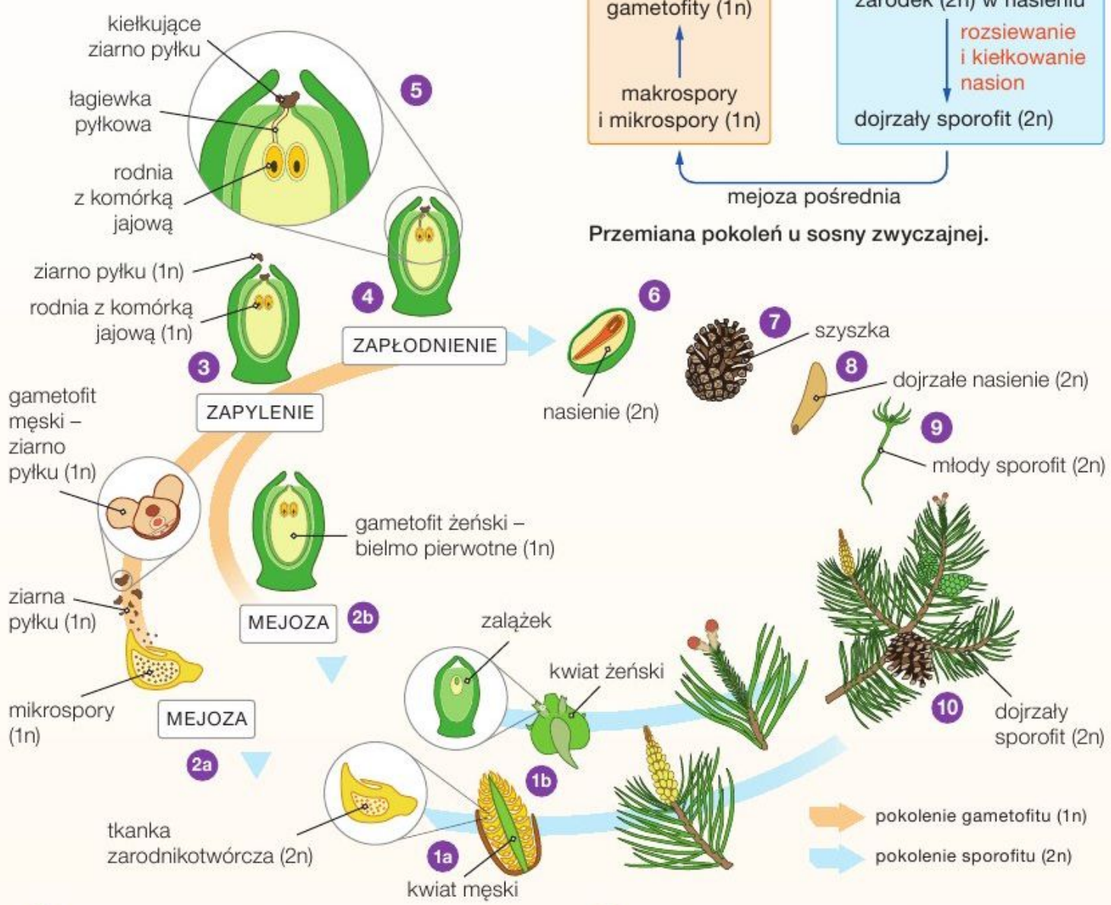
Kwiat męski składa się z licznych pręcików. Każdy pręcik ma u podstawy dwa woreczki pyłkowe – mikrosporangia. W woreczkach pyłkowych w wyniku mejozy powstają mikrospory.

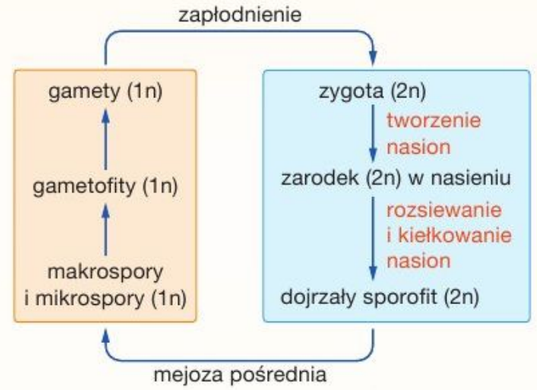


Pręcik.

Cykl rozwojowy sosny zwyczajnej

Sosna zwyczajna jest jednopiennym drzewem, które wytwarza kwiaty zarówno męskie, jak i żeńskie. W obrębie kwiatów rozwijają się silnie zredukowane gametofity: żeński (bielmo pierwotne) oraz męski (ziarno pyłku).





Przemiana pokoleń u sosny zwyczajnej.

1a Kwiat męski składa się z licznych pręcików. Każdy pręcik zawiera dwa woreczki pyłkowe.

1b Kwiat żeński to łuska nasienna, na której znajdują się dwa zalążki.

2a Wewnątrz woreczków pyłkowych komórki macierzyste mikrospor dzielą się mejotycznie, wskutek czego powstają mikrospory. Następnie z mikrospor rozwijają się gametofity męskie (ziarna pyłku).

2b W każdym zalążku komórka macierzysta makrospor dzieli się mejotycznie – w efekcie tworzy się gametofit żeński (bielmo pierwotne), w którym powstają dwie rodnie.

3 Wiatr przenosi ziarno pyłku na okienko zalążka. Dochodzi do zapylenia.

4 Ziarno pyłku wytwarza dwie komórki plemnikowe i łagiewkę pyłkową. Łagiewka transportuje komórki plemnikowe do jednej z rodni.

5 Jedna z komórek plemnikowych łączy się z komórką jajową. W ten sposób powstaje zygota. Druga rodnia zanika.

6 Zalążek przekształca się w nasienie.

7 Łuski nasienne rozrastają się, grubieją i drewnieją – formują w ten sposób szyszkę.

8 Nasiona przechodzą w stan spoczynku. Po opuszczeniu szyszki są rozsiewane przez wiatr.

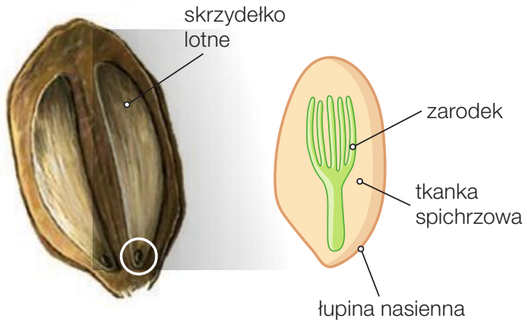
9 W sprzyjających warunkach nasiona kiełkują i wyrasta z nich młoda roślina – sporofit.

10 Sporofit po osiągnięciu dojrzałości zakwita.

Budowa szyszki oraz nasienia

Szyszki powstają z kwiatostanów żeńskich. U większości roślin szpilkowych składają się one z wielu zdrewniałych łusek nasiennych. Każda łuska zawiera dwa nasiona powstałe w wyniku zapłodnienia dwóch zalążków. Pojedyncza szyszka zawiera zatem dużą liczbę nasion, które są chronione przed działaniem niekorzystnych warunków środowiska przez zwarte, silnie zdrewniałe łuski. Pojedyncze nasienie jest zbudowane z wieloliścieniowego zarodka (2n), tkanki spichrzowej (1n) oraz łupiny nasiennej (2n). Zarodek powstaje z zygoty, tkanka spichrzowa – z resztek bielma pierwotnego, a łupina nasienna – z osłonki zalążka.

Budowa łuski nasiennej **Budowa nasienia**



Nasiona sosny wypadają z szyszki w trzecim roku od zapylenia. Każde nasienie jest opatrzone skrzydełkiem lotnym, dzięki któremu może być rozsiewane przez wiatr.

Rodzime gatunki

Przykłady rodzimych gatunków nagonasiennych

Nagonasienne żyją wyłącznie na lądzie. W Polsce występują głównie w borach (lasach iglastych) lub w lasach mieszanych.



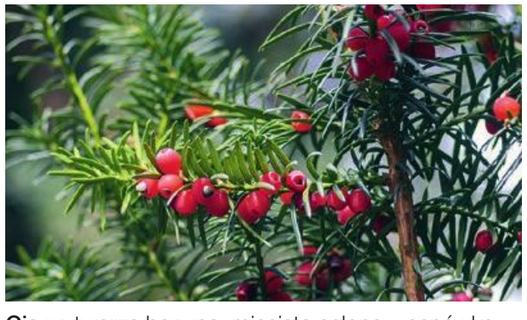
Modrzew to drzewo iglaste. Jego liście wyrastają wczesną wiosną, jesienią zaś żółkną i opadają.



Jodła rośnie głównie w południowej części naszego kraju. Ma duże szyszki, pionowo osadzone na gałęzi.



Jałowiec jest krzewem. Jego nasiona rozwijają się wewnątrz szyszkojagód – mięsistych, zrośniętych łusek szyszki. Szyszkojagody są chętnie zjadane m.in. przez ptaki, które uczestniczą w rozprzestrzenianiu się jałowca.



Cis wytwarza barwną, mięsistą osłonę – osnówkę. Osnówka jest prawdopodobnie przekształconą łuską nasienną. Nasiona cisu są rozsiewane przez zwierzęta.

Cechy charakterystyczne roślin nagonasiennych

Cecha	Opis
Pokolenie dominujące w przemianie pokoleń	W cyklu rozwojowym sporofit (2n) dominuje nad gametofitem (1n).
Budowa sporofitu (2n)	Sporofit wykształca organy – korzenie, łodygi i liście (nagonasienne należą do organowców).
Budowa gametofitu (1n)	Gametofit nie jest samodzielną rośliną – rozwija się w obrębie kwiatu sporofitu. Gametofitem męskim jest ziarno pyłku zbudowane z kilku komórek, a gametofitem żeńskim – bielmo pierwotne, zbudowane z tkanki spichrzowej i rodni.
Występowanie drewna (lub jego brak)	Drewno występuje w budowie anatomicznej sporofitu (nagonasienne są roślinami naczyniowymi).
Sposób rozprzestrzeniania się	Rozprzestrzeniają się przez nasiona (nagonasienne należą do roślin nasiennych).
Sposób zapłodnienia	Zapłodnienie (oogamia) zachodzi niezależnie od obecności wody – jest to możliwe dzięki łagiewce pyłkowej, czyli strukturze wytwarzanej przez ziarno pyłku. Dzięki łagiewce pyłkowej komórki plemnikowe są dostarczane bezpośrednio do rodni.

Miłorzębowe i nagonasienne wielkolistne

Miłorzębowe i nagonasienne wielkolistne charakteryzują się niezredukowanymi, szerokimi blaszkami liściowymi.



Miłorzębowe

Do miłorzębowych należy jeden współcześnie żyjący gatunek – miłorząb dwuklapowy. Jest on długowiecznym, dwupiennym drzewem. Jego liście mają blaszki liściowe o wachlarzowatym kształcie. W naturze gatunek ten występuje wyłącznie w Chinach.

Miłorząb dwuklapowy.

Nagonasienne wielkolistne

Większość nagonasiennych wielkolistnych ma duże liście oraz łodygi cechujące się słabym przyrostem wtórnym. W obrębie tej grupy wyróżnia się m.in. sagowce i gniotowe.



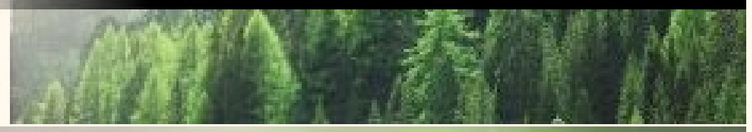
Sagowiec odwinięty ma krótką i grubą łodygę, zakończoną na szczycie pióropuszem pierzastych liści. Rośnie w Japonii.



Welwiczję przedziwną wyróżniają m.in. obecność naczyń w drewnie wtórnym oraz owadopylność. Welwiczja występuje w Namibii i Angoli.

Znaczenie nagonasiennych
w przyrodzie i dla człowieka

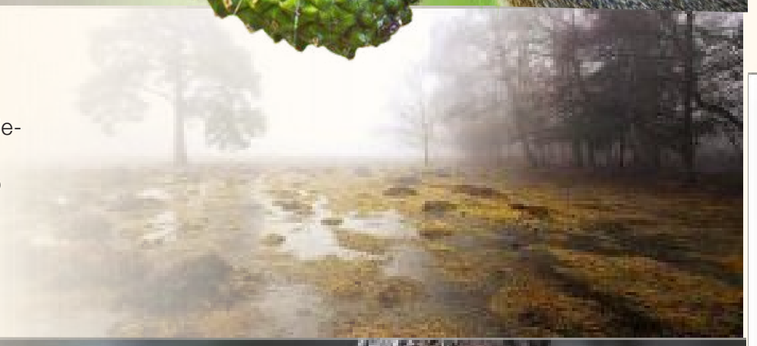
Źródło tlenu
Nagonasienne, głównie iglaste, są ważnym składnikiem ekosystemów leśnych. Podczas fotosyntezy pochłaniają ogromne ilości dwutlenku węgla i wytwarzają tlen, który jest niezbędny organizmom do oddychania.



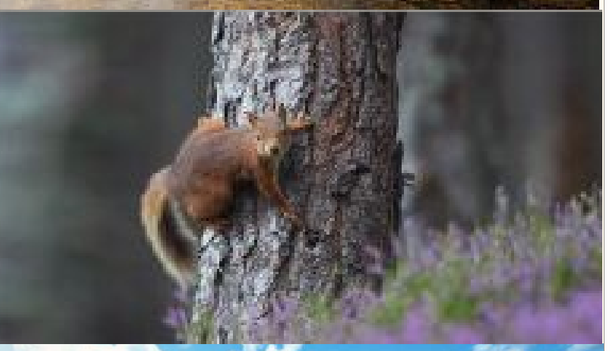
Źródło pokarmu
Wiele roślin iglastych stanowi pokarm dla zwierząt, zwłaszcza leśnych. Nasiona niektórych gatunków, np. sosny pinii, są spożywane przez człowieka.



Zapobieganie powodziom
Rośliny iglaste pełnią ważną funkcję w zapobieganiu powodziom. Pobierają one duże ilości wody pochodzącej z roztopionego śniegu lub intensywnych opadów.



Tworzenie siedlisk
Drzewa nagonasienne służą wielu zwierzętom jako schronienie. W ich pniach wiewiórki i kuny mają swoje dziuple, a w koronach ptaki budują gniazda.



Stabilizowanie wydm i nasypów
Niektóre gatunki roślin nagonasiennych są wykorzystywane do zalesiania wydm oraz zboczy nasypów, co zapobiega ich osypywaniu się.



Źródło drewna
Drewno roslin iglastych jest powszechnie wykorzystywane w budownictwie oraz do produkcji papieru i mebli.



Źródło cennych substancji
Substancje zawarte w korze, szyszkach, nasionach i liściach nagonasiennych stosuje się do produkcji kosmetyków i leków. Na przykład igły sosny zawierają dużo witaminy C, a pączki są bogate w liczne substancje bakteriobójcze. Rośliną o cenionych walorach leczniczych i kosmetycznych jest miłorząb dwuklapowy. Z jego liści uzyskuje się ponad 50 substancji o działaniu prozdrowotnym.



Biologia w **medycynie**

Cis w terapii przeciwnowotworowej

Wszystkie gatunki cisa wytwarzają paklitaksel – związek chemiczny o działaniu cytostatycznym (hamującym podziały komórkowe), wykorzystywany w terapii przeciwnowotworowej. Za pomocą taksolu leczy się m.in. raka jajnika, raka płuc oraz raka piersi. Mechanizm działania taksolu polega na wiązaniu się z tubuliną, dzięki czemu zostają zahamowane podziały komórek nowotworowych.

Taksol otrzymuje się z kory cisa.



Polecenia kontrolne

1. Przedstaw przystosowania roślin nagonasiennych do lądowego trybu życia.
2. Porównaj budowę sporofitu roślin nagonasiennych z budową sporofitu mchów.
3. Omów budowę kwiatów rośliny nagonasiennej.
4. Wyjaśnij pojęcia: zapylenie i zapłodnienie. Przedstaw powiązania istniejące między tymi procesami.
5. Omów budowę nasienia i podaj dwa sposoby rozsiewania nasion roślin nagonasiennych.

2.10. Rośliny okrytonasienne

Ważne w tym temacie!

- cechy charakterystyczne roślin okrytonasiennych
- rozmnażanie się roślin okrytonasiennych
- znaczenie roślin okrytonasiennych w przyrodzie i dla człowieka



Rośliny okrytonasienne (okrytozalążkowe) występują powszechnie w środowisku lądowym, a wtórnie zasiedlają także zbiorniki wód słodkich i słonych.

W cyklu rozwojowym okrytonasiennych zachodzi heteromorficzna przemiana pokoleń z dominującym sporofitem. Budowa sporofitów zależy od gatunku – do roślin okrytonasiennych należą zarówno gatunki drzewiaste, jak i znacznie mniejsze gatunki zielne. Długość życia poszczególnych gatunków jest bardzo zróżnicowana – liczy się ją w latach lub w okresach (sezonach) wegetacyjnych.

Budowa roślin okrytonasiennych

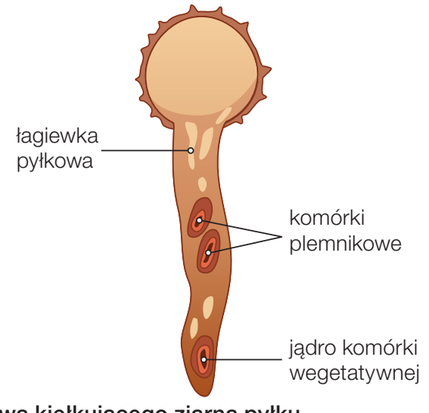
Sporofit okrytonasiennych składa się z:

- **organów wegatatywnych**, czyli z korzeni, łodygi i liści,
- **organów generatywnych**, czyli z kwiatów. W wyniku rozmnażania płciowego z kwiatów roślin okrytonasiennych powstają owoce. Wewnątrz owoców znajdują się nasiona zawierające zarodki, czyli młodociane stadia nowej rośliny (sporofitu).

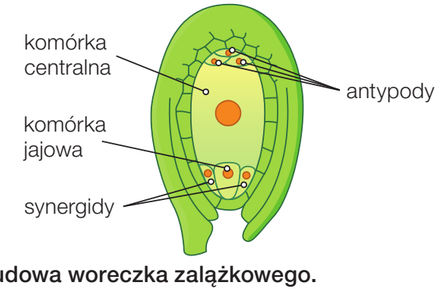
W budowie anatomicznej sporofitu występują drewno zbudowane z **naczyń** (→ s. 90) oraz łyko zbudowane z **rurek sitowych** (→ s. 91).

Gametofit roślin okrytonasiennych jest silnie zredukowany, a jego rozwój odbywa się wewnątrz kwiatu. W pokoleniu tym wyróżnia się:

- **gametofit męski** (przedrośle męskie), czyli **ziarno pyłku**. Składa się ono z komórki wegetatywnej, z której powstaje **łagiewka pyłkowa** (→ s. 133), oraz z komórki generatywnej, która dzieli się mitotycznie na dwie nieruchliwe **komórki plemnikowe**;
- **gametofit żeński** (przedrośle żeńskie), czyli **woreczek zalążkowy**. Jest on zbudowany z siedmiu komórek: dwóch synergid, trzech antypod, komórki centralnej i komórki jajowej. Synergidy wraz z komórką jajową tworzą aparat jajowy, który jest odpowiednikiem rodni. Ponadto synergidy z antypodami uczestniczą w transporcie substancji odżywczych dla rozwijającego się gametofitu. Komórka centralna jest jedyną diploidalną komórką gametofitu i wypełnia centralną część gametofitu żeńskiego.



Budowa kiełkującego ziarna pyłku.



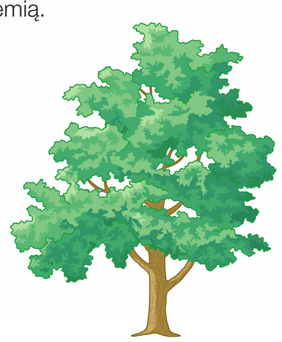
Budowa woreczka zalążkowego.

Formy roślin okrytonasiennych

Rośliny wieloletnie (żyją co najmniej trzy lata)

drzewa

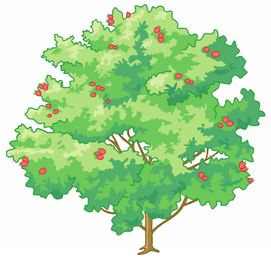
Mają grubą łodygę, zwaną pniem, która rozgałęzia się wysoko nad ziemią.



Dąb.

krzewy

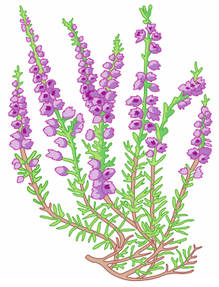
Mają krótką łodygę, która rozgałęzia się tuż przy ziemi.



Głóg.

krzewinki

Budową przypominają krzewy, ale są od nich znacznie mniejsze.



Wrzos.

byliny

Ich pędy nadziemne obumierają pod koniec każdego sezonu wegetacyjnego, a rośliny zimują w postaci pędów podziemnych.

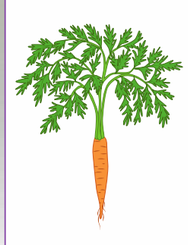


Kosaciec.

Rośliny drzewiaste to drzewa, krzewy i krzewinki. Ich pędy nadziemne nie obumierają pod koniec sezonu wegetacyjnego, ponieważ łodygi są silnie zdrewniałe i trwałe.

Rośliny dwuletnie

Ich pędy nadziemne obumierają pod koniec pierwszego sezonu wegetacyjnego, a rośliny zimują w postaci korzeni spichrzowych.



Pierwszy rok wegetacji.

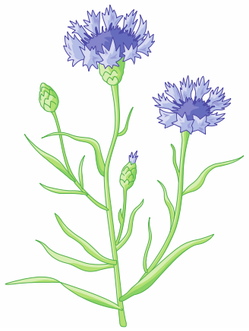


Drugi rok wegetacji.

Marchew.

Rośliny jednoroczne

Żyją tylko jeden sezon wegetacyjny.



Chaber bławatek.

Rośliny zielne to byliny, rośliny dwuletnie oraz rośliny jednoroczne. Ich pędy nadziemne obumierają pod koniec sezonu wegetacyjnego, ponieważ są niezdrewniałe i delikatne.

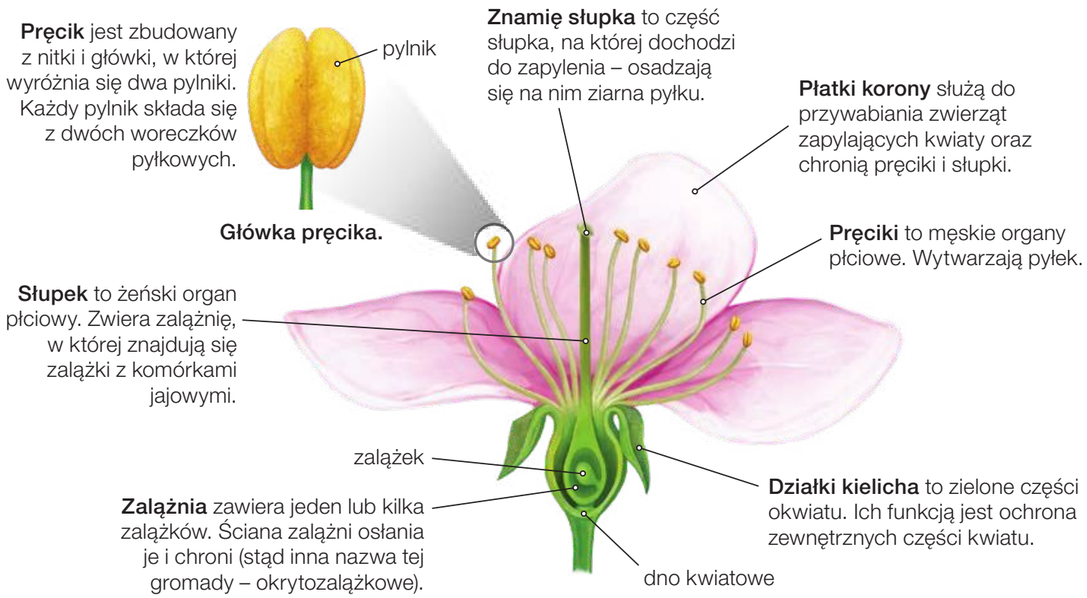
Kwiaty roślin okrytonasiennych

U większości gatunków kwiaty są obupłciowe. Oznacza to, że zawierają **pręciki** oraz **słupek**, czyli strukturę powstałą na skutek zrośnięcia się jednego owocolistka lub kilku owocolistków. U niektórych roślin, m.in. u wierzby, kwiaty są jednopłciowe (rozdzielnopłciowe).

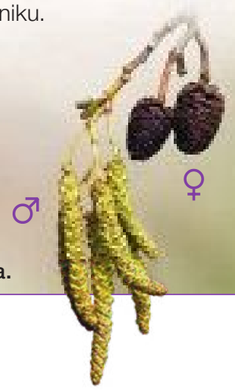
Kwiat obupłciowy składa się z:

- **okwiatu** – części kwiatu, która stanowi ochronę dla pręcików i słupka lub słupków. W zależności od taksonu, do którego przynależy dany gatunek rośliny, okwiat może być niezróżnicowany (składający się z działek okwiatu) lub zróżnicowany na kielich i koronę;
- **pręcików**;
- jednego lub kilku **słupków**.

Wszystkie elementy kwiatu są osadzone na skróconej i rozszerzonej **osi kwiatowej** (dnie kwiatowym), czyli nieulistnionej części pędu, z której wyrasta kwiat.



Budowa kwiatu obupłciowego.

Rodzaje kwiatów		
kwiaty rozdzielnopłciowe		kwiaty obupłciowe
Roślina dwupienna Kwiaty żeńskie – słupkowe (♀) – i męskie – pręcikowe (♂) – znajdują się na różnych osobnikach.	**Roślina jednopienna** Kwiaty żeńskie – słupkowe (♀) – i męskie – pręcikowe (♂) – znajdują się na jednym osobniku.	**Roślina jednopienna** Pojedynczy kwiat zawiera żeńskie i męskie organy rozrodcze, czyli słupek lub słupki (♀), oraz pręciki (♂).
 **Wierzba.**	 **Olsza.**	 **Lilia.**

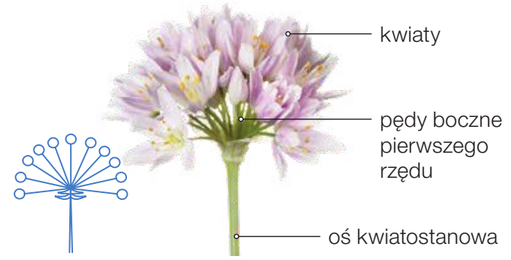
Dowiedz się więcej

Kwiatostany

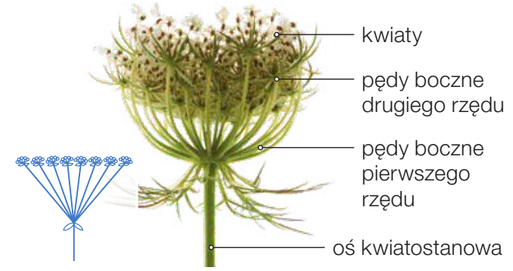
Kwiaty roślin okrytozalążkowych często występują w skupieniach zwanych kwiatostanami. W kwiatostanach wyróżnia się oś kwiatostanową oraz odchodzące od niej pędy boczne zakończone kwiatami. Występowanie kwiatów w skupieniach ułatwia ich zapylanie.

Kwiatostany groniaste

W kwiatostanach groniastych rozgałęzienia pędów bocznych odchodzą od jednej osi kwiatostanowej. Jeśli kwiaty tworzą się na zakończeniach pędów bocznych pierwszego rzędu, to mamy do czynienia z kwiatostanami prostymi. Jeśli zaś kwiaty tworzą się na zakończeniach drugiego lub dalszych rzędów, to mówimy o kwiatostanach złożonych.



Baldach prosty (np. czosnku).



Baldach złożony (np. marchwi).



Kwiatostan prosty typu grono (np. mieczyk).



Kwiatostan prosty typu koszyczek (np. stokrotka).

Kwiatostany wierzchotkowate

W kwiatostanach wierzchotkowatych rozgałęzienia pędów bocznych odchodzą od wielu osi kwiatostanowych.



Wierzchotka jednoramienna (np. niezapominajka).



Wierzchotka dwuramienna (np. lepnica).

Rozmnażanie płciowe okrytonasiennych

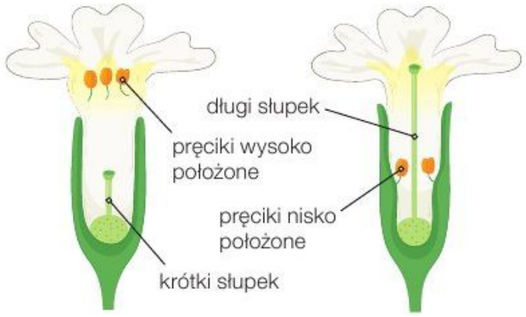
Rozmnażanie płciowe okrytonasiennych rozpoczyna się od **zapylenia** polegającego na przeniesieniu ziarna pyłku na znamię słupka. Następnie ziarno pyłku kiełkuje, czyli wytwarza łagiewkę pyłkową, po czym do zalążni przedostają się – przez łagiewkę – dwie komórki plemnikowe. Jedna komórka plemnikowa łączy się z komórką jajową, tworząc zygotę. Druga komórka plemnikowa łączy się z komórką centralną, tworząc komórkę triploidalną (3n). Proces ten nazywa się **podwójnym zapłodnieniem**. W efekcie podziałów mitotycznych z zygoty powstaje zarodek, a z komórki triploidalnej – triploidalne bielmo wtórne, które stanowi materiał odżywczy dla zarodka.

Samozapylenie a zapylenie krzyżowe

Kwiaty większości roślin okrytonasiennych są obupłciowe. Stąd u wielu tych roślin, np. u zbóż, może dojść do **samozapylenia**, czyli przeniesienia ziaren pyłku z pręcików na słupek tego samego kwiatu lub innych kwiatów tej samej rośliny. Zapylenie własnym pyłkiem jest zjawiskiem niekorzystnym, ponieważ ogranicza możliwość rekombinacji genów. Z tego powodu u wielu roślin występują mechanizmy, które zabezpieczają przed samozapyleniem i ułatwiają **zapylenie krzyżowe** (obcopylność). Zapylenie krzyżowe polega na przeniesieniu ziaren pyłku z pręcików kwiatu jednej rośliny na słupek kwiatu innej rośliny tego samego gatunku. Do mechanizmów ochrony roślin przed samozapyleniem należą:

- **samosterylność** (samopłonność) – zapylenie własnym pyłkiem nie prowadzi do wytworzenia nasion, np. z powodu zahamowania rozwoju łagiewki pyłkowej,
- **zróżnicowanie czasu dojrzewania słupków i pręcików** – jeśli słupki dojrzewają wcześniej niż pręciki, to mamy do czynienia z przedsłupnością; gdy pręciki dojrzewają wcześniej niż słupki, to mówimy o przedprątności.

Mechanizmem ułatwiającym zapylenie krzyżowe jest **heterostylia** (różnosłupkowość). Heterostylia polega na tym, że u roślin tego samego gatunku powstają dwa rodzaje słupków: słupki krótkie (gdy pręciki są położone wysoko) i słupki długie (gdy pręciki są położone nisko). Przeniesiony przez zapylacze pyłek służy do zapylania odmiennie wykształconych kwiatów.



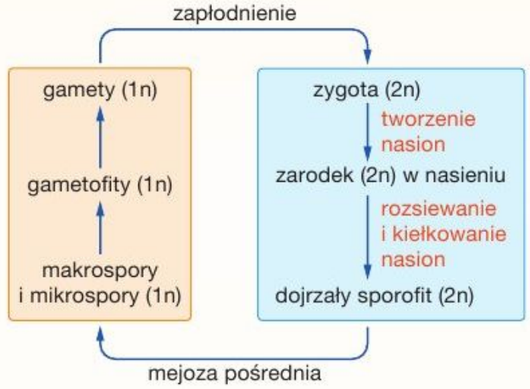
Heterostylia u pierwiosnka.

Przebieg i efekty podwójnego zapłodnienia

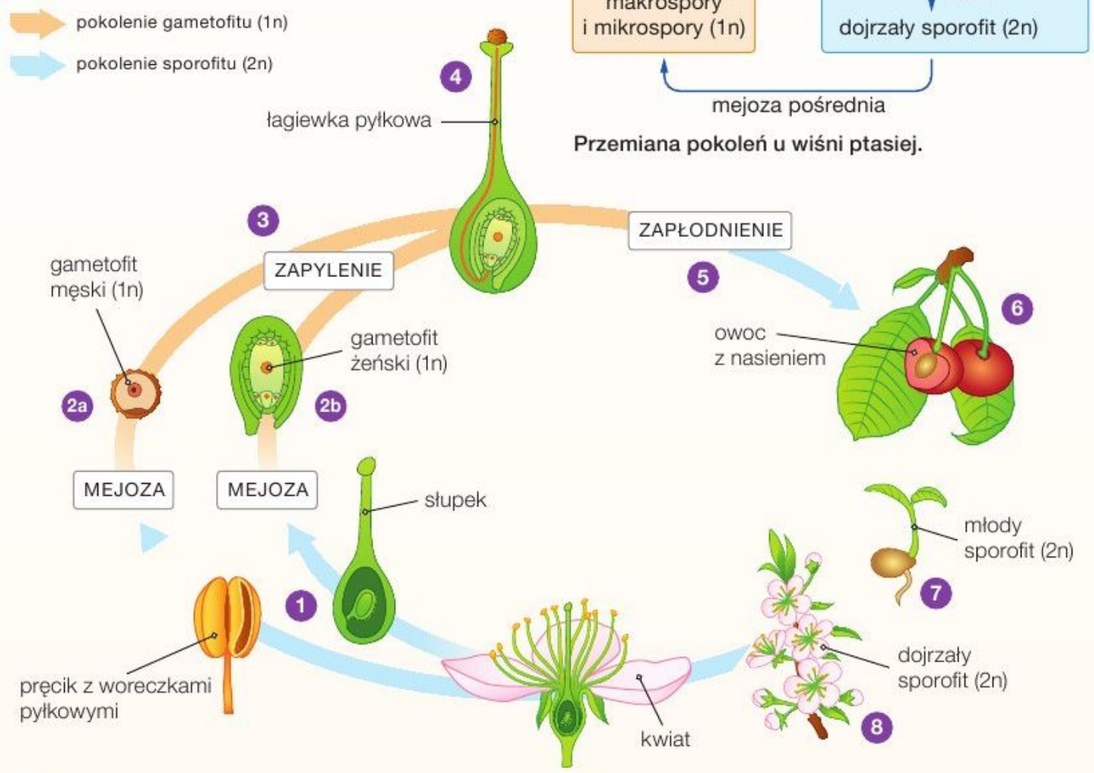
	nasienie	owoc
komórka plemnikowa (1n) + komórka jajowa (1n) → zygota (2n) —podziały mitotyczne→ zarodek sporofitu (2n)		
komórka plemnikowa (1n) + komórka centralna (2n) → komórka triploidalna (3n) —podziały mitotyczne→ triploidalne bielmo (3n)		
osłonki zalążka (2n) → łupina nasienna (2n)		
ściana zalążni (2n) → owocnia (2n)		

Cykl rozwojowy wiśni ptasiej

W cyklu rozwojowym okrytonasiennych dominuje sporofit, który u wiśni ptasiej, zwanej potocznie czereśnią, ma postać drzewa o wysokości ok. 20 m. Zredukowane gametofity – woreczek zalążkowy oraz ziarno pyłku – rozwijają się w obrębie sporofitu.



Przemiana pokoleń u wiśni ptasiej.



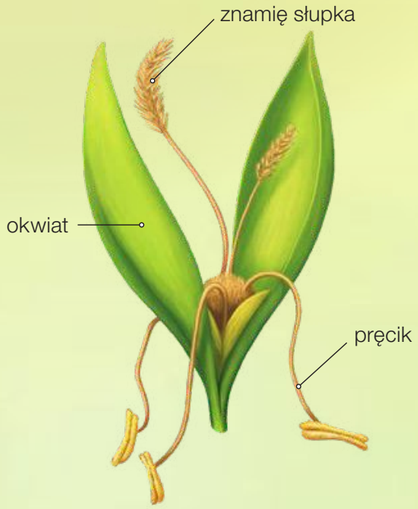
1. Obupłciowe kwiaty zawierają pręciki oraz słupek.
2a. W pręcikach (wewnątrz woreczków pyłkowych) komórki macierzyste mikrospor dzielą się mejotycznie, dzięki czemu powstają mikrospory. Następnie z mikrospor rozwijają się gametofity męskie (ziarna pyłku).
2b. W zalążku słupka komórka macierzysta makrospor dzieli się mejotycznie, wskutek czego powstają cztery makrospory. Jedna z nich rozwija się dalej i w ten sposób powstaje gametofit żeński (woreczek zalążkowy).
3. Dojrzały woreczek pyłkowy pęka, a ziarna pyłku zostają przeniesione przez owady na znamię słupka. Dochodzi do zapylenia.
4. Ziarno pyłku wytwarza łagiewkę pyłkową, która transportuje do zalążni dwie komórki plemnikowe.
5. Zachodzi podwójne zapłodnienie, które nie wymaga obecności wody. Jedna z komórek plemnikowych łączy się z komórką jajową, w wyniku czego powstają zygota, a następnie zarodek (2n). Druga komórka plemnikowa zapładnia komórkę centralną, co skutkuje powstaniem bielma wtórnego (3n).
6. Po zapłodnieniu zalążek przekształca się w nasienie. Jednocześnie opadają płatki korony, a zalążnia rozrasta się i przekształca w ścianę owocu – owocnię.
7. W sprzyjających warunkach nasiona kiełkują i wyrasta z nich młoda roślina – sporofit.
8. Po osiągnięciu dojrzałości płciowej sporofit zakwita. Tym samym rozpoczyna się kolejny cykl rozwojowy.

Związek między budową kwiatów roślin okrytonasiennych a sposobem ich zapylania

Budowa kwiatów roślin okrytonasiennych jest uzależniona od sposobu zapylania. Zapylanie może odbywać się za pośrednictwem wiatru, zwierząt lub – bardzo rzadko – wody.

Rośliny wiatropylne

Kwiaty roślin wiatropylnych wytwarzają dużą ilość lekkiego i sypkiego pyłku. Nitki ich pręcików są długie i wiotkie. Z kolei znamiona słupków mają dużą powierzchnię i są łatwo dostępne. Okwiat jest zazwyczaj niepozorny, bezwonny i nie wytwarza nektaru.



Budowa kwiatu roślin wiatropylnych

- Pręciki są długie i wiotkie.
- Znamiona słupków mają dużą powierzchnię.
- Pyłek jest lekki i sypki. Rośliny wytwarzają go w dużej ilości.
- Okwiat nie występuje lub jest zredukowany i bezwonny.

Kwiaty leszczyny, aby zwiększyć prawdopodobieństwo zapylenia, wytwarzają ogromną ilość drobnego i lekkiego pyłku. Jest on przenoszony przez wiatr na duże odległości.



Kwiaty traw mają pręciki zaopatrzone w długie i wiotkie nitki. Dzięki temu podmuchy wiatru łatwo wytrząsają z nich pyłek. Z kolei słupki mają pierzaste znamiona, które wychwytują pyłek z powietrza.





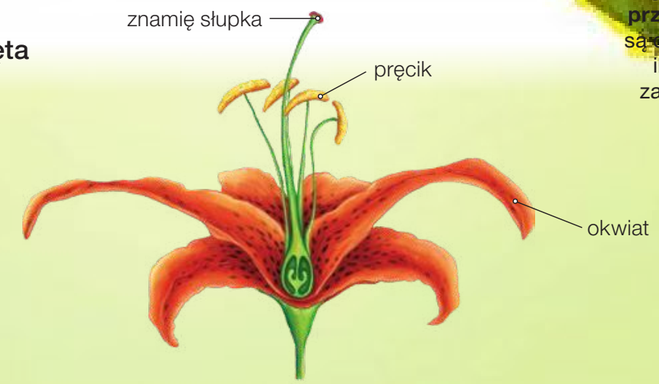
Kwiaty zapylane przez kolibry są duże i mają intensywne zabarwienie.

Rośliny zapylane przez zwierzęta

Rośliny, w których zapyleniu uczestniczą zwierzęta, np. owady, nietoperze lub kolibry, wytwarzają niewielką ilość ciężkiego i lepkiego pyłku. Okwiat tych roślin jest barwny i często wonny, ponadto wydziela on nektar.

Budowa kwiatu roślin zapylanych przez zwierzęta

- Okwiat jest duży, barwny i pachnący.
- Pyłek jest gruboziarnisty, ciężki i lepki.
- Kwiat wytwarza słodki nektar, który jest pokarmem zwierząt zapylających.





Do najbardziej wydajnych zapylaczy należy pszczoła miodna. Jedna pszczoła w ciągu minuty odwiedza ok. 10 kwiatów.



W wielu kwiatach znajdują się miodniki, czyli gruczoły wydzielające nektar, który stanowi pokarm dla zwierząt zapylających.



Niektóre rośliny, np. skupnia cuchnąca, zwiększają wydajność zapylenia przez podwyższenie temperatury kwiatów. Wysoka temperatura ułatwia wydzielanie substancji lotnych, które przywabiają zwierzęta zapylające.

Owoce

Owoce roślin okrytonasiennych powstają z zapylonych kwiatów i służą do rozprzestrzeniania się.

Budowa owoców

Typowy owoc jest zbudowany z jednego lub kilku nasion oraz z owocni. Owocnia pełni dwie ważne funkcje – chroni nasiona i pomaga w ich rozsiewaniu. W zależności od tego, czy w czasie dojrzewania owocnia wysycha czy pozostaje soczysta, owoce dzieli się na suche i mięsiste (→ s. 150).

Sposoby rozprzestrzeniania się owoców

Do podstawowych sposobów rozprzestrzeniania się owoców należą samosiewność oraz obcosiewność.

Samosiewność to rozprzestrzenianie się owoców za pomocą mechanizmów własnych rośliny macierzystej, takich jak:

- znaczne wydłużanie się pędów rośliny macierzystej, umożliwiające wytwarzanie owoców w pewnej odległości,
- gwałtowne wyrzucanie nasion za pomocą specyficznych elementów budowy owocu.

Obcosiewność to rozprzestrzenianie się owoców za pomocą czynników zewnętrznych.

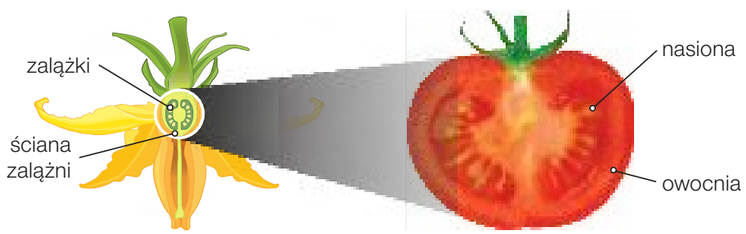
Wyróżnia się trzy typy obcosiewności:

- wiatrosiewność (anemochoria) – zachodzi za pośrednictwem wiatru,
- zwierzęcosiewność (zoochoria) – zachodzi za pośrednictwem zwierząt, głównie ptaków i ssaków,
- wodosiewność (hydrochoria) – zachodzi za pośrednictwem wody.

Owoce właściwe i rzekome

Biorąc pod uwagę elementy kwiatu, z których z powstaje owocnia, wyróżnia się owoce właściwe i owoce rzekome (szupinki). W owocach właściwych owocnia tworzy się ze ściany zalążni. W owocach rzekomych w wytwarzaniu owocni uczestniczą dodatkowo inne części kwiatu, np. dno kwiatowe.

Owocem właściwym jest jagoda pomidora, która powstaje z zalążni słupka. Ze ściany zalążni tworzy się soczysta owocnia, a z zalążków tworzą się nasiona.



Owocem rzekomym jest jabłko jabłoni. Mięsista, jadalna część owocni jabłka powstaje z dna kwiatowego. Otacza ona skórzastą część owocni, która zawiera nasiona i powstaje z zalążni słupka.



Związek między budową owocu a sposobem rozprzestrzeniania się roślin okrytonasiennych

Owoce poszczególnych gatunków roślin okrytonasiennych rozprzestrzeniają się w odmienny sposób. Niektóre są przenoszone przez wiatr, inne przez zwierzęta, a jeszcze inne – za pośrednictwem wody.

Wiatr

Owoce przenoszone za pośrednictwem wiatru są lekkie i często mają aparaty lotne, dzięki którym unoszą się w powietrzu.



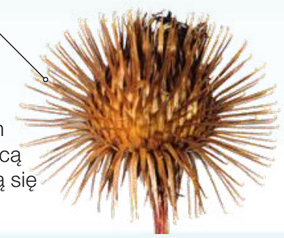
Owoce mniszka mają aparat lotny, który powstaje z okwiatu.



Owoce grabu są zaopatrzone w duże, płaskie skrzydełka lotne.

Zwierzęta

Niektóre owoce przenoszone za pośrednictwem zwierząt zachęcają do zjedzenia barwą, smakiem i zapachem. Inne wytwarzają specjalne wyrostki, dzięki którym przyczepiają się do sierści lub piór zwierząt.



Owoce łopianu mają wiele drobnych haczyków, za pomocą których przyczepiają się do sierści zwierząt.



Owoce jarzębiny wabią ptaki jaskrawą barwą. Ptaki zjadają owoce, a niestrawione nasiona usuwają wraz z odchodami.

Woda

Owoce przenoszone za pośrednictwem wody unoszą się na jej powierzchni m.in. dzięki występowaniu aerenchymy, występowaniu komór powietrza lub dużej zawartości tłuszczów. Powierzchnia tych owoców jest często pokryta warstwą wosku, co zabezpiecza je przed nasiąkaniem.



Owoce namorzynów rozprzestrzeniają się za pośrednictwem wody. Unoszą się na powierzchni wody i kiełkują po wyrzuceniu na brzeg.

Dowiedz się więcej

Owoce i owocostany

W zależności od sposobu powstawania owoców wyróżnia się owoce pojedyncze, owoce zbiorowe oraz owocostany.

RODZAJE OWOCÓW I OWOCOSTANY

Owoce

pojedyncze
Owoce pojedyncze rozwijają się z jednej zalążni jednosłupkowego kwiatu.

mięsiste
Owoce mięsiste mają soczystą owocnię.



jagoda – pomidor



jagoda – borówka czarna



pestkowiec – brzoskwinia



pestkowiec – śliwa domowa

suche
Owoce suche mają skórzastą lub zdrewniałą owocnię.

pękające
W owocach pękających dojrzała owocnia sama otwiera się i wysypuje nasiona.



mieszek – kaczeniec



strąk – fasola



torebka – mak

niepękające
W owocach niepękających dojrzała owocnia pozostaje zamknięta.



orzech – leszczyna



niełupka – słonecznik



ziarniak – kukurydza

zbiorowe
Owoce zbiorowe powstają z wielu zalążni jednego wielosłupkowego kwiatu.



owoc wieloorzeszkowy – truskawka



owoc wielopestkowcowy – jeżyna



owoc wielomieszkowy – jaskier

Owocostany
Owocostany powstają z przekształcenia całych kwiatostanów.



owocostan pestkowcowy – figa



owocostan jagodowy – ananas

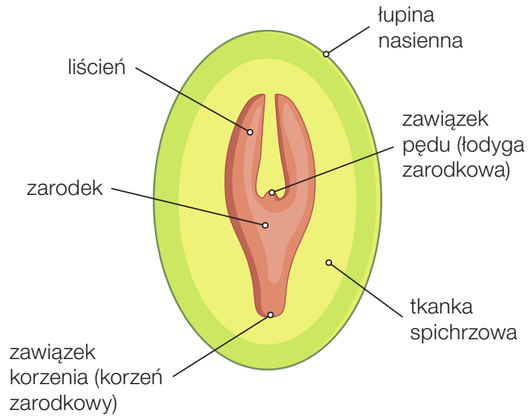


owocostan orzeszkowy – morwa

Nasiona

U roślin okrytonasiennych dojrzałe nasienie składa się z:

- **zarodka**, czyli młodocianego stadium sporofitu, stanowiącego zawiązek przyszłej rośliny. Zarodek jest zbudowany z korzenia zarodkowego, łodygi zarodkowej oraz liścieni;
- **łupiny nasiennej**, która chroni zarodek przed wpływem niekorzystnych czynników środowiska (np. przed wysychaniem i urazami mechanicznymi);
- **tkanki spichrzowej (bielma wtórnego)**, która magazynuje substancje odżywcze niezbędne do rozwoju zarodka i siewki (młodej rośliny).



Budowa nasienia rośliny okrytonasiennej.

Rozmnażanie wegetatywne roślin okrytonasiennych

Rozmnażanie wegetatywne polega na powstawaniu nowych roślin z fragmentów rośliny macierzystej, najczęściej z przekształconych pędów. W zależności od gatunku są to najczęściej: rozłogi, kłącza, bulwy lub cebule.

Rozmnażanie wegetatywne wykorzystuje się m.in. w uprawie roślin ozdobnych. Służą do tego głównie sadzonki, czyli oddzielone od rośliny macierzystej fragmenty korzeni, całych pędów lub ich części, np. liści. Nowa roślina, która powstała z sadzonki, jest identyczna genetycznie z rośliną macierzystą.



Bulwy ziemniaka to zgrubiałe i mięsiste łodygi podziemne. Służą m.in. do rozmnażania wegetatywnego.

Cechy charakterystyczne roślin okrytonasiennych

Cecha	Opis
Pokolenie dominujące w przemianie pokoleń	W cyklu rozwojowym sporofit (2n) dominuje nad gametofitem (1n).
Budowa sporofitu (2n)	Sporofit wykształca organy – korzenie, łodygi i liście (okrytonasienne należą do organowców).
Budowa gametofitu (1n)	Gametofit nie jest samodzielną rośliną – rozwija się w obrębie kwiatu sporofitu. Gametofitem męskim jest ziarno pyłku, a gametofitem żeńskim – woreczek zalążkowy.
Występowanie drewna (lub jego brak)	Drewno występuje w budowie anatomicznej sporofitu (okrytonasienne są roślinami naczyniowymi).
Sposób rozprzestrzeniania się	Rozprzestrzeniają się przez nasiona (okrytonasienne należą do roślin nasiennych).
Sposób zapłodnienia	Zapłodnienie (oogamia) zachodzi niezależnie od obecności wody dzięki łagiewce pyłkowej wytwarzanej przez ziarno pyłku.

Przykłady rodzimych gatunków roślin okrytonasiennych

Okrytonasienne to dominująca grupa roślin (ponad 300 tys. gatunków), która jest doskonale przystosowana do środowiska lądowego. W obrębie okrytonasiennych istnieje wiele rodzin różniących się budową sporofitu.

Wiechlinowate

Wiechlinowate to rośliny zielne. Ich łodygi mają postać źdźbła i są podzielone na węzły oraz międzywęźla. Kwiaty mają zredukowany okwiat i są wiatropylne. Owocem jest ziarniak.



Do wiechlinowatych należy m.in. **trzcina pospolita**.

Obrazkowate

Obrazkowate to rośliny zielne. Zwykle są bylinami. Ich kwiaty są zebrane w kolby, które osłania pochwa kwiatostanowa pełniąca funkcję powabni. Owocem jest jagoda.



Do obrazkowatych należy m.in. **czermień błotna**.



Do liliowatych należy m.in. **lilia złotogłów**, która jest objęta ścisłą ochroną gatunkową.

Storczykowate

Storczykowate to rośliny zielne. Często są epifitami. Ich kwiaty są barwne, zwykle grzbieciste i przystosowane do owadopylności. Owocem jest torebka.



Do storczykowatych należy m.in. **obuwik pospolity**, który podlega ścisłej ochronie gatunkowej.

Liliowate

Liliowate to rośliny zielne o okazałych i barwnych kwiatach. Są owadopylne, a ich owocem jest torebka.

Goździkowate

Goździkowate to w większości rośliny zielne o ulistnieniu okółkowym naprzeciwległym. Ich kwiaty są barwne, pachnące i owadopylne. Owocem jest przeważnie torebka.



Do goździkowatych należy m.in. **firletka poszarpana**.

Bobowate

Bobowate (motylkowate) to rośliny zielne, krzewy oraz drzewa żyjące w symbiozie z bakteriami brodawkowymi. Wyróżniają się grzbiecistymi kwiatami. Ich owocem jest zwykle strąk.



Do bobowatych należy m.in. **koniczyna łąkowa**.

Różowate

Do różowatych należą drzewa, krzewy i rośliny zielne. Kwiaty tych roślin mają różną liczbę pręcików i słupków. Owoce są zwykle mięsiste, a w ich tworzeniu uczestniczy dno kwiatowe.



Do różowatych należy m.in. **róża dzika**.

Astrowate

Astrowate są w większości roślinami zielnymi. Kwiaty astrowatych są skupione w gęste kwiatostany. Owocem charakterystycznym jest niełupka.



Do astrowatych należy m.in. **rumianek pospolity**.

Kapustowate

Kapustowate to w większości rośliny zielne o ulistnieniu skrętoległym. Ich kwiaty są drobne i owadopylne, a owocem jest łuszczyna.



Do kapustowatych należy m.in. **rzepak**.

Znaczenie okrytonasiennych
w przyrodzie i dla człowieka

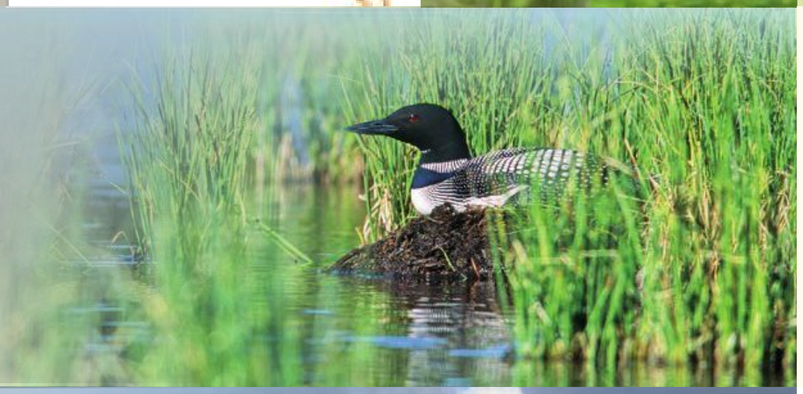


Źródło tlenu
Okrytonasienne są głównym składnikiem większości ekosystemów lądowych. Podczas fotosyntezy pochłaniają one ogromne ilości dwutlenku węgla i wytwarzają tlen, niezbędny organizmom do oddychania. Największym lądowym producentem tlenu jest wilgotny las równikowy.





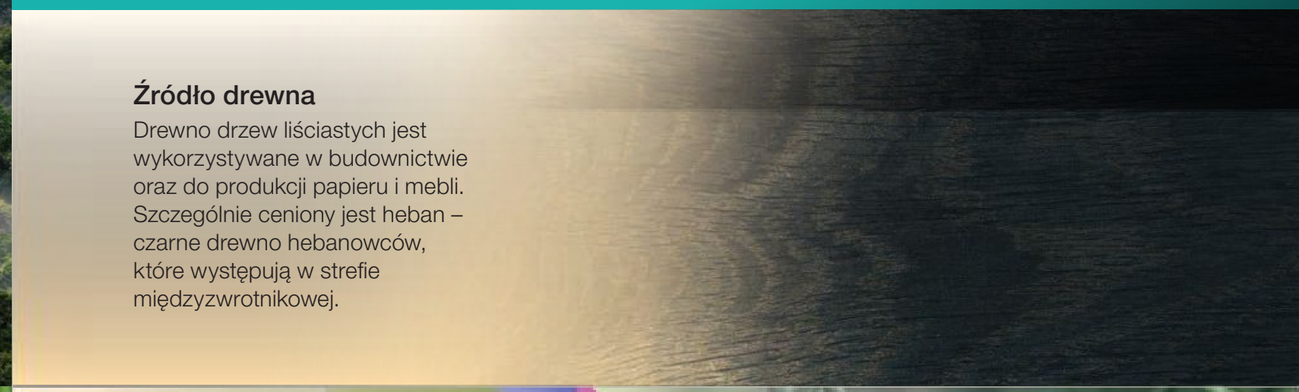
Źródło pokarmu
Okrytonasienne stanowią bazę pokarmową większości ekosystemów lądowych. Żywią się nimi zwierzęta roślinożerne oraz wszystkożerne. Wiele gatunków okrytonasiennych jest wykorzystywanych przez człowieka. Ze zbóż wytwarza się m.in. mąkę i kasze, a burak cukrowy i trzcina cukrowa są stosowane jako surowce do produkcji cukru. Bardzo ważnymi składnikami pożywienia człowieka są również warzywa, owoce i zioła.



Tworzenie siedlisk
Rośliny okrytonasienne stanowią środowisko życia dla wielu innych organizmów, m.in. licznych zwierząt (kręgowych i bezkręgowych) oraz grzybów.



Naturalna ochrona
Drzewa liściaste, które tworzą lasy lub zadrzewienia śródpolne, pełnią funkcję naturalnej ochrony przed wiatrem. Zatrzymują również wodę z opadów, co często zapobiega powodziom, oraz oczyszczają powietrze, ponieważ pochłaniają znaczne ilości pyłów i gazów.



Źródło drewna
Drewno drzew liściastych jest wykorzystywane w budownictwie oraz do produkcji papieru i mebli. Szczególnie ceniony jest heban – czarne drewno hebanowców, które występują w strefie międzyzwrotnikowej.



Źródło naturalnych włókien
Włókna sklerenchymatyczne pozyskiwane z lnu, bawełny, konopi i juty są wykorzystywane m.in. w przemyśle tekstylnym do wyrobu tkanin.

Len zwyczajny.



Źródło cennych substancji
Substancje zawarte w roślinach okrytonasiennych stosuje się do produkcji kosmetyków i leków. Na przykład z naparstnicy otrzymuje się glikozydy, które są stosowane w leczeniu chorób serca.

Naparstnica purpurowa.

Polecenia kontrolne

1. Podaj cechy roślin okrytonasiennych, które pozwalają odróżnić je od roślin nagonasiennych.
2. Omów budowę obupłciowego kwiatu rośliny okrytonasiennej.
3. Opisz przebieg przemiany pokoleń u roślin okrytonasiennych.
4. Porównaj budowę kwiatów roślin okrytonasiennych zapylanych przez wiatr z budową kwiatów roślin okrytonasiennych zapylanych przez zwierzęta.
5. Wykaż związek między budową owoców łopianu a sposobem rozsiewania jego nasion. Skorzystaj z wiarygodnych źródeł wiedzy.

Podsumowanie

1 Cechy wspólne roślin pierwotnie wodnych i roślin lądowych

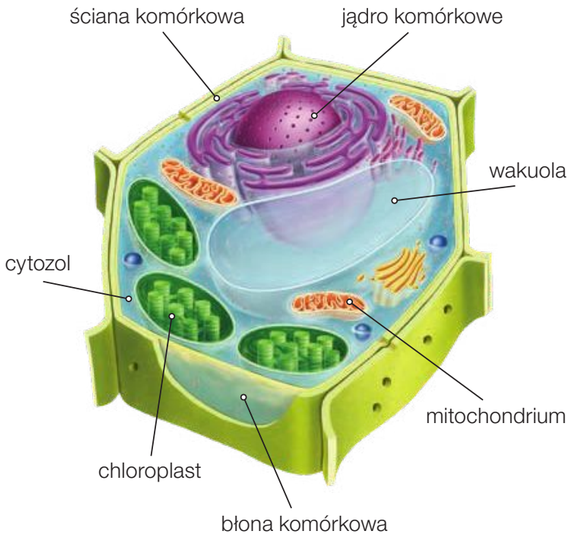
- Są organizmami autotroficznymi – przeprowadzają fotosyntezę oksygeniczną.
- Mają chloroplasty otoczone dwiema błonami białkowo-lipidowymi.
- Ich komórki są otoczone celulozową ścianą komórkową.
- Wewnątrz komórek znajdują się duże wakuole.
- Podstawowym materiałem zapasowym komórek jest skrobia.

2 Porównanie zielenic i krasnorostów

Cecha	Zielenice	Krasnorosty
Występowanie	głównie środowisko wodne, rzadziej lądowe – np. kora drzew, śnieg i lód	środowisko wodne – głównie wody słone, rzadko wody słodkie
Formy morfologiczne	jednokomórkowe, kolonijne, wielokomórkowe plechowe	wielokomórkowe plechowe
Zdolność ruchu lub zdolność biernego unoszenia się na powierzchni wody	występuje – aktywne pływanie za pomocą wici lub bierne unoszenie się w wodzie	zwykle nie występuje – większość to formy osiadłe, przytwierdzone do podłoża za pomocą chwytników
Barwniki fotosyntetyczne	chlorofile *a* i *b*	chlorofile, karotenoidy, niebieskie i czerwone fikobiliny

3 Cechy roślin lądowych

- Są organizmami autotroficznymi – przeprowadzają fotosyntezę oksygeniczną.
- Ich komórki są otoczone celulozową ścianą komórkową.
- Wewnątrz komórek znajdują się duże, centralnie położone wakuole.
- Plastydy są otoczone dwiema błonami białkowo-lipidowymi.
- Chloroplasty zawierają chlorofile *a* i *b*.
- Podstawowym materiałem zapasowym komórek jest skrobia.
- Mają budowę tkankową.
- Mają ciało zróżnicowane na organy (wyjątek: mszaki).
- Charakteryzują się heteromorficzną przemianą pokoleń – u większości dominuje sporofit, tylko u mszaków dominuje gametofit.
- Większość wytwarza organy wegetatywne – korzenie, łodygę, liście (poza mszakami) – oraz generatywne – kwiaty (poza mszakami i paprotnikami).



Budowa komórki roślinnej.

4 Główne adaptacje roślin do środowiska lądowego

ORGANY	
Struktura	**Funkcja**
Liść	• przeprowadza fotosyntezę • dzięki transpiracji umożliwia transport wody w roślinie
Łodyga	• łączy korzenie z liśćmi, kwiatami i owocami
Korzeń	• utrzymuje roślinę w podłożu • pobiera z gleby wodę z solami mineralnymi
Kwiat	• umożliwia rozmnażanie się rośliny bez udziału wody
TKANKI	
Struktura	**Funkcja**
Skórka pędu	• zabezpiecza roślinę m.in. przed nadmierną utratą wody • zawiera szparki, które umożliwiają transpirację oraz wymianę gazową między rośliną a środowiskiem zewnętrznym
Drewno	• umożliwia pionowy transport wody w roślinie • pełni funkcję wzmacniającą
Korkowica	• chroni roślinę m.in. przed niekorzystną temperaturą, nadmierną utratą wody i urazami mechanicznymi
Skórka korzenia	• odpowiada za pobieranie z gleby wody z solami mineralnymi

5 Formy ekologiczne roślin

Formy ekologiczne roślin			
hydrofity	**higrofity**	**mezofity**	**kserofity**
• żyją w zbiornikach wodnych • często nie mają korzeni i pobierają wodę całą powierzchnią ciała • mają cienkie i elastyczne łodygi, delikatne blaszki liściowe oraz słabo wykształcone tkanki przewodzące	• żyją w siedliskach wilgotnych • mają słabo rozwinięty system korzeniowy • mają delikatne łodygi oraz duże i cienkie blaszki liściowe, przystosowane do intensywnej transpiracji	• żyją w siedliskach umiarkowanie wilgotnych • są zdolne do przetrwania krótkotrwałych okresów suszy • mają silnie rozwinięty system korzeniowy • mają dobrze rozwinięte tkanki wzmacniającą i okrywającą	• żyją w siedliskach suchych • są odporne na suszę wywołaną brakiem wody, niską temperaturą lub zasoleniem • należą do nich sukulenty, które magazynują wodę, oraz sklerofity, które wydajnie ograniczają transpirację

6 Podział tkanek roślinnych

Kryterium podziału	Grupa tkanek
Zdolność komórek do dzielenia się	tkanki twórcze – zbudowane z komórek dzielących się
	tkanki stałe – zbudowane z komórek zwykle niedzielących się
Obecność komórek żywych	tkanki żywe – zbudowane z komórek żywych
	tkanki martwe – zbudowane z komórek martwych
Poziom zróżnicowania komórek wchodzących w skład tkanki	tkanki jednorodne – zbudowane z komórek jednego typu
	tkanki niejednorodne – zbudowane z kilku typów komórek

7 Rodzaje tkanek twórczych

Tkanki twórcze (merystemy)	
pierwotne	**wtórne**
• Merystemy wierzchołkowe – występują na szczytach pędu i korzenia, umożliwiają wzrost tych organów na długość oraz ich pierwotny przyrost na grubość. W wyniku działania stożków wzrostu łodygi i korzenie uzyskują pierwotną budowę anatomiczną. • Merystemy wstawowe – występują u niektórych gatunków u podstaw międzywęźli, umożliwiają przyrost rośliny na długość.	• Merystemy boczne – występują w łodygach i korzeniach. Powodują wtórny przyrost tych organów na grubość i są odpowiedzialne za ich wtórną budowę anatomiczną. Należą do nich miazga, która wytwarza nowe komórki tkanki przewodzącej, oraz miazga korkotwórcza, która wytwarza korkowicę. • Tkanka przyranna – uczestniczy w zasklepianiu uszkodzonych tkanek. • Tkanka zarodnikotwórcza – występuje w zarodniach, uczestniczy w wytwarzaniu zarodników.

8 Rodzaje tkanek stałych

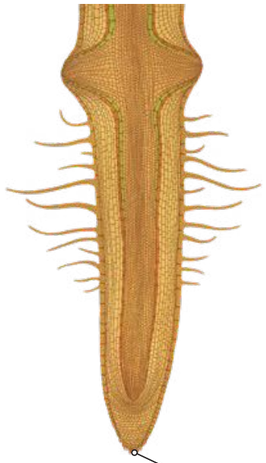
Rodzaje tkanek stałych	Funkcje	Rodzaje tkanek
Tkanki okrywające	Izolują wnętrze rośliny od środowiska zewnętrznego. Umożliwiają wymianę substancji między rośliną a środowiskiem zewnętrznym.	• skórka – pierwotna tkanka okrywająca; skórka pędu nosi nazwę epidermy, a skórka korzenia – ryzodermy • korkowica – wtórna tkanka okrywająca
Tkanki miękiszowe	Tworzą zasadniczą część wszystkich organów rośliny. W zależności od lokalizacji pełnią różne funkcje.	• miękisz asymilacyjny – zawiera liczne chloroplasty, w których zachodzi fotosynteza • miękisz spichrzowy – jest magazynem substancji zapasowych • miękisz zasadniczy – wypełnia przestrzenie między innymi tkankami • miękisz powietrzny – magazynuje gazy, głównie tlen, oraz umożliwia unoszenie się pędów w wodzie
Tkanki wzmacniające	Chronią rośliny przed złamaniem, zgnieceniem lub rozerwaniem.	• kolenchyma – występuje głównie w rosnących pędach roślin • sklerenchyma – występuje zazwyczaj w dojrzałych korzeniach i łodygach roślin
Tkanki przewodzące	Umożliwiają transport substancji między różnymi organami rośliny.	• drewno (ksylem) – przewodzi wodę z solami mineralnymi od korzeni do pędów rośliny • łyko (floem) – przewodzi związki organiczne między różnymi organami rośliny

9 Rodzaje wiązek przewodzących

Wiązki przewodzące			
proste – zawierają tylko jeden rodzaj tkanki (łyko lub drewno)	**złożone** – są zbudowane z drewna i łyka		
	koncentryczne – pasmo jednej tkanki (łyka lub drewna) otacza pasmo drugiej tkanki	**naprzeciwległe zamknięte** – między drewnem a łykiem nie występuje kambium	**naprzeciwległe otwarte** – między drewnem a łykiem występuje kambium

10 Korzeń – organ wegetatywny, który występuje u większości roślin lądowych i wtórnie wodnych. Zazwyczaj jest on podziemną częścią rośliny. Do funkcji korzenia należą utrzymywanie rośliny w podłożu oraz pobieranie z podłoża wody i soli mineralnych.

11 Strefy korzenia



Strefa wyrośnięta – nie uczestniczy w pobieraniu wody, wyrastają z niej liczne korzenie boczne, które wspomagają utrzymywanie się rośliny w podłożu i transportują wodę z solami mineralnymi w kierunku korzenia głównego.

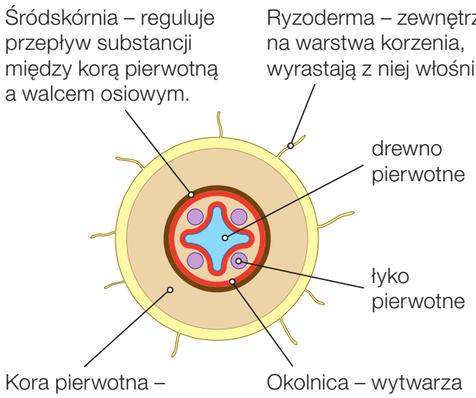
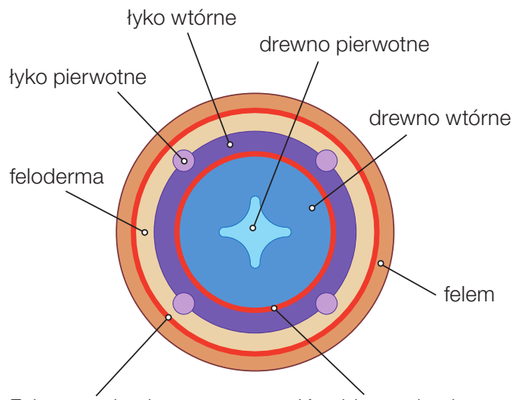
Strefa włośnikowa – w tej strefie komórki ryzodermy są zaopatrzone we włośniki, dlatego jest to strefa najbardziej efektywnego wchłaniania wody.

Strefa wydłużania – jest zbudowana z komórek, które intensywnie zwiększają swoje rozmiary, co powoduje bardzo szybki wzrost korzenia.

Strefa podziałów komórkowych – stożek wzrostu korzenia. W tej strefie komórki intensywnie dzielą się mitotycznie, co powoduje wzrost korzenia na długość oraz jego pierwotny przyrost na grubość.

Czapeczka – ochrania stożek wzrostu.

12 Budowa pierwotna i wtórna korzenia

Budowa korzenia	
pierwotna	**wtórna**
	

13 Modyfikacje korzeni

Rodzaj modyfikacji	Funkcje	Przykłady występowania
Korzenie spichrzowe	magazynują substancje zapasowe (głównie skrobię)	rośliny dwuletnie, np. burak, marchew, rzodkiewka
Korzenie powietrzne	pochłaniają wodę deszczową lub parę wodną zawartą w powietrzu	epifity, np. storczyki
Korzenie podporowe	utrzymują roślinę w podłożu	rośliny o płytkim systemie korzeniowym, np. figowce, kukurydza, lub rosnące w grząskim podłożu, np. namorzyny
Korzenie czepne	mocują roślinę do gałęzi, pni drzew, skał, murów lub ścian	epifity i pnącza, np. bluszcz
Ssawki (haustoria)	pobierają wodę, sole mineralne oraz substancje organiczne od żywiciela	rośliny pasożytnicze i półpasożytnicze, np. jemioła
Korzenie oddechowe (pneumatofory)	dostarczają tlen do korzeni podziemnych	rośliny terenów bagnistych, np. cypryśnik błotny

14 **Pęd** to część rośliny zbudowana zwykle z łodygi i liści, a u roślin nasiennych – również z kwiatów i z owoców (u okrytonasiennych). Wyróżnia się dwa rodzaje pędów:

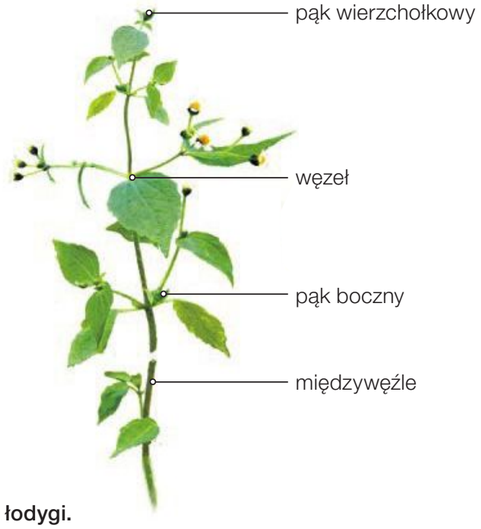
- **pędy nadziemne** – zbudowane z łodygi, liści, a u roślin nasiennych również z kwiatów i z owoców (u okrytonasiennych),
- **pędy podziemne** – zmodyfikowane ulistnione lub bezlistne łodygi o charakterze przetrwalnikowym, wytwarzane przez wieloletnie rośliny zielne (byliny).

15 **Łodyga** – organ wegetatywny rośliny, stanowiący oś pędu. Do jej funkcji należą:

- utrzymywanie liści, a u niektórych roślin – również kwiatów i owoców,
- transport wody z solami mineralnymi z korzeni do innych organów rośliny,
- transport związków organicznych między różnymi organami rośliny.

Wyróżnia się dwa rodzaje łodyg:

- **łodygi zielne** – organy nietrwałe, obumierające pod koniec sezonu wegetacyjnego. Występują u wszystkich roślin jednorocznych, dwuletnich i niektórych wieloletnich (bylin);
- **łodygi zdrewniałe** – organy trwałe. Występują u wieloletnich roślin drzewiastych.

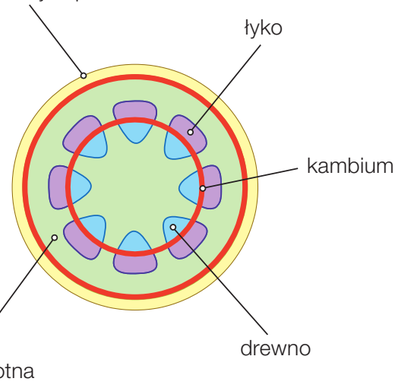


Budowa morfologiczna łodygi.

16 Budowa pierwotna i wtórna łodygi rośliny dwuliściennej

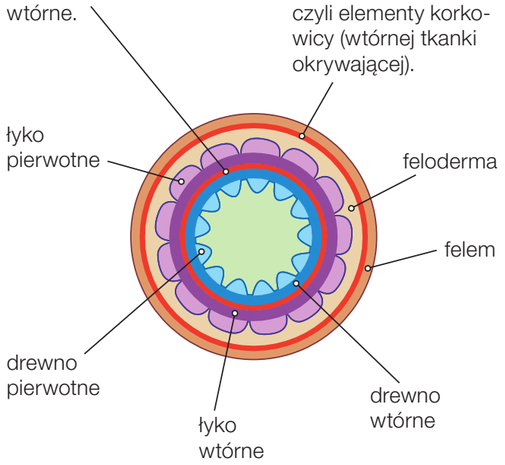
Budowa łodygi	
pierwotna	**wtórna**

Epiderma – zewnętrzna warstwa łodygi. W łodygach o budowie pierwotnej oraz u roślin zielnych epiderma zawiera aparaty szparkowe.



Kambium – tkanka twórcza wytwarzająca drewno wtórne i łyko wtórne.

Felogen – tkanka twórcza wytwarzająca felodermę i felem, czyli elementy korkowicy (wtórnej tkanki okrywającej).



17 Modyfikacje łodyg

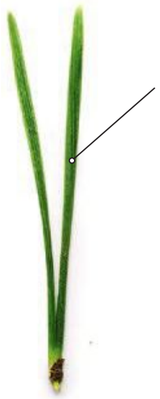
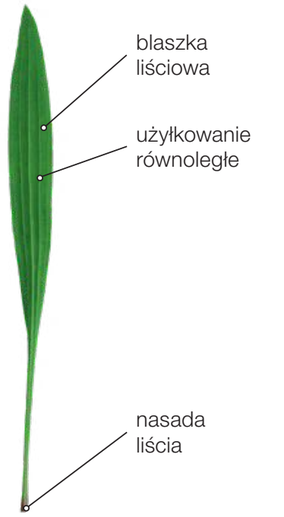
Rodzaj modyfikacji	Funkcja	Przykłady występowania
Bulwy	pełnią funkcje spichrzowe i przetrwalnikowe, są organami rozmnażania wegetatywnego	byliny, np. kalarepa, ziemniak
Rozłogi	są organami rozmnażania wegetatywnego	rośliny zielne, np. pięciornik, truskawka
Kłącza	pełnią funkcje spichrzowe i przetrwalnikowe, są organami rozmnażania wegetatywnego	byliny, np. imbir, konwalia, kosaciec
Wąsy czepne	umożliwiają roślinie owijanie się wokół podpory	rośliny pnące, np. winorośl
Ciernie	chronią roślinę przed zwierzętami roślinożernymi	niektóre rośliny dwuliścienne (głównie drzewa i krzewy), np. śliwa tarnina
Łodygi spichrzowe sukulentów	pełnią funkcje spichrzowe (gromadzą wodę) i przeprowadzają fotosyntezę	sukulenty łodygowe, np. kaktusy

18 **Liść** – organ wegetatywny wchodzący w skład pędu.

Główne funkcje liścia:

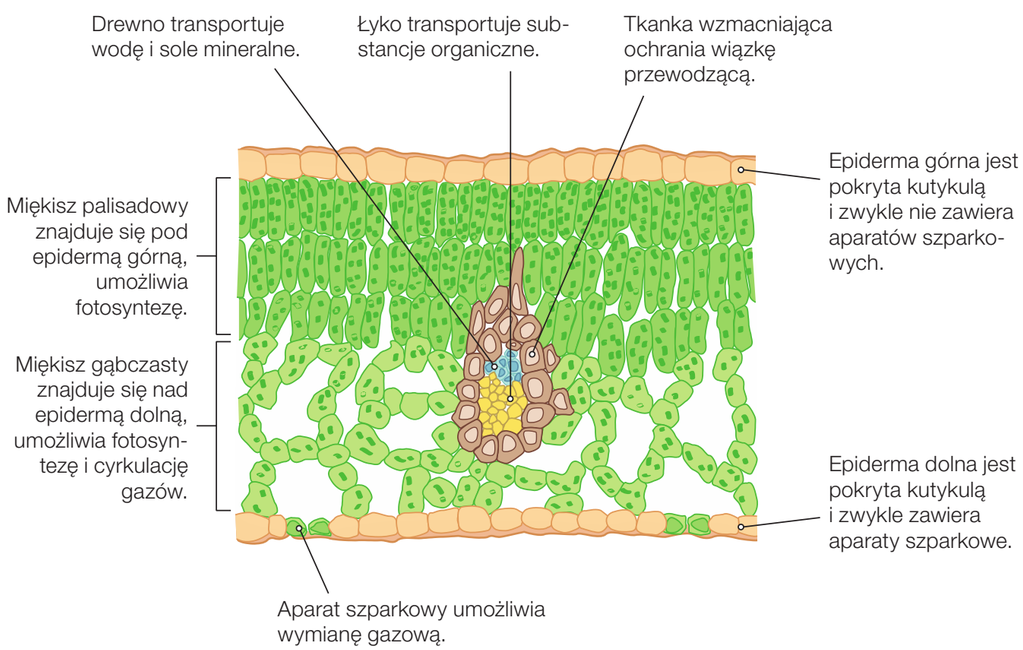
- wytwarzanie związków organicznych w procesie fotosyntezy,
- transpiracja, czyli parowanie wody z rośliny,
- wymiana gazowa między wnętrzem rośliny a środowiskiem zewnętrznym.

19 Budowa morfologiczna liści

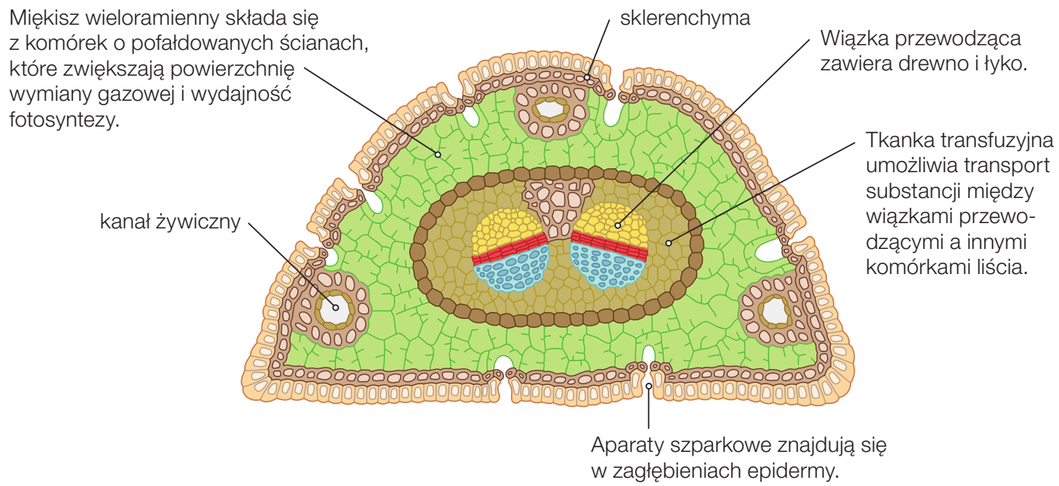
Rośliny nagonasienne	Rośliny okrytonasienne	
	liście bezogonkowe	liście ogonkowe
Liście o budowie kseromorficznej: • zredukowana blaszka liściowa, • epiderma zbudowana z grubościennych komórek powleczonych kutykulą i woskiem, • aparaty szparkowe w zagłębieniach epidermy. 	Składają się z blaszki liściowej, która przechodzi bezpośrednio w nasadę liścia. 	Składają się z blaszki liściowej, ogonka liściowego i nasady liścia. 

20 Budowa anatomiczna liści

- **Budowa anatomiczna liścia rośliny okrytonasiennej (na przykładzie brzozy)**



- **Budowa anatomiczna liścia rośliny nagonasiennej (na przykładzie sosny)**



21 Modyfikacje liści

Rodzaj modyfikacji	Funkcje	Przykłady występowania
Liście pułapkowe	umożliwiają chwytanie i trawienie zwierząt, głównie owadów	rośliny mięsożerne, np. muchołówka, rosiczka, dzbanecznik
Liście spichrzowe	magazynują substancje zapasowe	np. kapusta
Liście łuskowate	ochraniają m.in. zawiązki liści lub kwiatów	rośliny wieloletnie, np. drzewa
Liściaki (przekształcone ogonki liściowe)	pełnią funkcje asymilacyjne	niektóre kserofity, np. akacja
Wąsy czepne	umożliwiają roślinie owijanie się wokół podpory	rośliny pnące, np. wyka
Pochwy kwiatostanowe	pełnią funkcję powabni	niektóre rośliny, np. anturium

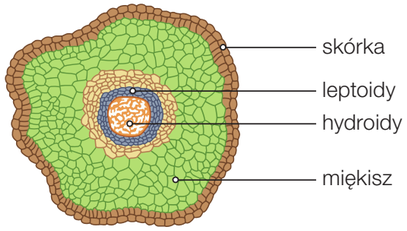
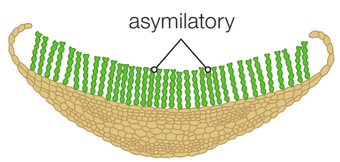
22 Przystosowania w budowie liści u różnych form ekologicznych roślin

Forma ekologiczna roślin	Główne przystosowania w budowie liści
Hydrofity	• epiderma jednowarstwowa z chloroplastami i cienką kutykulą • obecność miękiszu powietrznego
Higrofity	• epiderma jednowarstwowa zwykle z chloroplastami i z cienką kutykulą • aparaty szparkowe stale otwarte, umiejscowione w epidermie górnej i dolnej • w liściach obecne hydatody
Mezofity	• epiderma jednowarstwowa zwykle bez chloroplastów, pokryta kutykulą • aparaty szparkowe umiejscowione w epidermie dolnej
Sklerofity	• epiderma wielowarstwowa, pokryta bardzo grubą warstwą kutykuli • aparaty szparkowe obecne na spodniej stronie liści, w zagłębieniach epidermy
Sukulenty	• powierzchnia liści pokryta grubą warstwą kutykuli i woskiem • obecność miękiszu wodnego

23 Cechy mchów

- Należą do roślin zarodnikowych – rozprzestrzeniają się przez zarodniki.
- Nie wytwarzają drewna, nie są więc roślinami naczyniowymi. U niektórych gatunków jego funkcję pełnią komórki przewodzące wodę – hydroidy.
- Sporofit mchów nie wykształca organów (korzeni, łodyg i liści), dlatego mchy nie należą do organowców. Łodyżki, listki i chwytniki gametofitu (1n) są strukturami analogicznymi do organów sporofitu (2n), który występuje u innych grup roślin.
- W ich cyklu rozwojowym występuje heteromorficzna przemiana pokoleń, w której gametofit dominuje nad sporofitem.
- Gametofit jest zieloną, wieloletnią rośliną. Sporofit jest pokoleniem krótkotrwałym i uzależnionym od gametofitu (sporofit pobiera z niego wodę z substancjami mineralnymi, a u niektórych gatunków – również produkty fotosyntezy).
- Do zapłodnienia konieczna jest obecność wody.

24 Budowa mchów na przykładzie płonnika pospolitego

Budowa morfologiczna gametofitu i sporofitu	Budowa anatomiczna łodyżki i listka (elementów gametofitu)
	• Budowa anatomiczna łodyżki mchu Łodyżka jest zbudowana ze skórki i z miękiszowego rdzenia, w którym znajduje się wiązka przewodząca.  • Budowa anatomiczna listka mchu Listki mają na górnej powierzchni asymilatory – pionowe szeregi komórek zawierających chloroplasty, w których zachodzi fotosynteza. 

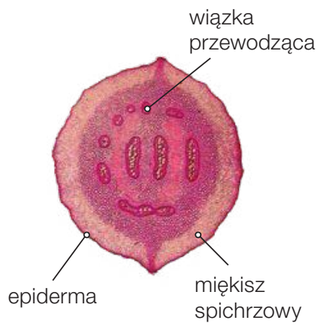
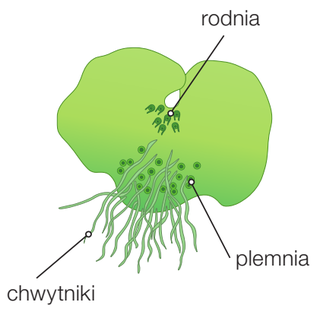
25 Cechy paprotników

- Należą do roślin zarodnikowych – rozprzestrzeniają się przez zarodniki.
- Sporofit paprotników jest zbudowany z organów (korzeni, łodyg i liści) – paprotniki są więc organowcami.
- Wytwarzają drewno, dlatego należą do roślin naczyniowych.
- Występuje u nich heteromorficzna przemiana pokoleń, w której dominującym pokoleniem jest samożywny, wieloletni sporofit.
- Gametofit ma postać przedrośla – małej plechy, zwykle samożywnej i krótkotrwałej.
- Do zapłodnienia konieczna jest obecność wody.

26 Liście paproci

Rodzaje liści paproci		
sporotrofofile		sporofile i trofofile
Pełnią funkcję asymilacyjną oraz uczestniczą w rozmnażaniu się rośliny. Na ich spodniej stronie znajdują się kupki zarodni.	Są podzielone na dwie części. Część trofofilowa – zielona – pełni funkcję asymilacyjną, natomiast część sporofilowa – brunatna – wytwarza zarodnie z zarodnikami.	Zielone trofofile pełnią funkcję asymilacyjną, natomiast brunatne sporofile wytwarzają zarodnie z zarodnikami.

27 Budowa paproci na przykładzie nerecznicy samczej

Budowa sporofitu		Budowa gametofitu (przedrośla)
budowa morfologiczna	budowa anatomiczna kłącza (łodygi)	
Sporotrofofil przeprowadza fotosyntezę i wytwarza zarodnie z zarodnikami. 	Łodygę (kłącze) paproci okrywa epiderma zawierająca aparaty szparkowe. Wnętrze łodygi wypełnia miękisz spichrzowy oraz koncetryczne wiązki przewodzące. 	Gametofit paproci ma postać niewielkiej plechy, przytwierdzonej do podłoża chwytnikami. Na spodniej stronie gametofitu powstają rodnie i plemnie. 

28 Porównanie sporofitu i gametofitu u poszczególnych grup paprotników

Grupa paprotników	Opis sporofitu	Opis gametofitu
Paprociowe 	• Jest zbudowany z pierzastych liści, podziemnej łodygi – kłącza – oraz korzeni przybyszowych. • Zarodnie zebrane są w kupki i otoczone zawijką. Występują na dolnej stronie liścia.	• Ma postać niewielkiej plechy, przymocowanej do podłoża chwytnikami. • Jest samożywny. • Jest jednopienny – rodnie i plemnie występują na jednym osobniku.
Skrzypowe 	• Jest zbudowany z kłącza, nadziemnej łodygi, łuskowatych liści i korzeni przybyszowych. Łodygi (podziemna i nadziemna) są zróżnicowane na krótkie węzły i wydłużone międzywęźla. Z węzłów kłącza wyrastają korzenie przybyszowe, a z węzłów łodygi nadziemnej – odgałęzienia boczne i łuskowate liście. • Łodyga pełni funkcję asymilacyjną. • Zarodnie znajdują się na spodniej stronie liści zarodnionośnych, zebranych w kłosy zarodnionośne (sporofilostany).	• Jest drobny i zielony, przymocowany do podłoża chwytnikami. • Jest samożywny. • Jest dwupienny – osobno występują przedrośla żeńskie, które zawierają rodnie, oraz przedrośla męskie, które zawierają plemnie.
Widłakowe 	• Jest zbudowany z widlasto rozgałęzionych łodyg, liści i widlasto rozgałęzionych korzeni przybyszowych. • Liście asymilacyjne są drobne i zielone, liście zarodnionośne są zazwyczaj skupione w kłos zarodnionośny.	• U jednakozarodnikowych – jest drobny, zwykle bezzieleniowy; do rozwoju wymaga obecności grzyba mikoryzowego. • U różnozarodnikowych – jest silnie zredukowany.

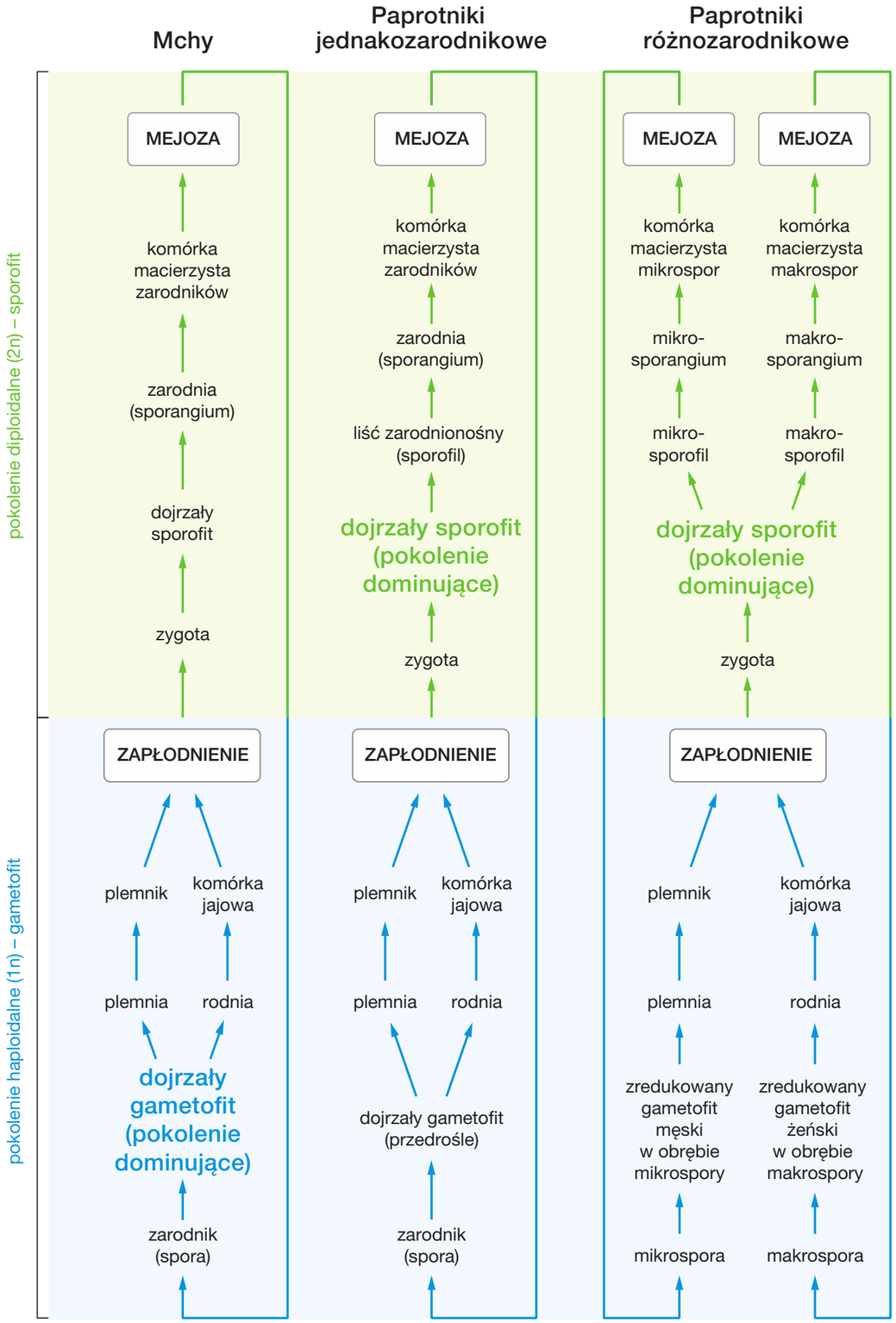
29 Cechy roślin nasiennych

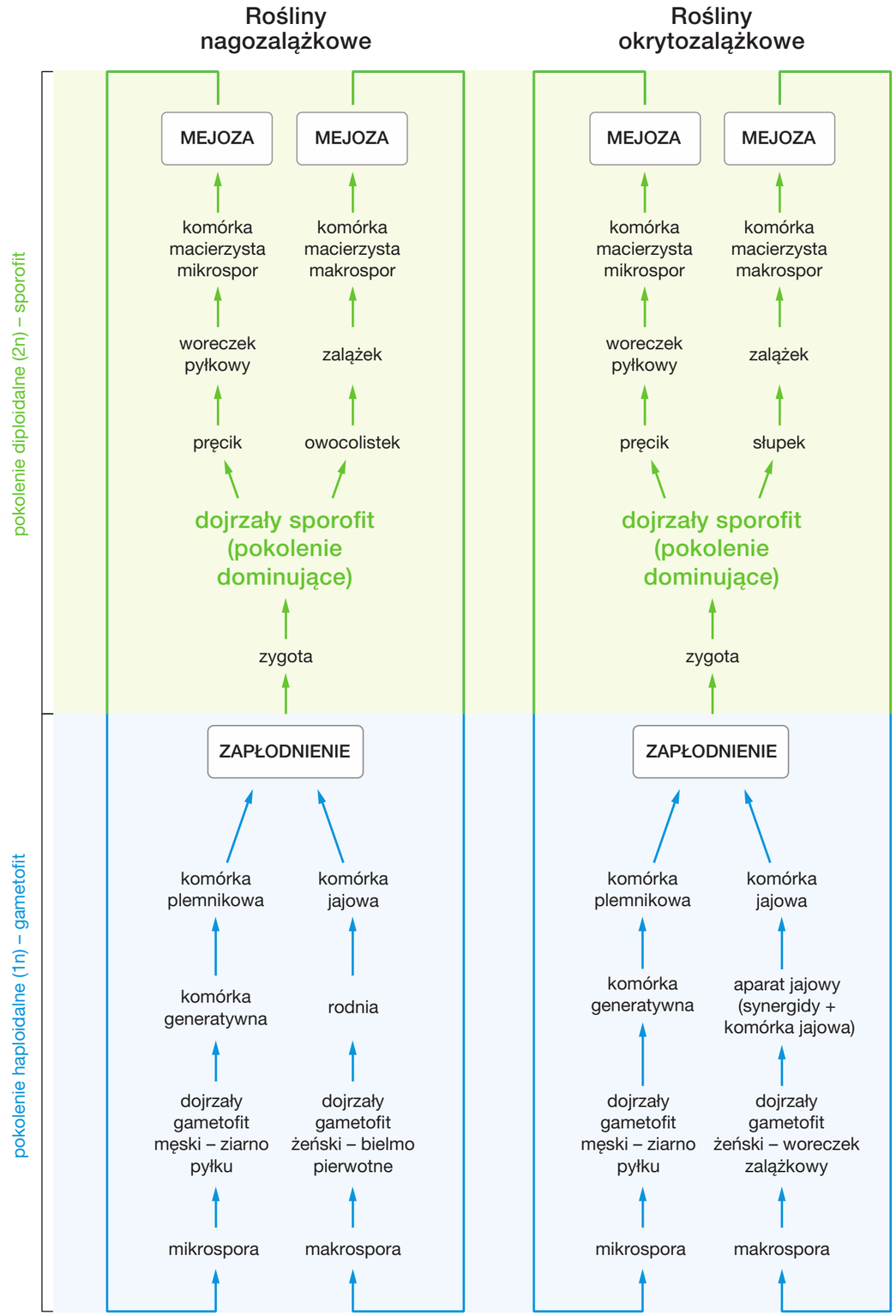
- Wytwarzają nasiona – struktury przetrwalnikowe powstające w efekcie zapłodnienia, służące do rozprzestrzeniania się gatunku.
- Występuje u nich heteromorficzna przemiana pokoleń, w której pokoleniem dominującym jest samożywny sporofit.
- Sporofit zbudowany jest z organów wegetatywnych (korzeni, łodygi i liści) oraz generatywnych (kwiatów).
- Kwiaty żeńskie zbudowane są z makrosporofili (owocolistków), które zawierają makrosporangia (zalążki). W zalążkach znajdują się makrospory, które następnie kiełkują w silnie zredukowane gametofity żeńskie z komórkami jajowymi.
- Kwiaty męskie zbudowane są z mikrosporofili (pręcików), które zawierają mikrosporangia (woreczki pyłkowe). W mikrosporangiach rozwijają się mikrospory, które następnie kiełkują w silnie zredukowane gametofity męskie z komórkami plemnikowymi.
- Zapłodnienie nie wymaga obecności wody – komórki plemnikowe są przenoszone do komórki jajowej za pomocą łagiewki pyłkowej.

30 Porównanie poszczególnych grup roślin nasiennych

Cecha	Rośliny nagonasienne 	Rośliny okrytonasienne 
Sporofit	• Jest pokoleniem dominującym. • Jest zbudowany z organów wegetatywnych (korzeni, łodygi i liści) oraz organów generatywnych (kwiatów). • Zwykle ma postać drzewa, rzadziej krzewu.	• Jest pokoleniem dominującym. • Jest zbudowany z organów wegetatywnych (korzeni, łodygi i liści) oraz organów generatywnych (kwiatów). Z kwiatów powstają owoce. • Może mieć postać drzewa, krzewu, krzewinki lub rośliny zielnej.
Gametofit	• Jest silnie zredukowany. • Gametofit żeński (bielmo pierwotne) rozwija się z makrospory. Powstają w nim dwie rodnie z komórkami jajowymi. • Gametofit męski (ziarno pyłku) rozwija się z mikrospory. Składa się z dwóch komórek przedroślowych, dużej komórki wegetatywnej oraz mniejszej komórki generatywnej. W wyniku podziału komórki generatywnej powstają dwie komórki plemnikowe.	• Jest silnie zredukowany. • Gametofit żeński (woreczek zalążkowy) rozwija się z makrospory. Składa się z siedmiu komórek, w tym haploidalnej komórki jajowej i diploidalnej komórki centralnej. • Gametofit męski (ziarno pyłku) rozwija się z mikrospory. Składa się z dużej komórki wegetatywnej oraz mniejszej komórki generatywnej. W wyniku podziału komórki generatywnej powstają dwie komórki plemnikowe.
Kwiaty	• Są rozdzielnopłciowe. • Nie mają okwiatu. • Są zebrane w jednopłciowe kwiatostany (męskie i żeńskie). • Kwiat żeński jest zbudowany z łuski nasiennej, na której znajdują się dwa nieosłonięte zalążki – makrosporangia – oraz z łuski wspierającej. • Kwiat męski składa się z osi kwiatowej i osadzonych na niej pręcików. Każdy pręcik ma u podstawy dwa woreczki pyłkowe – mikrosporangia.	• U większości gatunków są obupłciowe i zawierają pręciki oraz słupek – strukturę powstałą na skutek zrośnięcia się jednego lub kilku owocolistków. • W dolnej części słupka, zwanej zalążnią, znajdują się zalążki. Są one osłonięte ścianą zalążni. • Po zapłodnieniu przekształcają się w owoce. Z zalążków powstają nasiona, natomiast ze ściany zalążni tworzy się owocnia – ściana owocu. • Mają okwiat i dno kwiatowe. • Mogą być zebrane w kwiatostany.
Zapylenie	• Zwykle zachodzi za pośrednictwem wiatru.	• Zachodzi za pośrednictwem zwierząt, wiatru lub – bardzo rzadko – wody.
Nasienie	• Jest nieosłonięte. • Jest zbudowane z wieloliścieniowego zarodka, tkanki spichrzowej oraz łupiny nasiennej. • Tkanka spichrzowa nasienia powstaje przed zapłodnieniem.	• Jest osłonięte przekształconą ścianą zalążni – owocnią. • Jest zbudowane z dwuliściennego lub jednoliściennego zarodka, tkanki spichrzowej oraz łupiny nasiennej. • Tkanka spichrzowa nasienia powstaje po zapłodnieniu.
Owoc	• Nie występuje.	• Jest złożony z owocni i nasienia (nasion).

31 Cykle rozwojowe poszczególnych grup roślin

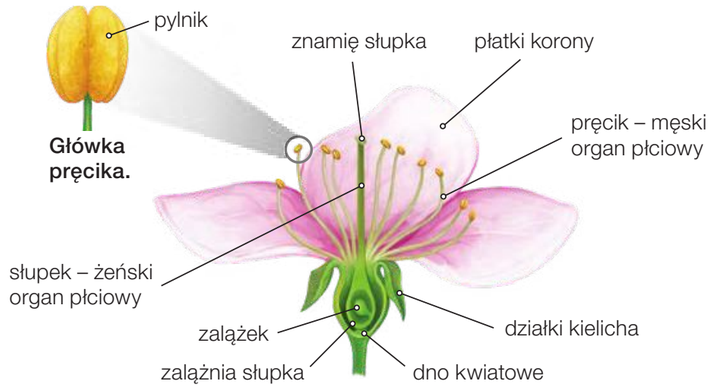




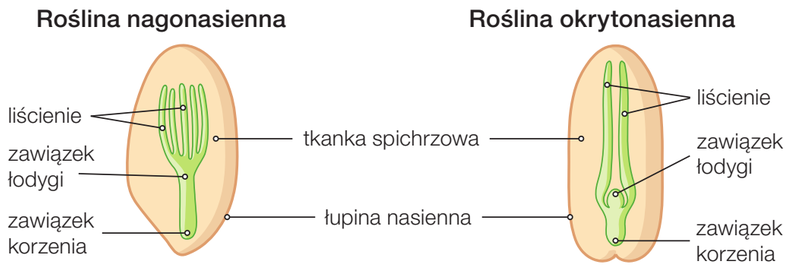
32 Homologia struktur służących do rozmnażania u paprotników i roślin nasiennych

Struktury u paprotników różnozarodnikowych		Struktury homologiczne u roślin nasiennych
Liść zarodnionośny (sporofil)	makrosporofil (duży)	owocolistek
	mikrosporofil (mały)	pręcik
Zarodnia (sporangium)	makrosporangium (duża)	zalążek
	mikrosporangium (mała)	woreczek pyłkowy
Zarodniki (mejospory)	makrospory (duże)	makrospory (duże)
	mikrospory (małe)	mikrospory (małe)

33 Budowa kwiatu obupłciowego rośliny okrytonasiennej



34 Budowa nasion rośliny nagonasiennej i rośliny okrytonasiennej



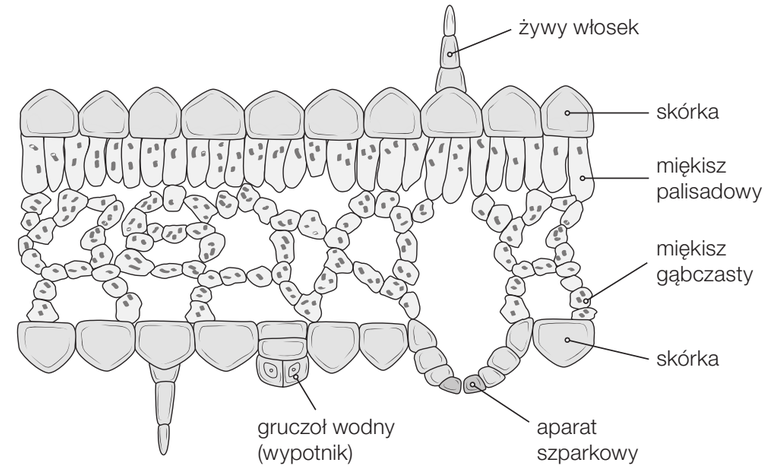
35 Sposoby rozprzestrzeniania się owoców

Sposoby rozprzestrzeniania się owoców	
samosiewność (wykorzystanie własnych mechanizmów)	**obcosiewność (wykorzystanie czynników zewnętrznych)**
• Wydłużanie się pędów rośliny macierzystej, co umożliwia wytwarzanie owoców w pewnej odległości, np. rdest ptasi. • Gwałtowne wyrzucanie nasion, np. szczawik zajęczy.	• Wiatrosiewność (anemochoria) – rozsiewanie owoców przez wiatr, np. mniszek, klon. • Wodosiewność (hydrochoria) – rozsiewanie owoców przez wodę, np. palma kokosowa, grzybienie białe. • Zwierzęcosiewność (zoochoria) – rozsiewanie owoców przez zwierzęta, np. łopian, wiśnia.

Sposób na zadania

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Schemat przedstawia przekrój poprzeczny przez liść *Ruellia portellae*.



Higrofity rosną w miejscach o dużej wilgotności podłoża oraz powietrza, natomiast kserofity są przystosowane do miejsc suchych. Przeanalizuj schemat i sprawdź, czy cechy budowy liścia *Ruellia portellae* wskazują na przystosowanie do pozbywania się nadmiaru wody czy na przystosowanie do ograniczania jej wyparowywania.

a) Określ, do której grupy roślin – higrofitów czy kserofitów – należy *Ruellia portellae*. Uzasadnij odpowiedź, uwzględniając dwie przedstawione na schemacie cechy budowy liścia tej rośliny.

Podaj dwie cechy budowy liścia *Ruellia portellae*, które są widoczne na schemacie przekroju poprzecznego.

Rozwiązanie:

Ruellia portellae jest higrofitem. Świadczą o tym cechy, które ułatwiają pozbycie się nadmiaru wody w warunkach dużej wilgotności powietrza i gleby (dwie cechy spośród podanych):
– jednowarstwowa skórka/epiderma o wypukłych, cienkościennych komórkach usprawniających parowanie wody,
– obecność żywych włosków na skórce, które zwiększają powierzchnię parowania,
– aparaty szparkowe na uwypukleniach skórki, co ułatwia transpirację,
– gruczoły wodne / wypotniki (na spodniej stronie liścia), które usuwają nadmiar wody,
– duże przestwory międzykomórkowe w miękiszu gąbczastym, które sprzyjają transpiracji.

b) Przerysuj tabelę do zeszytu, a następnie uporządkuj stanowisko systematyczne *Ruellia portellae*. Wybierz numery od 2 do 5, zaczynając od najwyższej rangi, czyli królestwa, a kończąc na najniższym taksonie.

System klasyfikacji organizmów ma strukturę hierarchiczną. Każda z kategorii ma określoną rangę. Kategorie wyższej rangi zawierają kategorie niższej rangi.

Rząd: jasnotowce (*Lamiales*)	?
Rodzaj: *Ruellia*	?
Królestwo: rośliny (*Plantae*)	1
Gromada: okrytonasienne (*Angiospermae*)	?
Rodzina: akantowate (*Acanthaceae*)	?

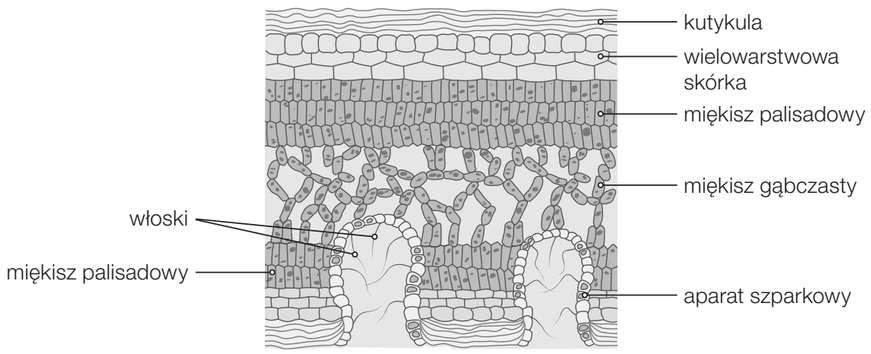
Rozwiązanie:

Rząd: jasnotowce (*Lamiales*)	3
Rodzaj: *Ruellia*	5
Królestwo: rośliny (*Plantae*)	1
Gromada: okrytonasienne (*Angiospermae*)	2
Rodzina: akantowate (*Acanthaceae*)	4

Zadanie analogiczne

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Schemat przedstawia przekrój poprzeczny przez liść oleandra *Nerium oleander*.



Na podstawie: A. Szweykowska, J. Szweykowski, *Botanika. Morfologia*, Warszawa 2011, s. 226.

a) Określ, do której grupy roślin – higrofitów czy kserofitów – należy oleander. Uzasadnij odpowiedź, uwzględniając dwie przedstawione na schemacie cechy budowy liścia tej rośliny.

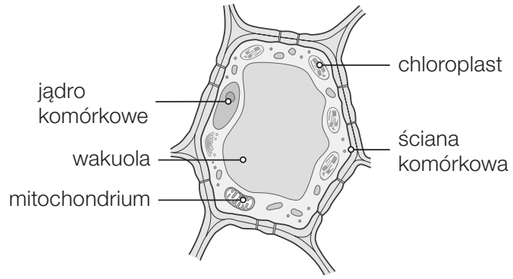
b) Przerysuj tabelę do zeszytu, a następnie uporządkuj stanowisko systematyczne oleandra. Wybierz numery od 2 do 5, zaczynając od najwyższej rangi, czyli gromady, a kończąc na najniższym taksonie.

Rodzina: toinowate (*Apocyanaceae*)	?
Gatunek: oleander *(Nerium oleander)*	?
Rząd: goryczkowce (*Gentianales*)	?
Gromada: okrytonasienne (*Angiospermae*)	1
Rodzaj: oleander (*Nerium*)	?

Zadania powtórzeniowe

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Na schemacie przedstawiono komórkę pewnej tkanki roślinnej.



a) Określ, czy przedstawiona na schemacie komórka należy do tkanki merystematycznej czy do tkanki miękiszowej. Odpowiedź uzasadnij, uwzględniając informacje przedstawione na schemacie.

b) Wyjaśnij, w jaki sposób komórki w obrębie żywych tkanek roślinnych komunikują się ze sobą i wymieniają substancje. W odpowiedzi uwzględnij nazwę odpowiednich struktur komórkowych.

2 Uczniowie przeprowadzili doświadczenie: w dwóch szczelnie zamkniętych kolbach umieścili taką samą liczbę odważonych suchych gametofitów torfowca. Na dnie pierwszej kolby znajdował się mokry krążek bibuły, a na dnie drugiej kolby – suchy krążek bibuły. Po dwóch godzinach uczniowie sprawdzili wygląd torfowców oraz je zważyli. Stwierdzili, że gametofity z pierwszej kolby stały się wilgotne i ważyły więcej niż przed rozpoczęciem doświadczenia, natomiast gametofity z drugiej kolby pozostały suche, a ich masa się nie zmieniła.

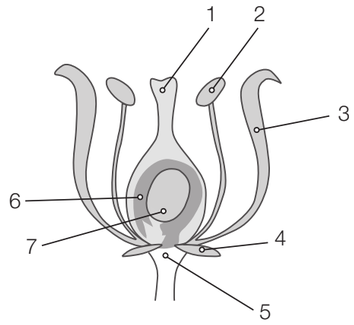
a) Sformułuj problem badawczy do opisanego doświadczenia.

b) Określ, który zestaw doświadczalny stanowił próbę badawczą. Odpowiedź uzasadnij.

c) Oceń, czy poniższe informacje dotyczące torfowców są prawdziwe. Wybierz P, jeśli informacja jest prawdziwa, albo F – jeśli jest fałszywa.

1.	Torfowce rozprzestrzeniają się przez zarodniki.	P	F
2.	Ploidalność pokolenia dominującego u torfowców wynosi 2n.	P	F
3.	Zapłodnienie u torfowców wymaga obecności wody.	P	F

3 Na schemacie przedstawiono budowę kwiatu.



a) Podaj nazwy oraz numery zaznaczonych na schemacie części generatywnych kwiatu.

b) Określ ploidalność elementów kwiatu oznaczonych numerami 1 i 3.

4 Przeprowadzono badanie, które miało określić, jak przejście przez przewód pokarmowy ptaków wodnych wpływa na zdolność unoszenia się nasion roślin bagiennych na powierzchni wody. W tym celu sprawdzono, przez ile dni unosiły się na powierzchni wody nasiona, które wcześniej:
- były umieszczone w warunkach odpowiadających warunkom występującym w żołądkach ptaków wodnych (częściowe trawienie),
- były umieszczone w warunkach odpowiadających warunkom występującym w żołądku i jelitach ptaków wodnych (całkowite trawienie),
- nie były poddane procesowi trawienia (kontrola).

Badania prowadzono przez 98 dni.

W tabeli podano wyniki badań dla dwóch gatunków turzyc – *Carex paniculata* i *Carex pseudocyperus* – których nasiona są przystosowane do rozsiewania za pośrednictwem wody.

Gatunek	Kontrola			Częściowe trawienie			Całkowite trawienie		
	średnia arytmetyczna	mediana	maksimum	średnia arytmetyczna	mediana	maksimum	średnia arytmetyczna	mediana	maksimum
C. paniculata	40,25	42	42	38,70	49	49	20,60	7	49
C. pseudocyperus	70,00	70	98	44,50	49	63	40,60	49	63

Na podstawie: M.J. Navarro-Ramos, A.J. Green, R. de Vries, C.H.A. van Leeuwen, *Float, fly, then sink: wetland plant seed buoyancy is lost after internal dispersal by waterbirds*, „Hydrobiologia" 2024, 851, s. 4036.

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

1.	Mediana równa wartości maksymalnej świadczy o tym, że ponad połowa częściowo strawionych nasion *Carex paniculata* unosiła się na powierzchni wody przez 49 dni.	T	N
2.	Umieszczenie nasion *Carex pseudocyperus* w warunkach odpowiadających trawieniu zachodzącemu w przewodzie pokarmowym ptaków wodnych spowodowało, że zdolność nasion do unoszenia się na powierzchni wody się zwiększyła.	T	N

b) Podaj jedną cechę budowy anatomicznej lub morfologicznej, która ułatwia owocom rozsiewanym przez wodę unoszenie się na jej powierzchni.

c) Uzupełnij poniższe zdania tak, aby zawierały prawdziwe informacje. Wybierz właściwe określenia.

Nasienie turzycy składa się z zarodka sporofitu, który jest (*haploidalny* / *diploidalny*), z bielma, które jest (*diploidalne* / *triploidalne*), oraz z (*haploidalnej* / *diploidalnej*) łupiny nasiennej. Otacza je owocnia, która powstała (*ze ściany zalążni* / *z zalążka*) i jest (*haploidalna* / *diploidalna*).

3. Funkcjonowanie roślin

Fot. Liść o użyłkowaniu siatkowym rośliny okrytonasiennej.



3.1. Gospodarka wodna roślin

Ważne w tym temacie!

- mechanizmy pobierania i transportu wody
- związek między zmianami potencjału osmotycznego i potencjału wody a otwieraniem i zamykaniem aparatów szparkowych
- wpływ czynników zewnętrznych i suszy fizjologicznej na bilans wodny roślin

Woda jest składnikiem każdej żywej komórki. Organizmy pobierają część potrzebnej im wody ze środowiska, a pozostałą część wytwarzają podczas różnych przemian metabolicznych, m.in. w czasie oddychania tlenowego.

Pobieranie wody przez rośliny

Rośliny pierwotnie wodne chłoną wodę całą powierzchnią ciała w ilości odpowiadającej ich aktualnemu zapotrzebowaniu. Natomiast większość roślin lądowych wykształciła korzenie – organy wegetatywne przystosowane do pobierania wody z gleby. Woda wchłaniana przez korzenie jest następnie transportowana do pozostałych organów rośliny za pośrednictwem wyspecjalizowanej tkanki przewodzącej – **drewna**. Siłą napędową, którą korzenie wykorzystują do wchłaniania wody, jest zwykle **transpiracja**. Transpiracja polega na wyparowywaniu wody w postaci pary wodnej do atmosfery (→ s. 181). Niekiedy woda jest uwalniana do środowiska w postaci ciekłej w procesie **gutacji**. Gutacja polega na wydzielaniu kropel wody z solami mineralnymi (m.in. na brzegach liści) – wówczas siłą napędową do pobierania wody jest parcie korzeniowe (→ s. 182).

Funkcje wody w roślinach

Woda pełni w roślinach wiele funkcji, m.in.:

- jest doskonałym rozpuszczalnikiem substancji hydrofilowych – dzięki temu jest też środowiskiem wielu reakcji biochemicznych oraz bierze udział w transporcie substancji mineralnych i organicznych w obrębie rośliny,
- jest substratem niektórych reakcji biochemicznych, np. fotosyntezy (→ s. 193),
- odpowiada za utrzymanie turgoru (jędrności) komórek i tkanek,
- umożliwia szybki wzrost wydłużeniowy komórek,
- chroni tkanki przed przegrzaniem w wyniku nadmiernego nasłonecznienia.



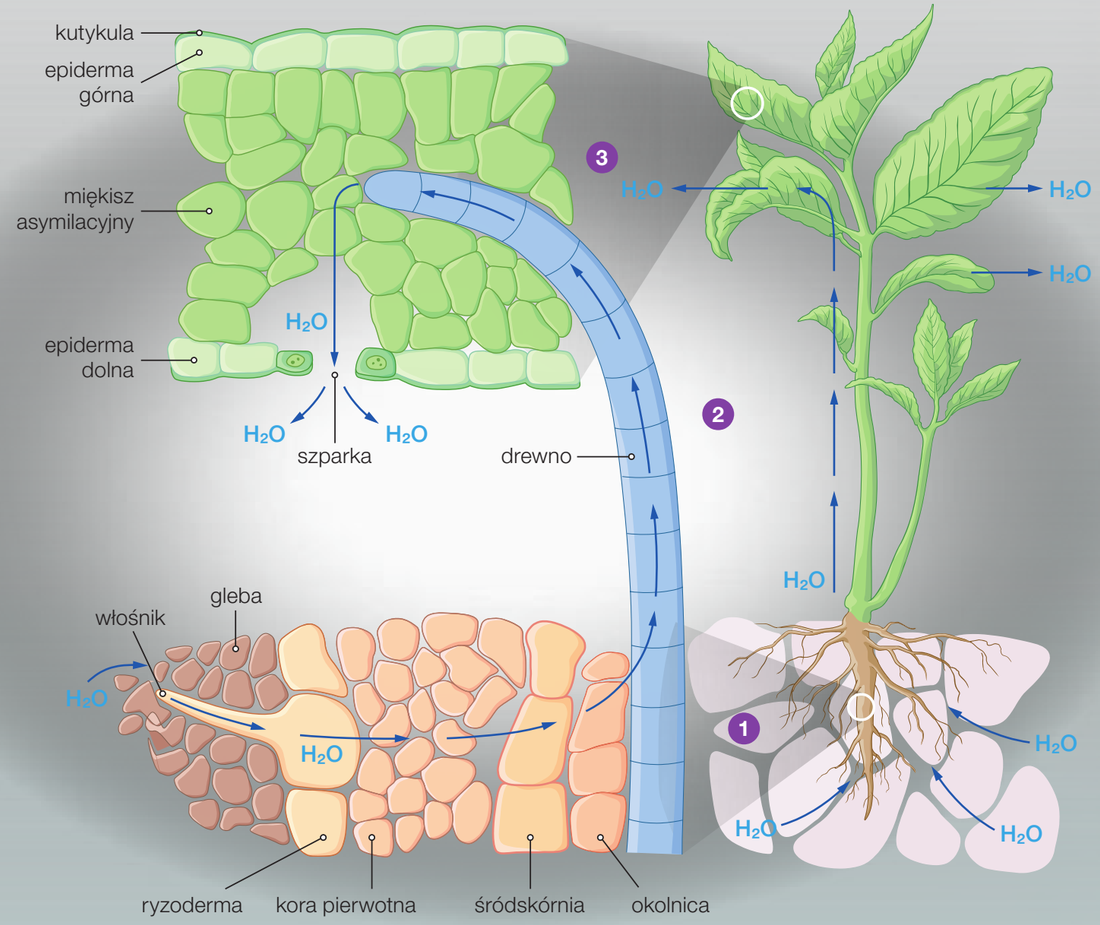
Gutacja zachodzi wtedy, gdy transpiracja jest niewielka – głównie wczesną wiosną oraz późną jesienią. Wówczas w glebie znajduje się dużo wody, a powietrze jest wysycone parą wodną.



Zawartość wody w tkankach i organach roślinnych zależy m.in. od rodzaju tkanki lub organu. Najmniejszą zawartością wody charakteryzują się nasiona (5–15%), a największą – soczyste owoce (85–95%).

Transport wody w roślinie

Transport wody w roślinie prowadzi od korzeni, przez łodygę, do liści. Siłą napędową transportu wody w roślinie jest zwykle transpiracja (rzadziej – parcie korzeniowe → s. 182).



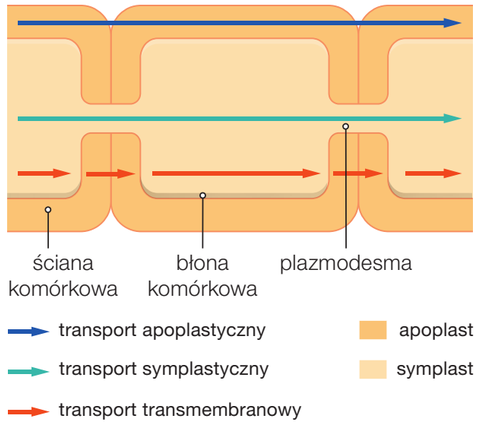
Transport wody w roślinie można umownie podzielić na trzy etapy:

1. **transport poziomy przez tkanki korzenia** – rozpoczyna się pobieraniem wody z roztworu glebowego (rozwór glebowy to występująca w glebie woda wraz z rozpuszczonymi w niej składnikami mineralnymi). Najintensywniej proces ten zachodzi w strefie włośnikowej korzenia. Z ryzodermy tej strefy woda dostaje się do kory pierwotnej, a następnie – przez śródskórnię – do walca osiowego. Stamtąd woda przepływa do drewna;
2. **transport pionowy w elementach przewodzących drewna** – polega na transporcie wody z korzeni, przez łodygę, do liści;
3. **transport poziomy przez tkanki liścia** – jest zakończony transpiracją lub rzadziej gutacją. Woda wypływa z drewna i za pośrednictwem komórek miękiszu asymilacyjnego przedostaje się do przestworów międzykomórkowych, które są położone w sąsiedztwie aparatów szparkowych. Wówczas zachodzi transpiracja.

Sposoby transportu wody na małe odległości

Wyróżnia się trzy sposoby transportu wody w tkankach:

- **transport apoplastyczny** – odbywa się przez apoplast, czyli system ścian komórkowych i przestworów międzykomórkowych;
- **transport symplastyczny** – zachodzi przez symplast, czyli zespół protoplastów komórek, które są połączone plazmodesmami. W transporcie symplastycznym woda przekracza błonę komórkową tylko raz, a następnie jest przenoszona za pomocą plazmodesm;
- **transport transmembranowy** – odbywa się przez protoplasty komórek. Woda przekracza błonę komórkową za każdym razem, gdy przepływa z komórki do komórki.

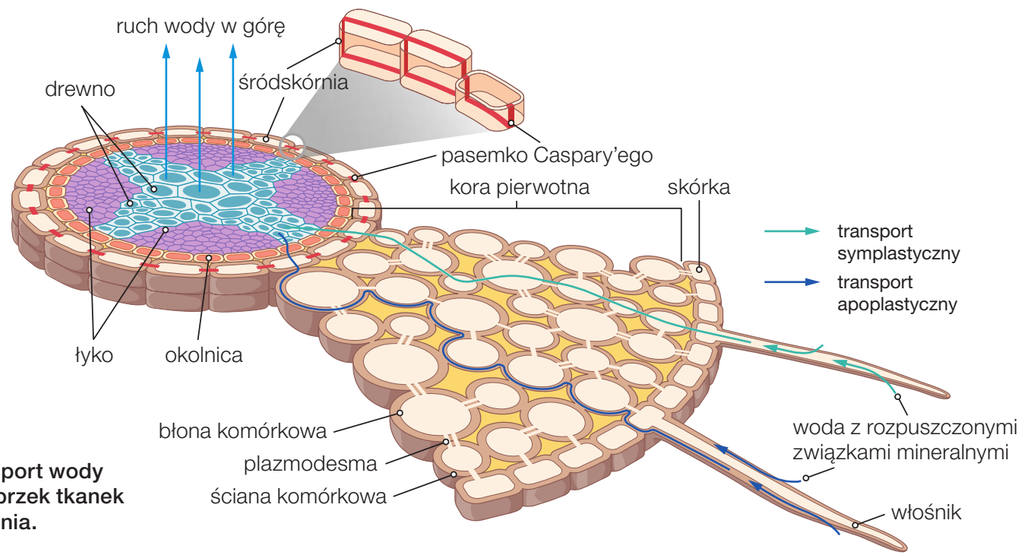


Przebieg transportu wody w roślinie

Transport wody w roślinie przebiega inaczej w korzeniu, drewnie i liściach.

1 Poziomy transport wody przez tkanki korzenia

Pobieranie wody z roztworu glebowego zachodzi najintensywniej w **strefie włośnikowej korzenia**. Woda przemieszcza się od ryzodermy do granicy śródskórni głównie za pośrednictwem transportu apoplastycznego. W śródskórni przepływ apoplastyczny zostaje zablokowany. Dzieje się tak, ponieważ komórki śródskórni zawierają w poprzecznych ścianach komórkowych pasemka Caspary'ego [wym. kaspariego] zbudowane z ligniny i suberyny. Pasemka te tworzą nieprzepuszczalną dla wody barierę, która wymusza przepływ wody z apoplastu do protoplastów komórek tej tkanki. Następnie woda transportem symplastycznym lub transmembranowym dociera do walca osiowego. Tam przechodzi do elementów przewodzących drewna – cewek lub naczyń. Przepływ wody w korzeniu jest transportem poziomym. W obrębie komórek zachodzi on na drodze osmozy (→ s. 180) lub przez kanały wodne (akwaporyny).

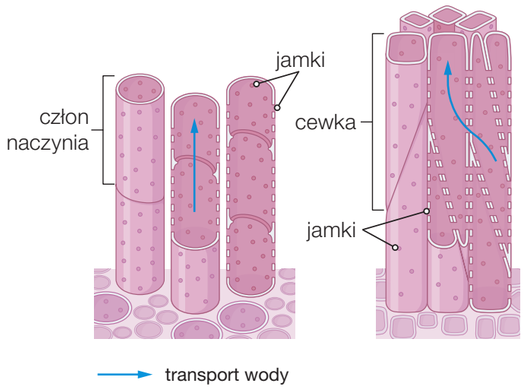


Transport wody w poprzek tkanek korzenia.

2 Pionowy transport wody w elementach przewodzących drewna

Woda przemieszcza się z korzeni do liści przez martwe elementy przewodzące drewna – naczynia lub cewki. Transport ten jest transportem pionowym. Odbywa się on na dużą odległość wbrew sile grawitacji. Jest to możliwe dzięki:

- obecności w ścianach naczyń i cewek ligniny (lignina ma ujemny ładunek elektryczny), która pozwala na przyleganie wody do powierzchni tych ścian;
- różnicy wartości ciśnienia hydrostatycznego na przeciwległych krańcach tkanki przewodzącej. Różnica ta wynika z działania siły ssącej liści oraz z parcia korzeniowego (→ s. 181–182).

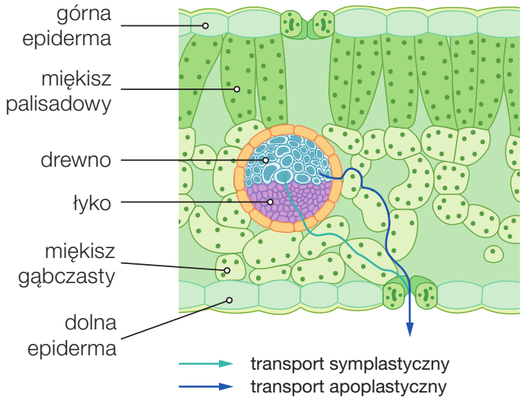


Transport wody w elementach przewodzących drewna.

3 Poziomy transport wody przez tkanki liścia

W liściach woda opuszcza wiązki przewodzące i przemieszcza się miękiszem asymilacyjnym do powierzchni epidermy. Tam zachodzi transpiracja, która odbywa się głównie za pośrednictwem aparatów szparkowych.

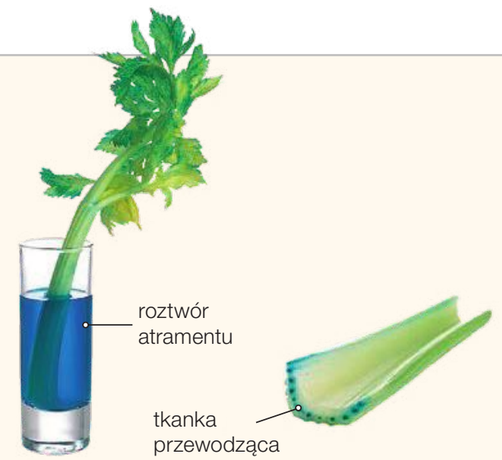
W pewnych warunkach, np. gdy wilgotność powietrza jest wysoka, część wody jest usuwana do otoczenia na drodze gutacji. Transport wody w obrębie tkanek liścia jest transportem poziomym. Podobnie jak w korzeniu ma on postać transportu apoplastycznego, symplastycznego lub transmembranowego. W obrębie komórek transport ten zachodzi na drodze osmozy lub przez kanały wodne (akwaporyny).



Transport wody w liściu.

Identyfikacja tkanki przewodzącej wodę w roślinie

Przygotuj zlewkę, roztwór wodny atramentu lub innego barwnika (np. eozyny), nożyk oraz liść selera naciowego. Napełnij zlewkę roztworem barwnika, umieść w niej liść i pozostaw na 2–3 godziny w oświetlonym pomieszczeniu. Po upływie wyznaczonego czasu zaobserwuj zmiany w wyglądzie liścia. Następnie wyjmij liść ze zlewki, odetnij część ogonka liściowego i zaobserwuj lokalizację tkanki przewodzącej.

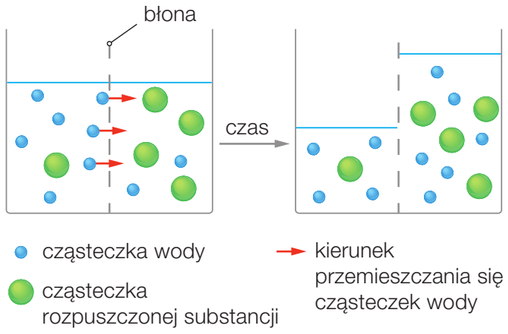


Obserwacja

Przypomnij sobie

Osmoza

Osmoza to przenikanie cząsteczek wody przez błonę biologiczną (błonę półprzepuszczalną). Podczas osmozy cząsteczki wody przemieszczają się z roztworu o mniejszym stężeniu rozpuszczonej substancji do roztworu o jej większym stężeniu. Prowadzi to do wyrównania stężeń po obu stronach błony.



Podczas osmozy przemieszczanie się cząsteczek wody przez błonę półprzepuszczalną prowadzi do zmiany poziomu cieczy po obu stronach błony.

Potencjał wody w roślinie

Potencjał wody – Ψ_W (psi) – jest miarą zdolności komórki do pobierania lub oddawania wody na drodze osmozy. Wyrażany jest zwykle w megapaskalach (MPa). Dzięki różnicy potencjałów wody roztworu glebowego, roztworu w tkankach rośliny i atmosfery możliwy jest ruch wody w roślinie.

Wartość potencjału wody zależy od potencjału osmotycznego roztworu – Ψ_S – oraz od potencjału ciśnienia turgorowego – Ψ_P – zgodnie z poniższym równaniem:

$$\Psi_W = \Psi_S + \Psi_P,$$

gdzie
Ψ_W – potencjał wody,
Ψ_S – potencjał osmotyczny,
Ψ_P – potencjał ciśnienia turgorowego.

Potencjał osmotyczny

Potencjał osmotyczny to zdolność cząsteczek wody do dyfuzji przez błonę półprzepuszczalną.

W przypadku dwóch roztworów o różnym stężeniu przedzielonych błoną półprzepuszczalną woda zawsze przepływa z roztworu mniej stężonego (hipotonicznego) do roztworu bardziej stężonego (hipertonicznego). Dzieje się tak aż do momentu wyrównania stężeń roztworów po obu stronach błony. Ciśnienie, jakie panuje na granicy dwóch roztworów przedzielonych błoną półprzepuszczalną, określa się mianem **ciśnienia osmotycznego** (π). Jego wartość jest równa wartości ciśnienia, jakiemu należałoby poddać roztwór, aby zapobiec swobodnemu przepływowi wody przez błonę. Ciśnienie osmotyczne ma zawsze wartość dodatnią i rośnie wraz ze wzrostem stężenia roztworu. Potencjał osmotyczny przyjmuje wartości ujemne, które są równe liczbowo wartościom ciśnienia osmotycznego.

Potencjał ciśnienia turgorowego

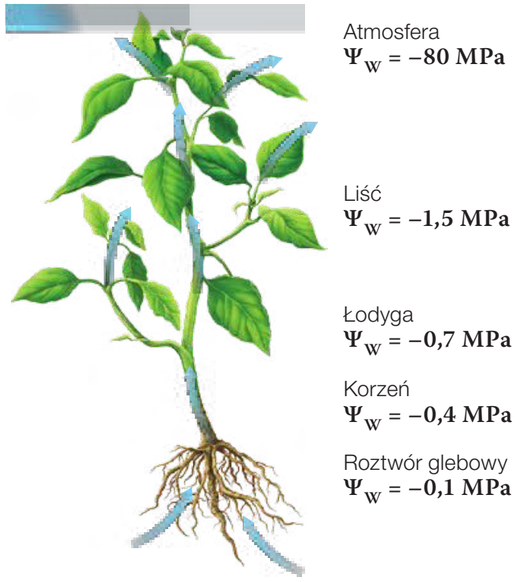
Turgor to stan napięcia ściany komórkowej poddanej działaniu ciśnienia hydrostatycznego wywieranego przez protoplast komórki (czyli działaniu ciśnienia turgorowego, P).

Wpływ napięcia ściany komórkowej na potencjał wody jest określany mianem **potencjału ciśnienia turgorowego** (potencjału turgorowego). Potencjał turgorowy przyjmuje:

- wartości dodatnie – w komórkach nasyconych wodą oraz w elementach przewodzących drewna w sytuacji braku transpiracji,
- wartości ujemne – w komórkach splazmolizowanych, których protoplasty odstają od ściany komórkowej na skutek osmotycznego wypływu wody z komórek do otoczenia,
- wartość równą zeru – w elementach przewodzących drewna rośliny transpirującej.

Potencjał wody a przepływ wody w układzie gleba–roślina–atmosfera

W układzie gleba–roślina–atmosfera woda przepływa z roztworu o wyższym potencjale wody do roztworu o niższym potencjale wody. Najwyższą wartość ma potencjał wody w glebie, a najniższą – potencjał wody w atmosferze. Różnica potencjałów powoduje, że woda stale wnika z gleby do korzeni, przepływa przez łodygi i liście, a następnie przedostaje się do atmosfery w postaci pary wodnej.



Wartości potencjału wody w układzie gleba–roślina–atmosfera.

Siła ssąca i parcie korzeniowe

Siła ssąca i parcie korzeniowe to mechanizmy, które umożliwiają przepływ wody w naczyniach lub cewkach.

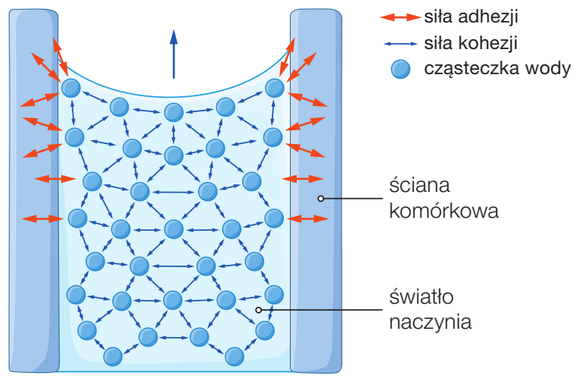
Siła ssąca

Siła ssąca to mechanizm, który wykorzystuje transpirację do podciągania wody w elementach przewodzących drewna wbrew sile grawitacji. Dla roślin transpiracja jest **mechanizmem biernym**, który nie wymaga wydatkowania energii metabolicznej. Parowanie wody z powierzchni rośliny wytwarza ujemne ciśnienie hydrostatyczne w słupie wody. Oznacza to, że słup wody zostaje rozciągnięty wskutek wydłużania i naprężania się wiązań wodorowych łączących cząsteczki wody – w ten sposób obniża się potencjał wody wewnątrz cewek lub naczyń. Siła ta działa jak pompa ssąca, która zasysa wodę z tkanek korzenia i z gleby.

Kohezja i adhezja

Transport wody w elementach przewodzących drewna może zachodzić tylko wtedy, gdy cząsteczki tworzą nieprzerwany ciąg – tzw. słup wody. Utrzymywanie nieprzerwanego słupa wody jest możliwe dzięki:

- **kohezji**, czyli sile wzajemnego przyciągania się cząsteczek wody – kohezja zapobiega rozerwaniu słupa wody w przypadku jego rozciągania,
- **adhezji**, czyli sile przylegania cząsteczek wody do ścian cewek lub naczyń – adhezja przeciwdziała sile grawitacji, dzięki czemu wspomaga ruch cząsteczek wody w górę (od korzeni do liści).



Parcie korzeniowe

Parcie korzeniowe to mechanizm, który wykorzystuje dodatnie ciśnienie hydrostatyczne do tłoczenia wody od korzeni do łodygi i liści. Polega ono na **czynnym transporcie** jonów i innych substancji osmotycznie czynnych z żywych komórek walca osiowego do elementów przewodzących drewna. Wówczas roztwór wypełniający te elementy osiąga wyższe stężenie niż roztwór wypełniający okoliczne komórki. Wytworzona w ten sposób różnica potencjałów wody powoduje wnikanie wody do cewek lub naczyń. Napływ wody jest przyczyną wytworzenia w elementach przewodzących drewna dodatniego ciśnienia hydrostatycznego, które działa jak pompa tłocząca wodę w górę. Parcie korzeniowe wymaga dostarczenia energii, dlatego jest blokowane m.in. niską temperaturą, niedoborem tlenu w podłożu oraz obecnością inhibitorów oddychania tlenowego.

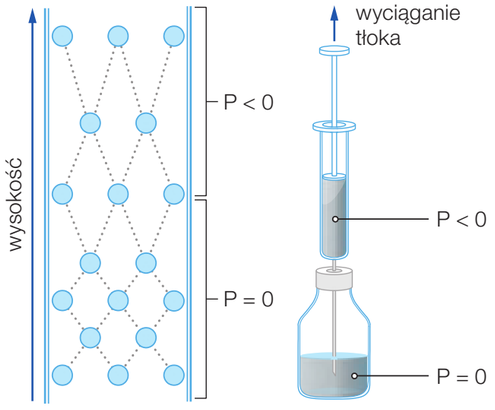
Parcie korzeniowe ma największe znaczenie wtedy, gdy nie zachodzi transpiracja, np. wczesną wiosną – przed pojawieniem się liści. To dlatego przejawem parcia korzeniowego są **gutacja** (zachodząca przez hydatody) oraz tzw. **wiosenny płacz roślin**. Wiosenny płacz roślin polega na wypływaniu wodnistego płynu z pnia drzewa nacięty wczesną wiosną, kiedy nie działa jeszcze siła ssąca transpirujących liści.



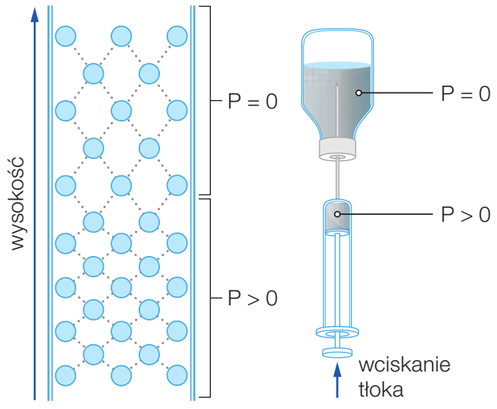
Wiosenny płacz roślin ma zastosowanie np. podczas pozyskiwania soku drzewnego z brzozy. Sok brzozowy jest wykorzystywany m.in. w przemyśle spożywczym, farmaceutycznym i kosmetycznym.

Siła ssąca i parcie korzeniowe

Mechanizmy siły ssącej i parcia korzeniowego różnią się przede wszystkim źródłem energii oraz siłą warunkującą ruch wody w elementach przewodzących drewna.



W mechanizmie siły ssącej źródłem energii do transportu wody jest Słońce. Wyparowywanie wody z powierzchni liści powoduje wytworzenie w słupie wody ciśnienia ujemnego, które zasysa wodę z tkanek korzenia i gleby. Mechanizm ten jest podobny do pobierania wody z ampułki za pomocą strzykawki, której tłok wytwarza ciśnienie ujemne.



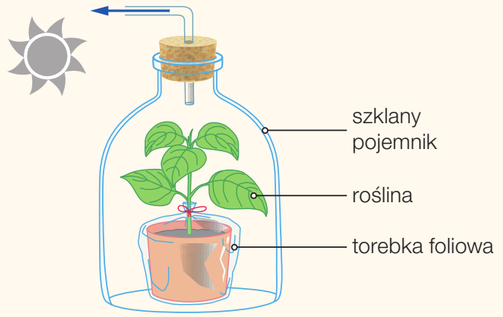
W mechanizmie parcia korzeniowego źródłem energii do transportu wody jest ATP. Aktywny transport substancji osmotycznie czynnych do elementów przewodzących korzenia pociąga za sobą osmotyczny napływ wody. Powoduje to wytworzenie w słupie wody ciśnienia dodatniego, które tłoczy wodę w górę rośliny. Mechanizm ten jest podobny do usuwania wody ze strzykawki, której tłok wytwarza ciśnienie dodatnie.

Doświadczenie

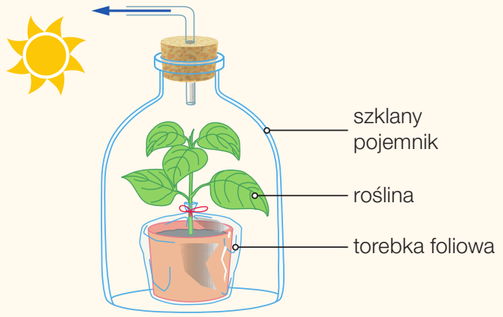
Badanie wpływu braku światła na wystąpienie gutacji

1. **Problem badawczy:** Czy brak światła powoduje usuwanie wody z liści nasturcji na drodze gutacji?
2. **Hipoteza badawcza:** Brak światła powoduje usuwanie wody z liści nasturcji na drodze gutacji.
3. **Przebieg doświadczenia:** Przygotuj sześć doniczek z nasturcjami. Podlej intensywnie rośliny, a następnie włóż doniczki do torebek foliowych – dokładnie zawiąż je dookoła dolnej części łodyg, zgodnie z przedstawionym rysunkiem. Każdą z roślin włóż do szklanego pojemnika. Szczelnie zatkaj pojemniki za pomocą korka z otworem. Trzy pojemniki wstaw do ciemnego pomieszczenia, a kolejne trzy postaw w oświetlonym miejscu. Do otworów włóż gumowe lub szklane rurki i zainstaluj aspiratory – pompki do odsysania powietrza. Pozostaw obie rośliny na mniej więcej 20 minut.

Próba badawcza: Trzy doniczki z podlanymi nasturcjami, włożone do szklanych pojemników połączonych z aspiratorami i umieszczone w ciemnym miejscu.



Próba kontrolna: Trzy doniczki z podlanymi nasturcjami, włożone do szklanych pojemników połączonych z aspiratorami i umieszczone w oświetlonym miejscu.



4. **Wynik doświadczenia:** Zaobserwuj zmiany zachodzące w roślinach.
5. **Wniosek:** Sformułuj wniosek.

Wyjaśnienie: Gutacja zachodzi w warunkach ograniczonej transpiracji, czyli np. wtedy, gdy jest ciemno (u większości roślin brak światła powoduje zamykanie się aparatów szparkowych). Torebki foliowe oraz aspiratory miały wykluczyć wpływ wilgotności powietrza w pojemniku na wynik doświadczenia.

Obserwacja

Obserwacja płaczu roślin – zjawiska powodowanego parciem korzeniowym

Przygotuj doniczkę z podlanym niecierpkiem. Roślinę zetnij ok. 2 cm nad ziemią, poniżej dolnych liści. Następnie zaobserwuj wypływanie wody z miejsca przecięcia.



Znaczenie i rodzaje transpiracji

Transpiracja ogrywa najważniejszą rolę w regulacji ilości wody w roślinie. Wpływa na pobieranie i transport wody, umożliwia wymianę gazową, a także chroni roślinę przed przegrzaniem. Wyróżnia się trzy rodzaje transpiracji: transpirację kutykularną, transpirację szparkową i transpirację przetchlinkową.

Transpiracja kutykularna zachodzi wprost przez epidermę pokrytą kutykulą. Jej intensywność zależy przede wszystkim od grubości warstwy kutykuli. Warstwa ta nie przepuszcza bowiem wody, ale może ją wchłaniać. Jeśli ilość wody w kutykuli będzie odpowiednio duża, to woda zacznie wyparowywać z powierzchni rośliny.

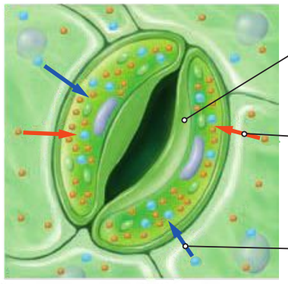
Transpiracja szparkowa zachodzi przez otwarte aparaty szparkowe. Intensywność tego procesu zależy od wielu czynników. Czynniki wewnętrzne są związane z budową rośliny, m.in. z wielkością systemu korzeniowego, wielkością liści czy liczbą i rozmieszczeniem aparatów szparkowych. Czynniki zewnętrzne to m.in. temperatura, siła wiatru, natężenie światła i dostępność wody glebowej (→ s. 187).

Transpiracja przetchlinkowa odbywa się przez przetchlinki korka pokrywającego łodygi roślin drzewiastych. Różni się ona od transpiracji szparkowej tym, że przetchlinki – w odróżnieniu od szparek – nie zmieniają swojej szerokości, co uniemożliwia regulację intensywności tego rodzaju transpiracji.

Wpływ potencjału osmotycznego i potencjału wody na otwieranie i zamykanie aparatów szparkowych

Otwieranie i zamykanie aparatu szparkowego wiąże się ze zmianami turgoru komórek szparkowych, które z kolei wynikają ze zmian potencjału osmotycznego i potencjału wody.

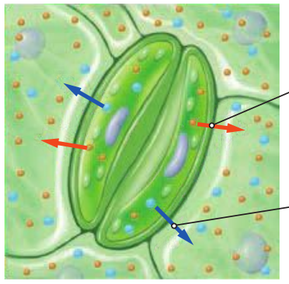
Otwieranie aparatu szparkowego



Aparat szparkowy się otwiera, gdy potencjał wody w komórkach szparkowych maleje.

- Dzieje się tak wskutek nagromadzenia w komórkach szparkowych jonów K^+ (aktywnie transportowanych z sąsiednich komórek) oraz jonów jabłczanowych (powstałych w wyniku rozkładu skrobi).
- Wzrost stężenia jonów powoduje spadek potencjału osmotycznego i potencjału wody w komórkach szparkowych – prowadzi to do osmotycznego napływu wody do wnętrza komórek szparkowych z komórek sąsiednich.
- Gdy turgor komórek szparkowych rośnie, to elastyczne części ściany komórkowej się rozciągają, a zgrubiałe części pozostają bez zmian – tym samym komórki się wyginają, a aparat szparkowy się otwiera.

Zamykanie aparatu szparkowego



Aparat szparkowy się zamyka, gdy potencjał wody w komórkach szparkowych rośnie.

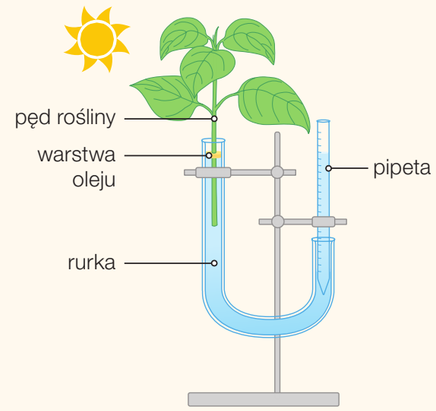
- Jest to spowodowane zmniejszeniem stężenia jonów K^+ oraz jonów jabłczanowych w komórkach szparkowych – jony K^+ są transportowane z komórek szparkowych do komórek sąsiednich, natomiast jony jabłczanowe są zużywane do syntezy skrobi.
- Spadek stężenia jonów w komórkach szparkowych powoduje wzrost potencjału osmotycznego i wzrost potencjału wody – następuje wówczas osmotyczny wypływ wody z komórek szparkowych do komórek sąsiednich (o niższym potencjale wody).
- Prowadzi to do spadku turgoru komórek szparkowych, a w konsekwencji – do zamykania się aparatu szparkowego.

Doświadczenie

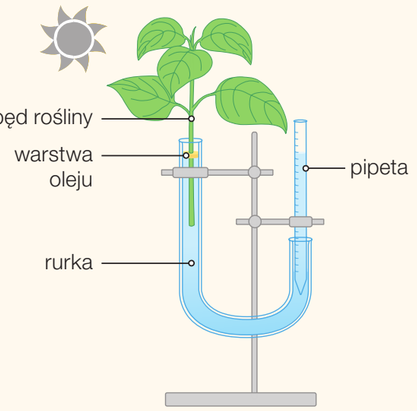
Badanie wpływu obecności światła na intensywność transpiracji

1. **Problem badawczy:** Czy obecność światła wpływa na intensywność transpiracji u pelargonii?
2. **Hipoteza badawcza:** Transpiracja u pelargonii zachodzi intensywniej w świetle.
3. **Przebieg doświadczenia:** Przygotuj sześć pędów pelargonii z jednakową liczbą liści o podobnych rozmiarach. W sześciu statywach umocuj gumowe rurki wypełnione wodą wodociągową – zgodnie z przedstawionym rysunkiem. W wyżej położonych ramionach rurek umieść pędy roślin tak, aby w wodzie znajdowały się jedynie dolne części łodyg. Na powierzchnię wody dookoła łodyg nanieś kilka kropli oleju. W niżej położonych ramionach rurek umieść pipety miarowe. Następnie trzy statywy postaw w ciemnym miejscu, a trzy pozostałe – w miejscu oświetlonym.

Próba badawcza: Trzy pędy roślin z łodygami zanurzonymi w rurkach z wodą wodociągową. Rurki połączono z pipetą miarową i umieszczono w miejscu oświetlonym.



Próba kontrolna: Trzy pędy roślin z łodygami zanurzonymi w rurkach z wodą wodociągową. Rurki połączono z pipetą miarową i umieszczono w ciemnym miejscu.



4. **Wynik doświadczenia:** Zaobserwuj zmiany zachodzące w pipetach miarowych.
5. **Wniosek:** Sformułuj wniosek.

Wyjaśnienie: Światło zwiększa intensywność transpiracji dwojako: ogrzewa blaszki liściowe, dzięki czemu do rośliny dociera duża ilość ciepła, a także wpływa na wzrost intensywności fotosyntezy, co zwiększa zapotrzebowanie rośliny na dwutlenek węgla i wodę. To prowadzi do otwarcia aparatów szparkowych i zwiększenia intensywności transpiracji.

Wykorzystanie pędów z taką samą liczbą liści o podobnych rozmiarach wyklucza wpływ różnej powierzchni parowania na otrzymany wynik.

Naniesienie warstwy oleju na powierzchnię wody zapobiega parowaniu wody w rurce, co również mogłoby wpływać na uzyskany wynik.

Lokalizacja aparatów szparkowych w liściach roślin występujących w różnych siedliskach		
hydrofity (rośliny wodne)	**higrofity** (rośliny stanowisk wilgotnych)	**mezofity i kserofity** (rośliny stanowisk umiarkowanie wilgotnych i suchych)
Aparaty szparkowe znajdują się w górnej epidermie liści pływających na powierzchni wody.	Aparaty szparkowe znajdują się w górnej i w dolnej epidermie liści.	Aparaty szparkowe znajdują się głównie w dolnej epidermie liści.

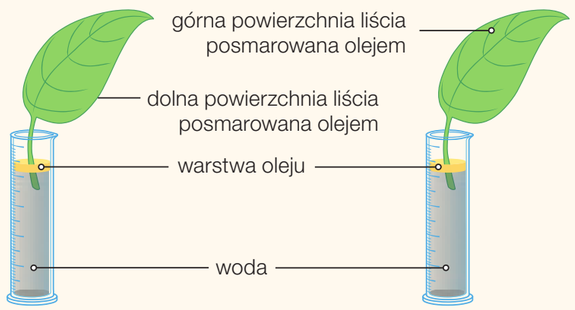
Doświadczenie

Badanie rozmieszczenia aparatów szparkowych u higrofitów, mezofitów i kserofitów

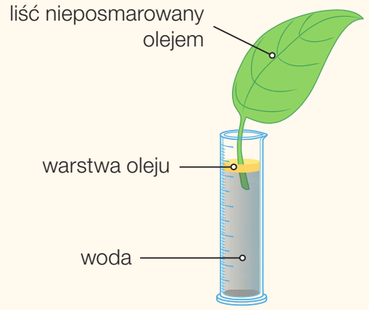
1. **Problem badawczy:** Przez którą powierzchnię liścia – górną czy dolną – higrofity, mezofity i kserofity tracą więcej wody w procesie transpiracji?
2. **Hipoteza badawcza:** Higrofity tracą wodę przez obie powierzchnie liścia, a mezofity i kserofity – głównie przez dolną powierzchnię liścia.
3. **Przebieg doświadczenia:** Przygotuj po dziewięć liści koleusa (higrofita), trzykrotki (mezofita) i bilbergii (kserofita) o podobnych rozmiarach. Następnie sporządź trzy zestawy doświadczalne (po jednym dla każdego gatunku) – zgodnie z przedstawionym rysunkiem.

Wyjaśnienie: Transpiracja zachodzi głównie przez aparaty szparkowe.

Próba badawcza: Po trzy liście higrofitów, mezofitów i kserofitów posmarowane olejem na dolnej powierzchni oraz po trzy liście posmarowane olejem na górnej powierzchni. Wszystkie liście umieszczono w cylindrach miarowych z jednakową objętością wody i oleju.



Próba kontrolna: Po trzy liście higrofitów, mezofitów i kserofitów nieposmarowane olejem. Wszystkie liście umieszczono w cylindrach miarowych z taką samą objętością wody i oleju jak w próbie badawczej.



4. **Wynik doświadczenia:** Po upływie doby zaobserwuj zmiany w poziomie wody w cylindrach.
5. **Wniosek:** Sformułuj wniosek.

Wyjaśnienie: Im większy ubytek wody w cylindrach miarowych, tym większa intensywność transpiracji. Liście z próby kontrolnej stanowią punkt odniesienia – jeśli transpiracja liści pokrytych olejem jest mniejsza niż transpiracja liści tej samej rośliny z próby kontrolnej, oznacza to, że na powierzchni pokrytej olejem znajdują się aparaty szparkowe (które zostały zablokowane przez warstwę oleju – dlatego intensywność transpiracji spadła).

Bilans wodny u roślin

Bilans wodny rośliny to różnica między ilością wody pobranej a ilością wody utraconej (głównie wskutek transpiracji). Bilans ten powinien być zrównoważony. Oznacza to, że roślina musi pobrać taką ilość wody, aby wyrównać jej utratę. Bilans wodny może być też dodatni, kiedy ilość pobieranej wody przewyższa ilość utraconej wody (np. zwiędnięte rośliny uzupełniające deficyt wody), lub ujemny, kiedy ilość utraconej wody jest większa od ilości pobranej wody.

W sytuacji ujemnego bilansu występuje deficyt wody. Deficyt wody hamuje wiele procesów, m.in. fotosyntezę, a także przewodzenie soli mineralnych i produktów fotosyntezy. W miarę zwiększania się deficytu wody liście i niezdrewniałe łodygi wiotczeją – proces ten określa się mianem **więdnięcia**. Więdnięcie może być przejściowe, gdy po dostarczeniu odpowiedniej ilości wody roślina wraca do normalnego stanu, lub nieodwracalne, gdy roślina umiera.

Wpływ czynników zewnętrznych na bilans wodny roślin

Do czynników zewnętrznych, które mają największy wpływ na bilans wodny roślin, należą:

- **temperatura** – wzrost temperatury zwiększa utratę wody w wyniku transpiracji;
- **wiatr** – usuwa on wilgotne powietrze z otoczenia liści. Zwiększa to różnicę potencjału wody między rośliną a atmosferą. Tym samym transpiracja oraz wynikająca z niej utrata wody zachodzą intensywniej;
- **światło** – im wyższe natężenie światła, tym większa utrata wody z rośliny, ponieważ transpiracja zachodzi intensywniej. Jest to spowodowane otwieraniem się aparatów szparkowych i ogrzewaniem się blaszki liściowej;
- **dostępność wody glebowej** – jej niedobór zmniejsza intensywność pobierania wody przez korzenie oraz zmniejsza zawartość wody w tkankach liści.

Wpływ suszy fizjologicznej na rośliny

Susza fizjologiczna zachodzi wówczas, kiedy w podłożu znajduje się woda, ale jest ona niedostępna lub słabo dostępna dla roślin. Dzieje się tak np. zimą, gdy woda w glebie zamarza, a także wtedy, gdy wzrasta zasolenie gleby. Susza fizjologiczna prowadzi do ujemnego bilansu wodnego – z tego względu rośliny wykształciły różne przystosowania, które chronią je przed tym zjawiskiem.



Duże zasolenie gleby skutkuje spadkiem potencjału wody w roztworze glebowym. To z kolei utrudnia pobieranie wody z podłoża.

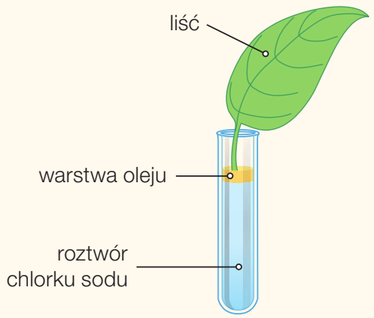
Sposoby ochrony roślin przed suszą fizjologiczną	
spowodowaną zamarzaniem wody w glebie	**spowodowaną wzrostem zasolenia gleby**
Rośliny chronią się przed nią dzięki ograniczaniu transpiracji: • rośliny szpilkowe mają liście w postaci szpilek (→ s. 111), • rośliny okrytonasienne zrzucają liście na zimę (gatunki drzewiaste) i wytwarzają organy przetrwalnikowe, np. kłącza, cebule lub korzenie spichrzowe (byliny i rośliny dwuletnie).	Rośliny słonolubne chronią się przed nią dzięki: • magazynowaniu soli w wakuolach (obniża się wówczas potencjał wody w tkankach roślin, co ułatwia pobieranie wody), • magazynowaniu wody w miękiszu wodnym (→ s. 107), którą wykorzystują w sytuacji zbyt silnego zasolenia podłoża, • usuwaniu nadmiaru soli przez gruczoły solne lub szybko obumierające włoski, które gromadzą dużą ilość soli.

Doświadczenie

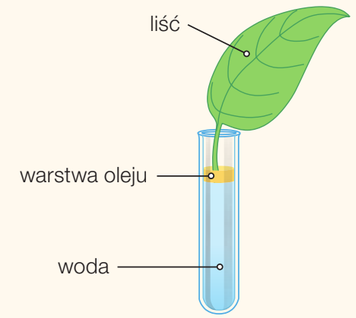
Badanie wpływu 0,5% roztworu NaCl na pobieranie wody przez rośliny

1. **Problem badawczy:** Czy umieszczenie liści pelargonii w 0,5% roztworze NaCl wpływa na pobieranie przez nie wody?
2. **Hipoteza badawcza:** Umieszczenie liści pelargonii w 0,5% roztworze NaCl ogranicza pobieranie przez nie wody.
3. **Przebieg doświadczenia:** Przygotuj sześć podobnej wielkości liści pelargonii, sześć probówek, 0,5% roztwór chlorku sodu oraz olej. Trzy probówki napełnij roztworem chlorku sodu, a trzy kolejne – wodą wodociągową. Następnie umieść w probówkach liście w taki sposób, aby ogonki liściowe były zanurzone. Na powierzchnię roztworu i wody nanieś kilka kropli oleju. Tak przygotowane próby pozostaw na jeden dzień w oświetlonym pomieszczeniu.

Próba badawcza: Trzy probówki z 0,5% roztworem chlorku sodu (NaCl) i liśćmi pelargonii.



Próba kontrolna: Trzy probówki z wodą wodociągową i liśćmi pelargonii.



4. **Wynik doświadczenia:** Zaobserwuj zmiany w obu liściach.
5. **Wniosek:** Sformułuj wniosek.

Wyjaśnienie: Chlorek sodu obniża potencjał wody w roztworze i utrudnia pobieranie wody ze środowiska, ponieważ różnica między potencjałem wody roztworu a potencjałem wody komórki się zmniejsza. Ograniczone pobieranie wody powoduje obniżenie turgoru komórek i więdnięcie liścia.

Polecenia kontrolne

1. Określ znaczenie wody w życiu roślin i podaj skutki jej niedoboru.
2. W dwóch komórkach roślinnych – A i B – zmierzono Ψ_s oraz Ψ_p. Określ kierunek przepływu wody między przedstawionymi komórkami roślinnymi. Wykonaj odpowiednie obliczenia.

A.	B.
$\Psi_s = -1{,}8$ $\Psi_p = 0{,}7$	$\Psi_s = -1{,}4$ $\Psi_p = 0{,}8$

3. Wyjaśnij znaczenie różnicy potencjału wody w układzie gleba–roślina–atmosfera w procesie pobierania i przewodzenia wody.
4. Wymień i omów etapy transportu wody w roślinie.
5. Zaplanuj i przeprowadź doświadczenie określające wpływ wybranego czynnika zewnętrznego (innego niż światło) na intensywność transpiracji.

3.2. Gospodarka mineralna roślin

Ważne w tym temacie!

- znaczenie wybranych składników mineralnych dla roślin
- dostępne dla roślin formy azotu i siarki
- mechanizmy pobierania oraz transportu składników mineralnych

W skład organizmu roślinnego wchodzi ponad 50 pierwiastków chemicznych. Ich głównym źródłem jest roztwór glebowy, czyli znajdująca się w glebie woda wraz z rozpuszczonymi w niej składnikami mineralnymi.

Podstawowe składniki mineralne roślin

Podstawowymi składnikami mineralnymi pobieranymi przez rośliny z roztworu glebowego są np. azot, siarka, magnez, potas i fosfor. Pierwiastki te m.in. budują niezbędne związki organiczne i biorą udział w osmoregulacji komórek.

Zawartość składników mineralnych w roślinach jest zróżnicowana i zmienna. Zależy przede wszystkim od gatunku rośliny, jej wieku, fazy rozwojowej i stopnia rozwoju systemu korzeniowego. Największą zawartością składników mineralnych cechują się liście i organy spichrzowe (8–19%), a najmniejszą – soczyste owoce i nasiona (2–3%).



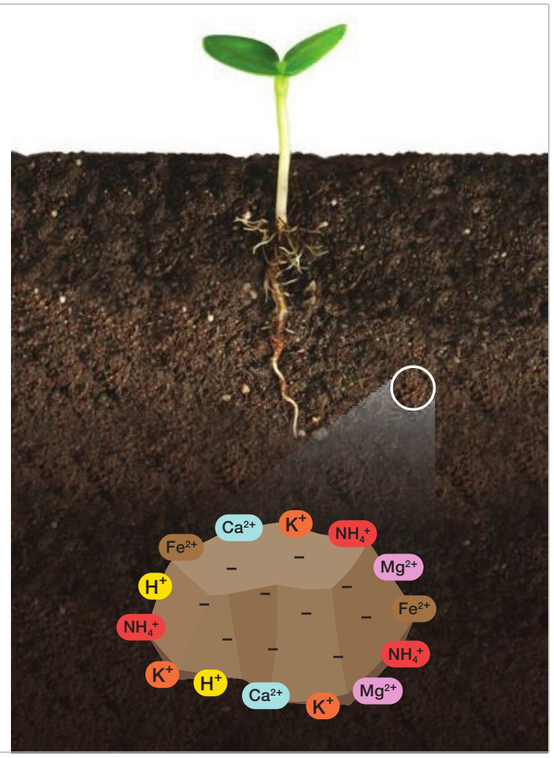
Na glebach zasobnych w składniki mineralne rośnie więcej gatunków roślin niż na glebach ubogich w te pierwiastki. Ponadto żyzne gleby umożliwiają szybszy wzrost roślin i uzyskiwanie większych plonów.

Znaczenie wybranych składników mineralnych dla roślin

Pierwiastek	Wybrane funkcje pierwiastka
Azot (N)	• Wchodzi w skład większości związków organicznych, m.in.: aminokwasów, białek, wolnych nukleotydów, kwasów nukleinowych, wielu fosfolipidów (np. fosfatydylocholiny), chlorofilu. • Umożliwia intensywny wzrost organów roślinnych, a także prawidłowy rozwój systemu korzeniowego i nasion.
Siarka (S)	• Wchodzi w skład aminokwasów siarkowych oraz białek – odpowiada za ich prawidłową strukturę trzeciorzędową i czwartorzędową. • Wchodzi w skład niektórych koenzymów, m.in. koenzymu A (Co-A).
Magnez (Mg)	• Wchodzi w skład chlorofilu. • Jest kofaktorem wielu enzymów. • Uczestniczy w składaniu podjednostek rybosomów.
Potas (K)	• Reguluje gospodarkę wodną roślin i uczestniczy w osmoregulacji komórek. • Jest aktywatorem wielu enzymów. • Bierze udział w ruchach turgorowych organów roślinnych (→ s. 215), np. w otwieraniu i zamykaniu aparatów szparkowych.
Fosfor (P)	• Wchodzi w skład wolnych nukleotydów oraz kwasów nukleinowych. • Pula nieorganicznego fosforanu (P_i) jest wykorzystywana w procesach oddychania komórkowego i fotosyntezy – podczas reakcji fosforylacji.

Gleba

Gleba składa się z trzech faz: stałej, ciekłej i gazowej. Do fazy stałej należą cząstki mineralne i organiczne o różnym stopniu rozdrobnienia. Część z nich tworzy tzw. **kompleks sorpcyjny**, który jest podstawowym źródłem substancji mineralnych niezbędnych roślinom. Kompleks ten składa się z koloidów glebowych. Koloidy mają silny ładunek ujemny, dlatego wiążą występujące w glebie kationy, m.in. K^+, Mg^{2+}, NH_4^+. Jony te w określonych warunkach mogą przechodzić do fazy ciekłej gleby, czyli do **roztworu glebowego**. Składa się on z wody oraz z jonów oderwanych od kompleksu sorpcyjnego. Faza gazowa gleby, zwana **powietrzem glebowym**, wypełnia wolne przestrzenie w glebie, a także wpływa na prawidłowe zaopatrzenie korzeni w tlen oraz na aktywność organizmów glebowych, np. bakterii lub grzybów.



Dostępne dla roślin formy azotu i siarki

Głównymi formami azotu pobieranymi przez rośliny są jony azotanowe(V) – NO_3^- – oraz jony amonowe – NH_4^+. Jony azotanowe(V) występują w roztworze glebowym, dlatego są szybko pobierane przez korzenie. Natomiast jony amonowe ze względu na ładunek dodatni są silnie wiązane przez kompleks sorpcyjny gleby, przez co ich pobieranie zachodzi znacznie wolniej. Rośliny nie mają zdolności korzystania z azotu atmosferycznego – pobierają ten pierwiastek wyłącznie w postaci jonów z roztworu glebowego. Największe zapotrzebowanie roślin na azot występuje w okresie intensywnego rozwoju części zielonych, przede wszystkim liści.

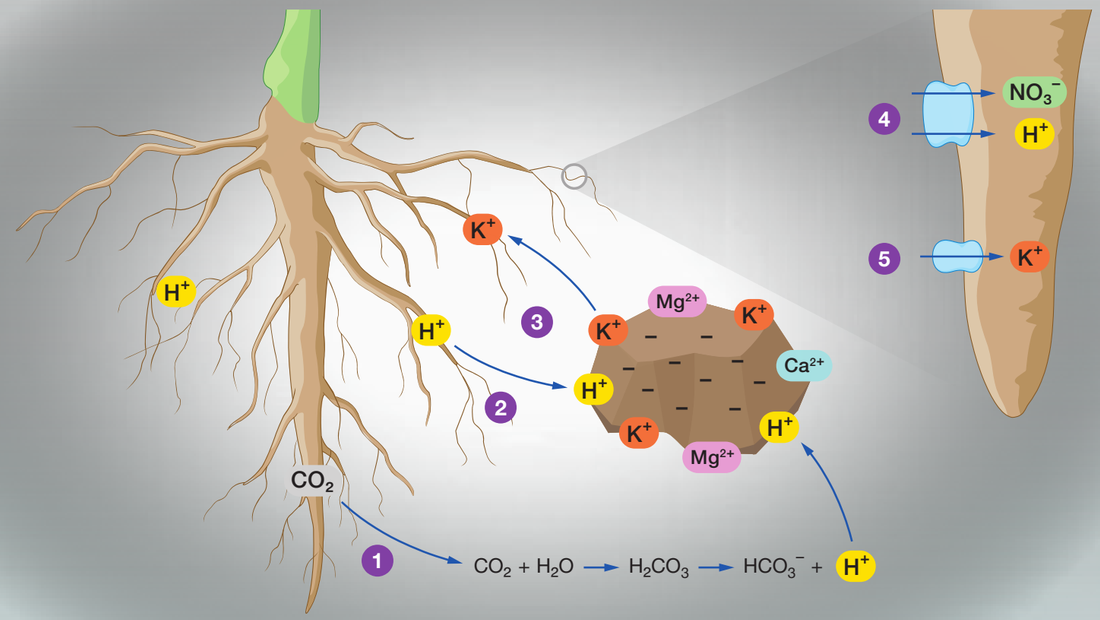
Formą siarki dostępną dla roślin są jony siarczanowe(VI) – SO_4^{2-} – które występują w roztworze glebowym. Pierwiastek ten w formie tlenku siarki(IV) – SO_2 – może być również pochłaniany z atmosfery przez liście. Największe zapotrzebowanie roślin na siarkę występuje w stadium kwitnienia.

Pobieranie i transport składników mineralnych

Organem roślinnym przystosowanym do pobierania składników mineralnych z roztworu glebowego jest **korzeń**. Podobnie jak w przypadku wody proces ten zachodzi najintensywniej w **strefie włośnikowej** korzenia. Przemieszczanie się jonów w roślinie odbywa się wraz z pobraną wodą i ma postać transportu apoplastycznego, symplastycznego lub transmembranowego (→ s. 178). Roślina czerpie z gleby tylko te jony, których aktualnie potrzebuje. Dzieje się tak, ponieważ w korzeniu zachodzi selekcja pobieranych substancji. Dla jonów transportowanych przez protoplasty komórek rolę wybiórczej bariery odgrywa błona komórkowa komórek ryzodermy, a dla jonów transportowanych apoplastem – błona komórkowa komórek śródskórni. Dzięki temu wszystkie niepotrzebne lub toksyczne substancje nie są przepuszczane w głąb korzenia. Nieliczne składniki mineralne są pobierane z atmosfery w formie gazowej przez aparaty szparkowe liści.

Pobieranie jonów z roztworu glebowego

Rośliny powodują wzrost kwasowości gleby. Ich korzenie uwalniają do roztworu glebowego dwutlenek węgla oraz protony (H^+). Protony występujące w roztworze glebowym mają zdolność łączenia się z koloidami kompleksu sorpcyjnego, przez co wypierają z niego kationy pierwiastków, których roślina potrzebuje. Ponadto protony umożliwiają symport różnych składników mineralnych (m.in. jonów NO_3^-) do komórek korzenia. Transport jonów może zachodzić również biernie – na drodze dyfuzji ułatwionej.



1. Korzenie uwalniają do roztworu glebowego dwutlenek węgla – jeden z produktów oddychania tlenowego. W reakcji z wodą tworzy on kwas węglowy, który dysocjuje na jony wodorowęglanowe i protony (jony H^+).
2. Pompy protonowe aktywnie transportują protony z komórek korzenia do roztworu glebowego.
3. Protony występujące w roztworze glebowym łączą się z koloidami kompleksu sorpcyjnego, odłączając od nich jednocześnie kationy niezbędnych pierwiastków.
4. Protony umożliwiają symport różnych składników mineralnych (np. jonów NO_3^-) do komórek korzenia.
5. Liczne kationy, np. K^+, są biernie transportowane do komórek przez kanały jonowe.

Polecenia kontrolne

1. Podaj znaczenie azotu, siarki i magnezu dla roślin.
2. Przedstaw powód, dla którego jony azotanowe(V) są pobierane przez roślinę szybciej niż jony amonowe.
3. Podaj nazwy tkanek korzenia, w których zachodzi selekcja pobieranych składników mineralnych.
4. Wyjaśnij znaczenie pomp protonowych włośników korzenia w pobieraniu jonów przez rośliny.

3.3. Fotosynteza. Transport asymilatów w roślinie

Ważne w tym temacie!

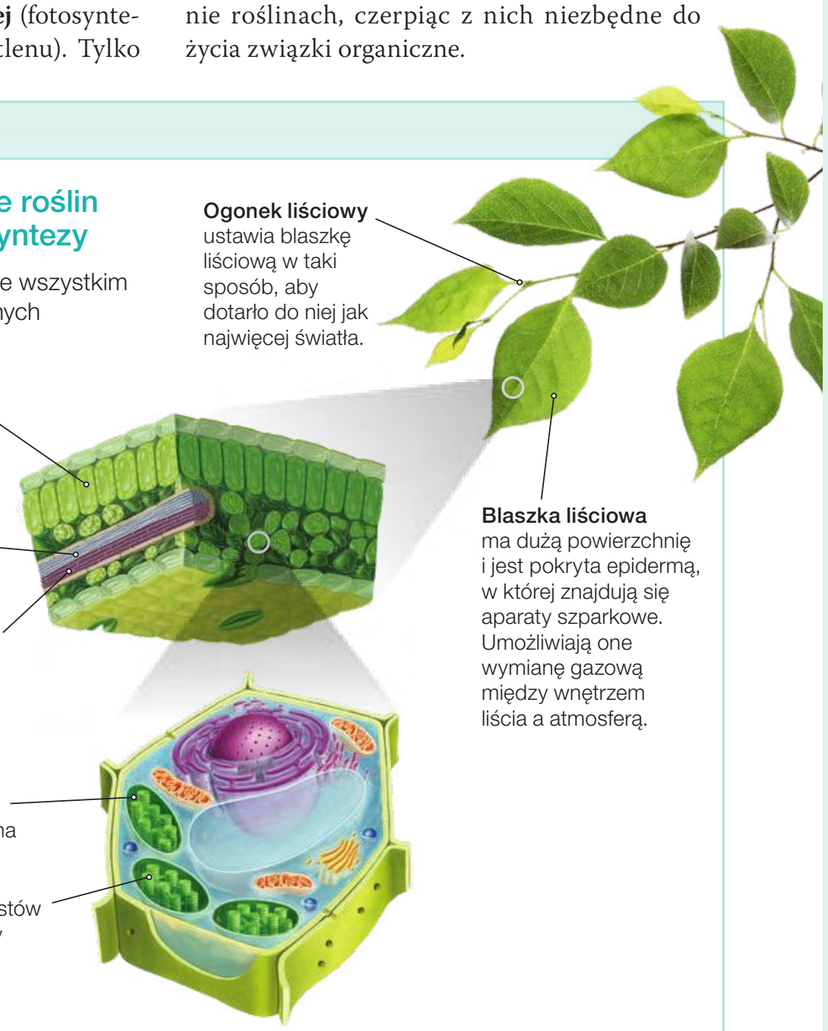
- przebieg fotosyntezy u roślin
- drogi transportu substratów i produktów fotosyntezy w roślinach
- adaptacje w budowie anatomicznej roślin do przeprowadzania wymiany gazowej
- wpływ czynników zewnętrznych i wewnętrznych na przebieg fotosyntezy
- mechanizm transportu asymilatów w roślinie
- udział bakterii i grzybów w pozyskiwaniu pokarmu przez rośliny

Większość roślin należy do organizmów autotroficznych (samożywnych), które odżywiają się dzięki **fotosyntezie oksygenicznej** (fotosyntezie zachodzącej z uwolnieniem tlenu). Tylko nieliczne gatunki roślin są heterotroficzne – pasożytują one na innych organizmach, głównie roślinach, czerpiąc z nich niezbędne do życia związki organiczne.

Przypomnij sobie

Przystosowania w budowie roślin do przeprowadzania fotosyntezy

Fotosynteza u roślin zachodzi przede wszystkim w liściach – organach przystosowanych do przeprowadzania tego procesu.



Przypomnij sobie

Fotosynteza oksygeniczna u roślin

Fotosynteza oksygeniczna to proces, który polega na wytwarzaniu związków organicznych z prostych związków nieorganicznych (dwutlenku węgla i wody) z udziałem energii świetlnej. Produktem ubocznym fotosyntezy oksygenicznej jest tlen.

Ogólne równanie fotosyntezy

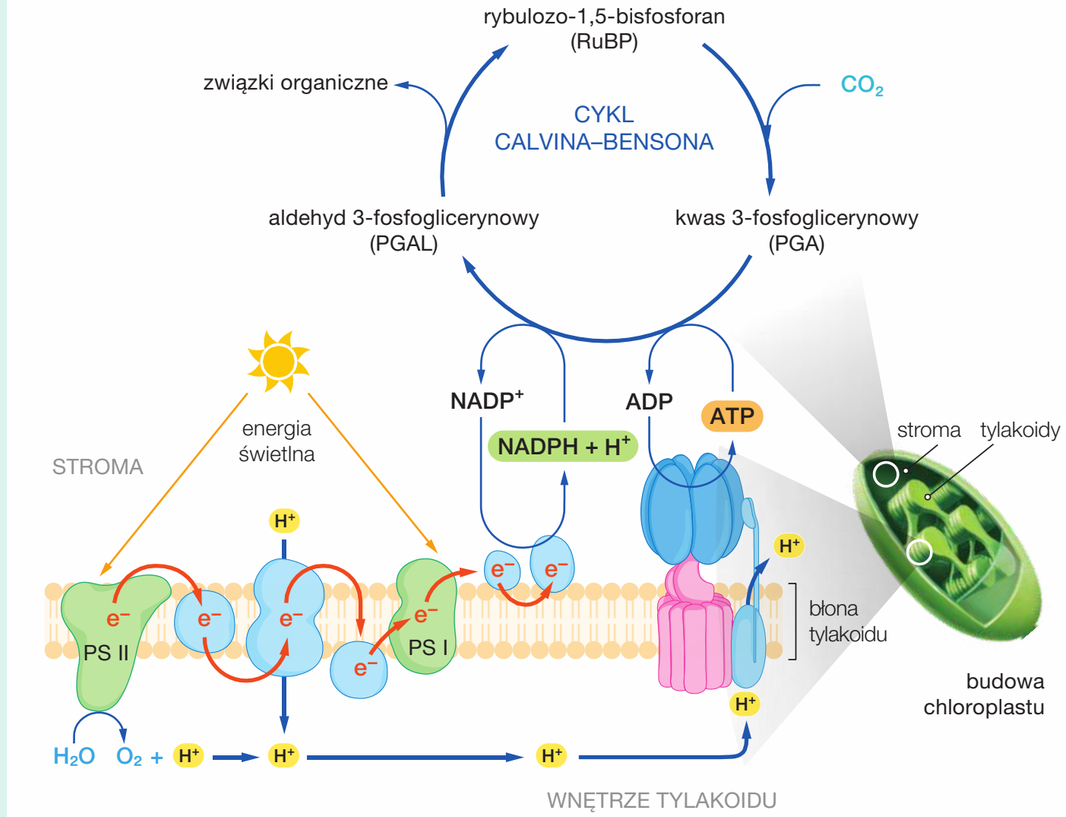
$$CO_2 + H_2O \xrightarrow{\text{energia świetlna}} (CH_2O) + O_2\uparrow$$

((CH_2O) – ogólny wzór węglowodanów)

Przebieg fotosyntezy oksygenicznej

Fotozynteza oksygeniczna zachodzi w chloroplastach i składa się z dwóch faz:

1. **fazy zależnej od światła (fazy jasnej)** – odbywa się w tylakoidach i polega na wytworzeniu siły asymilacyjnej (ATP i NADPH) potrzebnej do asymilacji CO_2 w kolejnej fazie. Siła asymilacyjna powstaje dzięki inicjowanemu światłem przepływowi elektronów. Przepływ elektronów – od cząsteczki wody, przez fotosystemy i przenośniki elektronów, do $NADP^+$ – skutkuje powstaniem NADPH. Równocześnie dzięki gradientowi protonowemu – wytworzonemu w poprzek błony tylakoidu w trakcie przepływu elektrownów – powstaje ATP;
2. **fazy niezależnej od światła (cyklu Calvina–Bensona)** – odbywa się w stromie chloroplastów i polega na wykorzystaniu siły asymilacyjnej do wytworzenia związków organicznych z dwutlenku węgla.



Przystosowania roślin do wymiany gazowej

Wymiana gazowa u roślin polega na dyfuzji tlenu, dwutlenku węgla oraz pary wodnej między rośliną a środowiskiem zewnętrznym. Rośliny wykształciły szereg przystosowań umożliwiających przeprowadzanie sprawnej wymiany gazowej.

Przystosowania roślin do wymiany gazowej			
aparaty szparkowe	**przetchlinki**	**przestwory międzykomórkowe**	**pneumatofory (korzenie oddechowe)**
Umożliwiają wymianę gazową w niezdrewniałych organach roślinnych pokrytych kutykulą.	Umożliwiają wymianę gazową w zdrewniałych organach roślinnych pokrytych korkiem.	Magazynują gazy oddechowe. Szczególnie duże przestwory międzykomórkowe zawiera miękisz powietrzny, który występuje u roślin wodnych (→ s. 87).	Nadziemne korzenie, które doprowadzają powietrze do systemu korzeniowego. Występują u roślin rosnących na podmokłych terenach (→ s. 99).

Drogi transportu substratów i produktów fotosyntezy

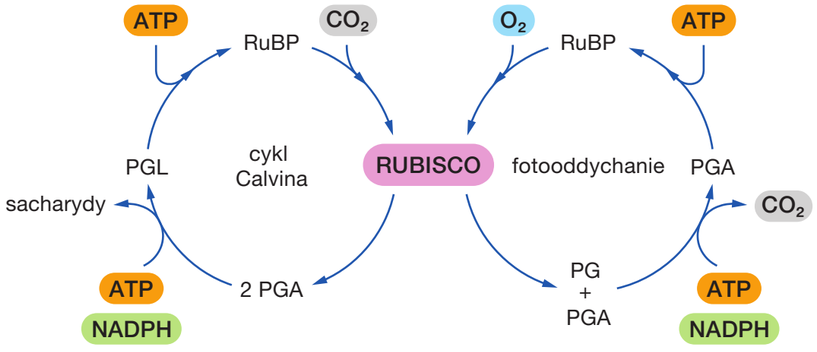
Do **głównych substratów fotosyntezy** należą dwutlenek węgla i woda. U roślin lądowych dwutlenek węgla dostaje się do tkanek liścia przez aparaty szparkowe. Z kolei woda jest pobierana przez korzenie, a następnie jest transportowana przez elementy przewodzące drewna do liści. Rośliny wodne (hydrofity) nie mają aparatów szparkowych. Pobierają one dwutlenek węgla głównie w postaci rozpuszczonych w wodzie jonów wodorowęglanowych (HCO_3^-) bezpośrednio przez epidermę. Wodę pobierają natomiast całą powierzchnią ciała.

Głównymi produktami fotosyntezy są tlen i związki organiczne. Rośliny lądowe usuwają tlen przez aparaty szparkowe, a rośliny wodne – przez epidermę. Związki organiczne są transportowane w obrębie obu typów roślin przez elementy przewodzące łyka (→ s. 91).

Dowiedz się więcej

Fotooddychanie

Fotooddychanie to proces, w którym rubisco katalizuje rozkład RuBP za pomocą tlenu (zamiast karboksylacji RuBP w cyklu Calvina–Bensona).



Przebieg karboksylacji RuBP podczas cyklu Calvina–Bensona. **Przebieg rozkładu RuBP podczas fotooddychania.**

Rubisco ma zdolność wiązania zarówno CO_2, jak i O_2. To dlatego gdy stężenie O_2 w miękiszu znacznie przewyższa stężenie CO_2 (np. wskutek intensywnej fotosyntezy), dochodzi do fotooddychania. Jest to zjawisko niekorzystne dla roślin, ponieważ spada wówczas intensywność fotosyntezy, a roślina zużywa zasoby na rozkładanie toksycznych produktów fotooddychania.

Przypomnij sobie

Czynniki wpływające na przebieg fotosyntezy

Intensywność fotosyntezy zależy od czynników środowiska zewnętrznego oraz od przystosowań w budowie i metabolizmie roślin.

Czynniki wpływające na intensywność fotosyntezy

zewnętrzne

dwutlenek węgla
To jeden z substratów fotosyntezy – jest wykorzystywany w fazie niezależnej od światła.

światło
Umożliwia zachodzenie fazy zależnej od światła fotosyntezy.

temperatura
Wpływa na aktywność enzymów biorących udział w procesie fotosyntezy.

sole mineralne
Sole m.in. magnezu, potasu, cynku i manganu są niezbędne do prawidłowego przebiegu fotosyntezy.

woda
Stanowi jeden z substratów fotosyntezy – jest dawcą elektronów i protonów w fazie zależnej od światła.

wewnętrzne

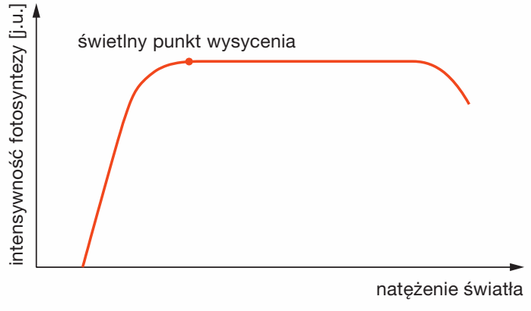
wielkość przestrzeni międzykomórkowych w miękiszu asymilacyjnym
Przestrzenie międzykomórkowe ułatwiają wymianę gazową komórek miękiszu asymilacyjnego.

grubość kutykuli
Kutykula nie przepuszcza gazów i wody, dlatego im jest grubsza, tym bardziej ogranicza wymianę gazową miękiszu asymilacyjnego.

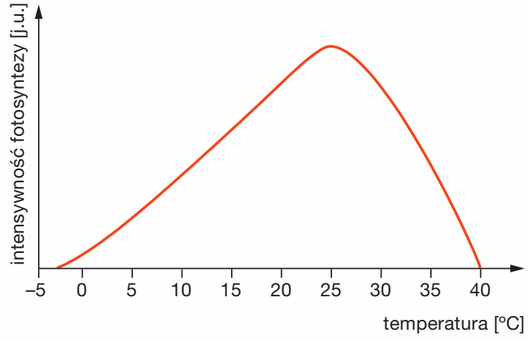
wielkość blaszki liściowej
Im większa jest blaszka oraz im większy jest stosunek jej powierzchni do objętości, tym intensywniej zachodzi fotosynteza.

liczba chloroplastów i zawartość chlorofilu
Chlorofil pochłania energię świetlną, dzięki czemu może zachodzić faza zależna od światła. Duża liczba chloroplastów oraz duża zawartość chlorofilu pozwalają na intensywną fotosyntezę.

liczba aparatów szparkowych
Duża liczba aparatów szparkowych ułatwia m.in. pobór dwutlenku węgla.



Intensywność fotosyntezy rośnie wraz ze wzrostem natężenia światła – aż do osiągnięcia wartości maksymalnej, nazywanej świetlnym punktem wysycenia. Zwiększenie natężenia światła powyżej tej wartości powoduje spadek intensywności fotosyntezy.



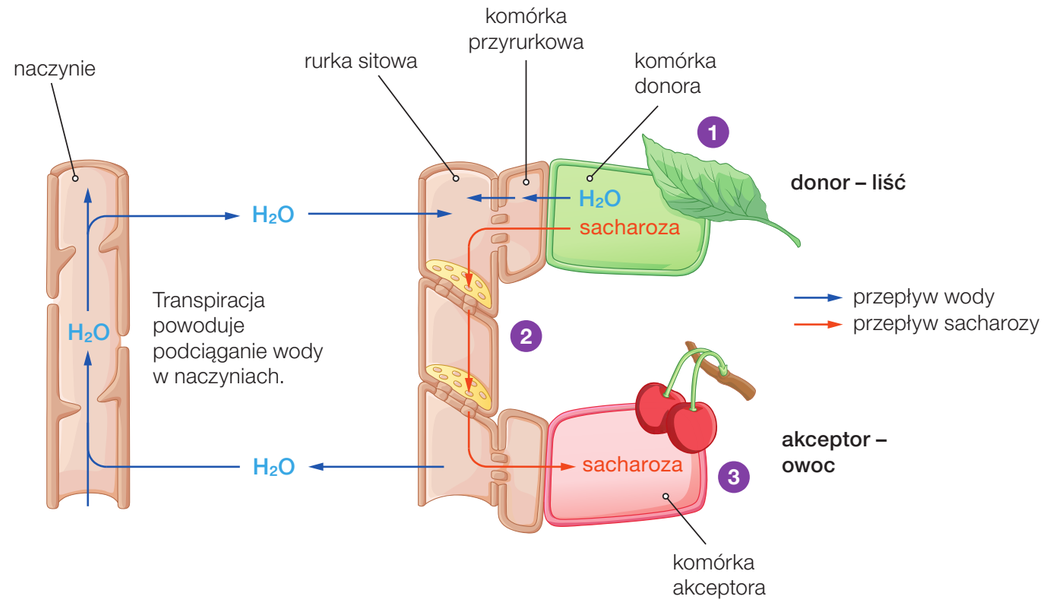
Wymagania roślin wobec temperatury warunkującej reakcje fotosyntezy zależą od strefy klimatycznej, w której żyje dana roślina. Rośliny strefy umiarkowanej wykazują największą intensywność fotosyntezy w przedziale temperatury między 20°C a 30°C.

Transport asymilatów w roślinie

U roślin proces fotosyntezy zachodzi głównie w liściach. W jego wyniku powstają asymilaty, czyli związki organiczne, z których korzysta cały organizm rośliny. Pierwotnym produktem fotosyntezy jest trójwęglowy cukier – aldehyd 3-fosfoglicerynowy (PGA). Część tego związku jest wykorzystywana na potrzeby metaboliczne liści, a reszta zostaje przekształcona w sacharozę i przetransportowana do pozostałych organów roślinnych. Za transport sacharozy odpowiada tkanka przewodząca – łyko. Sacharoza stanowi formę transportową cukrów u roślin, ponieważ jest słabo reaktywna i nie wykazuje właściwości redukujących – dzięki temu nie ulega przemianom chemicznym podczas transportu, cechuje się jednak dużą aktywnością osmotyczną.

Transport sacharozy w roślinie

Transport sacharozy w roślinie przebiega od donorów, przez komórki przewodzące łyka, do akceptorów. Uczestniczy w nim woda, która przepływa do rurek sitowych z sąsiadujących naczyń.



Transport sacharozy w roślinie zachodzi w trzech etapach.

1. Pierwszym etapem jest załadunek łyka – wyprodukowana w donorach (liściach) sacharoza zostaje przetransportowana do rurek sitowych wiązki przewodzącej.
2. Drugim etapem jest pionowy transport sacharozy w górę i w dół rośliny, który zachodzi w elementach przewodzących łyka. Sacharoza obniża potencjał wody w rurkach sitowych, co pociąga za sobą osmotyczny przepływ wody z naczyń do rurek sitowych. W ten sposób powstaje ciśnienie hydrostatyczne, które tłoczy roztwór cukru w rurce sitowej.
3. Trzecim etapem jest rozładunek łyka, czyli przemieszczanie się sacharozy z elementów przewodzących łyka do komórek akceptora. Akceptorami są organy, które nie wytwarzają asymilatów (np. korzenie) lub wytwarzają je w niewystarczającej ilości (np. młode liście). Ubytek sacharozy w rurkach sitowych podwyższa w nich potencjał wody, co pociąga za sobą osmotyczny przepływ wody z rurek sitowych do naczyń.

Etapy transportu sacharozy w roślinie

Transport sacharozy w roślinie odbywa się w trzech etapach.

1 Załadunek łyka

Załadunek łyka odbywa się głównie w liściach – organach, w których zachodzi fotosynteza. Z komórek miękiszu asymilacyjnego liści sacharoza przemieszcza się najpierw do komórek przyrurkowych, a następnie do członów rurek sitowych. Transport ten wymaga nakładu energii, ponieważ zachodzi wbrew różnicy stężeń – stężenie sacharozy w komórkach przyrurkowych jest do 20 razy większe niż w komórkach miękiszu asymilacyjnego.

2 Pionowy transport sacharozy w elementach przewodzących łyka

Pionowy transport sacharozy odbywa się w elementach przewodzących łyka, które stanowią część symplastu. U roślin okrytonasiennych są to rurki sitowe. Transport asymilatów w rurkach sitowych zachodzi zgodnie z różnicą ciśnień turgorowych między miejscem załadunku łyka (donorem) a miejscem jego rozładunku (akceptorem) – nie wymaga więc nakładu energii. W czasie załadunku łyka we wnętrzu rurek sitowych zwiększa się stężenie sacharozy i obniża się potencjał wody. To pociąga za sobą osmotyczny napływ wody z naczyń do rurek sitowych. W ten sposób powstaje dodatnie ciśnienie hydrostatyczne, które tłoczy roztwór cukru w rurce sitowej.

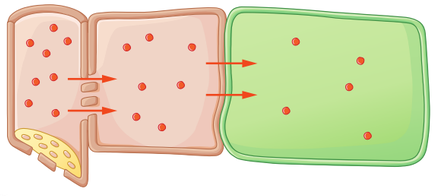
3 Rozładunek łyka

Rozładunek łyka odbywa się w organach akceptorowych – ich komórki odbierają sacharozę z elementów przewodzących łyka. Transport sacharozy z rurek sitowych do komórek akceptora może zachodzić czynnie lub biernie. Jeśli akceptorami są organy spichrzowe, np. korzenie, bulwy lub kłącza, to transport przebiega wbrew gradientowi stężeń (wymaga więc nakładu energii). Natomiast jeśli akceptorami są młode rosnące liście, to transport przebiega zgodnie z gradientem stężeń (nie wymaga więc nakładu energii).

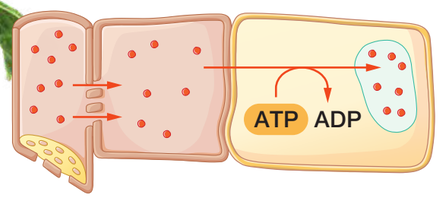
Rozładunek łyka u buraka cukrowego

Burak cukrowy jest rośliną dwuletnią, która w pierwszym roku życia wytwarza korzeń spichrzowy. W wakuolach komórek korzenia spichrzowego jest magazynowana sacharoza. Rozładunek łyka u buraka cukrowego może zachodzić w sposób bierny lub czynny.





Gdy akceptorami sacharozy są młode rosnące liście, rozładunek łyka nie wymaga nakładu energii. Stężenie sacharozy w komórkach miękiszu liści jest małe, dlatego jej transport z komórek łyka odbywa się zgodnie z gradientem stężeń.

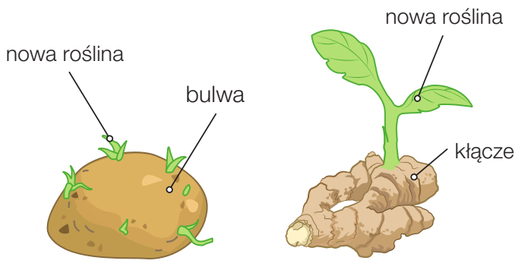


Gdy akceptorem sacharozy jest korzeń, rozładunek łyka wymaga nakładu energii. Stężenie sacharozy w wakuolach komórek korzenia jest bardzo duże, dlatego jej transport z komórek łyka zachodzi wbrew gradientowi stężeń.

Donory i akceptory sacharozy

Głównymi donorami sacharozy u roślin są liście oraz zielone łodygi, ponieważ to w nich odbywa się proces fotosyntezy. Do akceptorów zalicza się natomiast zdrewniałe łodygi, zmodyfikowane łodygi spichrzowe, korzenie, kwiaty oraz owoce.

Niektóre organy roślinne mogą być zarówno donorami, jak i akceptorami sacharozy. Należą do nich organy o charakterze spichrzowym, m.in. korzenie spichrzowe, cebule, kłącza i bulwy. Kiedy roślina fotosyntetyzuje, organy te są akceptorami, ponieważ odbierają asymilaty z donorów i magazynują je w postaci substancji zapasowych, np. skrobi. W sytuacji gdy magazynowane związki są wykorzystywane przez roślinę do wytwarzania nowych pędów, organy spichrzowe pełnią funkcję donorów, a nowe pędy – funkcję akceptorów.



Bulwa ziemniaka oraz kłącze imbiru są zarówno akceptorami, jak i donorami asymilatów. Funkcję akceptora pełnią wtedy, gdy magazynują substancje zapasowe dopływające z liści, a funkcję donora – wtedy, gdy wyrastają z nich nowe rośliny.

Udział bakterii i grzybów w pozyskiwaniu pokarmu przez rośliny

W pozyskiwaniu pokarmu przez rośliny biorą udział m.in. bakterie glebowe, bakterie symbiotyczne oraz grzyby. Organizmy te udostępniają roślinom przyswajalne formy pierwiastków chemicznych (głównie azotu, fosforu i siarki), które są niezbędne do budowy wielu związków organicznych.

Mikroorganizmy biorące udział w pozyskiwaniu pokarmu przez rośliny

bakterie i grzyby glebowe	bakterie glebowe z rodzajów *Azotobacter* i *Clostridium*	bakterie nitryfikacyjne z rodzajów *Nitrosomonas* i *Nitrobacter*	organizmy symbiotyczne
Rozkładają i mineralizują martwą materię organiczną, dzięki czemu rośliny mogą pobierać z gleby: • jony amonowe – NH_4^+, • jony siarczanowe(VI) – SO_4^{2-}, • jony wodorofosforanowe – HPO_4^{2-}.	Mają zdolność asymilacji azotu cząsteczkowego i przekształcania go w amoniak, który rośliny pobierają w postaci jonów amonowych.	Utleniają amoniak do jonów azotanowych(V) – NO_3^- – czyli głównej przyswajalnej formy azotu dla roślin.	• Bakterie z rodzaju *Rhizobium* mają zdolność wiązania azotu atmosferycznego. • Grzyby mikoryzowe rozkładają związki organiczne występujące w glebie, dzięki czemu rośliny uzyskują m.in. przyswajalne formy azotu i fosforu.

Polecenia kontrolne

1. Omów fazy fotosyntezy: fazę zależną od światła i fazę niezależną od światła.
2. Porównaj drogi transportu substratów fotosyntezy u roślin lądowych i wodnych.
3. Omów kolejne etapy transportu sacharozy w roślinie.
4. Wyjaśnij pojęcia: donor asymilatów i akceptor asymilatów.
5. Wyjaśnij, jaką rolę w odżywianiu rośliny odgrywają bakterie glebowe oraz bakterie symbiotyczne.

3.4. Hormony roślinne

Ważne w tym temacie!

- cechy hormonów roślinnych
- rola auksyn i etylenu w procesach wzrostu i rozwoju roślin

Rośliny w ciągu życia rozwijają się i rosną. Rozwój i wzrost roślin polega na kiełkowaniu nasion, wykształcaniu organów (najpierw wegetatywnych, a następnie generatywnych) oraz nieodwracalnym zwiększaniu swoich rozmiarów. Procesy fizjologiczne, które prowadzą do wzrostu i rozwoju roślin, są regulowane przez związki chemiczne zwane **regulatorami wzrostu i rozwoju roślin**. Należą do nich m.in. **hormony roślinne**, czyli **fitohormony**. W odróżnieniu od pozostałych regulatorów wzrostu i rozwoju roślin związki te wykazują dużą aktywność fizjologiczną już w bardzo małych stężeniach.

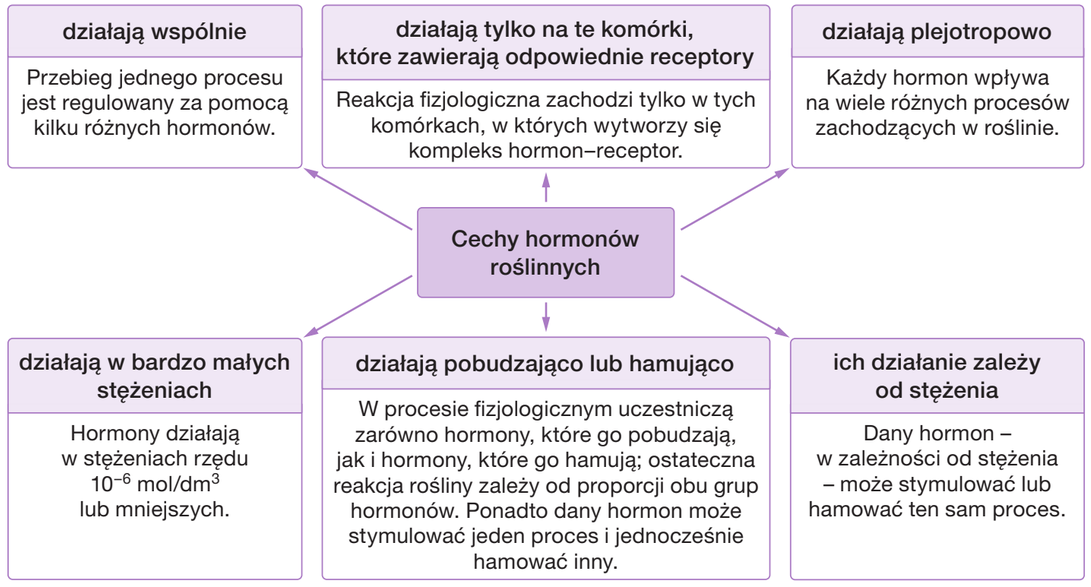
Budowa chemiczna fitohormonów

Hormony roślinne są substancjami drobnocząsteczkowymi o różnorodnej budowie chemicznej. Większość z nich to związki pierścieniowe, np. auksyny. Najprostszą budową charakteryzuje się etylen, który jest gazowym węglowodorem nienasyconym o wzorze sumarycznym C_2H_4.

Działanie fitohormonów

Fitohormony powstają w określonych obszarach rośliny, m.in. w wierzchołkach wzrostu, młodych liściach lub nasionach. Zazwyczaj działają w okolicznych komórkach lub w częściach rośliny, do których są transportowane za pomocą drewna lub łyka. Związki te kontrolują wzrost i rozwój roślin – wpływają m.in. na podziały komórkowe, wzrost wydłużeniowy (→ s. 201) i różnicowanie się komórek. Skutki ich aktywności zależą głównie od stężenia, gatunku rośliny oraz jej stadium rozwojowego.

Cechy fitohormonów



Fitohormony

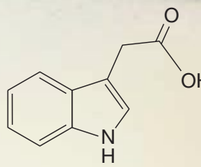
Do fitohormonów zalicza się m.in. **auksyny** i **etylen**.

Auksyny

Auksyny są wytwarzane w wierzchołkach wzrostu pędów, młodych liściach, pąkach, kwiatach i owocach.

Działanie auksyn:

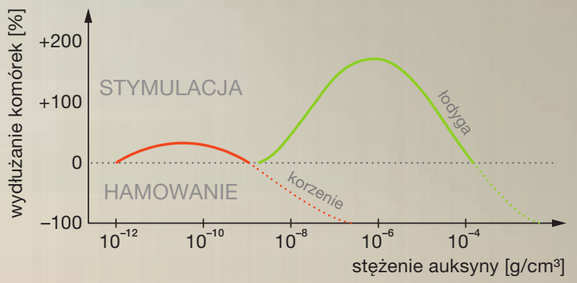
- pobudzają wzrost wydłużeniowy komórek, co umożliwia m.in. wzrost i ruchy organów roślinnych,
- stymulują podziały komórek kambium, co skutkuje przyrostem łodyg i korzeni na grubość,
- hamują rozwój pąków bocznych pędu,
- stymulują powstawanie zawiązków korzeni bocznych i przybyszowych,
- powodują powstawanie tkanki przyrannej,
- odpowiadają za powstawanie owoców,
- hamują zrzucanie liści i owoców.



IAA – kwas indolilo-3-octowy.

Wpływ stężenia auksyn na wzrost korzeni i łodygi

Korzenie są znacznie bardziej wrażliwe na działanie auksyn niż łodygi. To dlatego małe stężenie tych hormonów (10^{-12}–10^{-9} g/cm^3) pobudza wzrost korzeni, a większe działa na nie hamująco. Inaczej jest w przypadku łodygi – jej wzrost stymuluje stosunkowo duże stężenie auksyn (10^{-8}–10^{-4} g/cm^3).

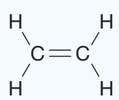


Etylen

Etylen jest wytwarzany we wszystkich organach rośliny. Największym jego stężeniem cechują się dojrzewające owoce oraz starzejące się tkanki roślinne.

Działanie etylenu:

- stymuluje dojrzewanie owoców,
- powoduje opadanie owoców i liści,
- odpowiada za reakcje roślin na stres wywołany np. niedostatkiem wody, uszkodzeniami mechanicznymi, infekcją, chłodem lub przegrzaniem.



Etylen.



Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij, jak różne stężenie auksyn wpływa na wzrost korzeni i łodygi.
2. Podaj przykład procesu, który jest stymulowany przez etylen, a hamowany – przez auksyny.

3.5. Wzrost i rozwój roślin. Kiełkowanie nasion

Ontogeneza rośliny → **stadium wegetatywne** | stadium generatywne | starzenie się i obumieranie

Ważne w tym temacie!

- wpływ czynników zewnętrznych i wewnętrznych na kiełkowanie nasion
- rola liścieni we wzroście i w rozwoju siewki rośliny

Wzrost rośliny jest procesem polegającym na nieodwracalnym zwiększaniu się jej rozmiarów. Podstawą wzrostu są intensywne podziały mitotyczne komórek (wzrost podziałowy) oraz powiększanie się ich objętości (wzrost wydłużeniowy – elongacyjny).

Rozwój rośliny to zmiany jakościowe, które polegają na różnicowaniu się komórek i tkanek oraz na powstawaniu organów. W przypadku roślin nasiennych wyróżnia się trzy główne etapy rozwoju osobniczego (ontogenezy): stadium wegetatywne, stadium generatywne oraz starzenie się i obumieranie.

Etapy ontogenezy rośliny nasiennej

1 STADIUM WEGETATYWNE
- rozwój zarodkowy (rozwój embrionalny)
- kiełkowanie nasion
- rozwój wegetatywny

2 STADIUM GENERATYWNE
- kwitnienie
- owocowanie (wyłącznie u okrytonasiennych)

3 STARZENIE SIĘ I OBUMIERANIE

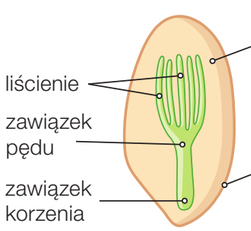
Rozwój zarodkowy

Życie rośliny rozpoczyna się w momencie **zapłodnienia** komórki jajowej komórką plemnikową. Powstaje wówczas **zygota**, z której – w wyniku podziałów mitotycznych – rozwija się **zarodek**. Zarodek jest niemal w całości zbudowany z tkanki merystematycznej. Rozwój zarodkowy (rozwój embrionalny) prowadzi do wykształcenia się zawiązka korzenia oraz zawiązka pędu. Zawiązek korzenia jest stożkiem wzrostu korzenia – to z niego rozwija się korzeń główny dojrzałej rośliny. Zawiązek pędu jest zakończony na szczycie stożkiem wzrostu pędu – w jego skład wchodzą łodyga zarodkowa oraz liście zarodkowe, zwane **liścieniami**. Z łodygi zarodkowej rozwija się łodyga dojrzałej rośliny, natomiast liścienie obumierają po wykształceniu się pierwszych liści.

Budowa nasion roślin nasiennych

U roślin nasiennych zarodki znajdują się w **nasionach**. U roślin nagonasiennych nasiona nie są osłonięte. Z kolei u roślin okrytonasiennych stanowią one część owocu.

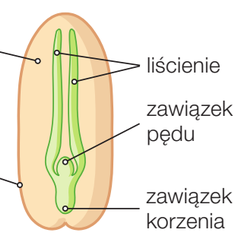
Nasiono rośliny nagonasiennej



Tkanka spichrzowa magazynuje substancje zapasowe niezbędne do rozwoju zarodka, a następnie siewki – młodej rośliny, która wyrasta z nasienia.

Łupina nasienna to zewnętrzna część nasienia. Zwykle jest twarda, a także nieprzepuszczalna dla wody i gazów. Stanowi ochronę dla zarodka.

Nasiono rośliny okrytonasiennej



Stan spoczynku nasienia

Rozwijający się zarodek wypełnia przestrzeń ograniczoną przez łupinę nasienną, a następnie u większości roślin przechodzi w **stan spoczynku**. Ustają wówczas wzrost i rozwój zarodka rośliny, a w wyniku m.in. odwodnienia i braku tlenu zostają zahamowane procesy metaboliczne. Energia niezbędna do utrzymania przy życiu tkanek nasienia pochodzi zwykle z fermentacji alkoholowej. Stan spoczynku ma różny czas trwania (od kilku dni do kilkudziesięciu lat). W zależności od przyczyn nazywa się go spoczynkiem względnym lub bezwzględnym.

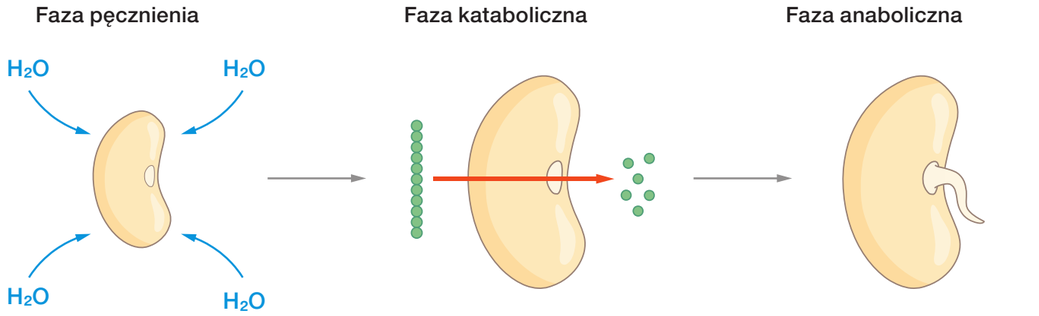
Spoczynek	
względny	**bezwzględny**
• wynika z niekorzystnych dla kiełkowania warunków środowiska zewnętrznego, np. z niedostatku wody lub nieodpowiedniej temperatury • przerwanie spoczynku zachodzi w optymalnych warunkach środowiska	• wynika z niegotowości nasienia do kiełkowania – jest ona spowodowana m.in. niedojrzałością zarodka lub wpływem inhibitorów wzrostu i rozwoju roślin • o przerwaniu spoczynku decydują czynniki specyficzne dla danego gatunku

Kiełkowanie nasion

Kiełkowanie to zespół procesów fizjologicznych zachodzących w nasieniu. Procesy te aktywują zarodek, co prowadzi do wzrostu i rozwoju siewki. W kiełkowaniu wyróżnia się trzy fazy:

- **fazę pęcznienia** (imbibicji) – w tej fazie białka zawarte w nasieniu intensywnie pochłaniają wodę. W efekcie nasienie pęcznieje, łupina nasienna pęka, a do wnętrza nasienia dostaje się tlen. Dzięki temu roślina zaczyna oddychać tlenowo, co skutkuje wzmożoną produkcją ATP. Niektóre nasiona, zwane nasionami twardymi, nie pęcznieją, dopóki ich łupina nasienna nie zostanie uszkodzona (np. przez organizmy glebowe);
- **fazę kataboliczną** – w tej fazie zachodzi hydroliza substancji zapasowych tkanki spichrzowej nasienia, które stają się rozpuszczalne w wodzie i przyswajalne dla zarodka. Jednocześnie odbywa się intensywne oddychanie tlenowe;
- **fazę anaboliczną** – w tej fazie następuje synteza nowych składników komórek z udziałem energii zmagazynowanej w ATP. Składniki te umożliwiają dalszy wzrost i rozwój zarodka, a następnie siewki.

Fazy kiełkowania nasienia



- intensywny pobór wody przez suche nasiono
- pękanie łupiny nasiennej
- początek rozkładu oligo- i polisacharydów
- gwałtowny wzrost fermentacji, a później oddychania tlenowego

- intensywny rozkład substancji zapasowych – polisacharydów, białek zapasowych i lipidów zapasowych
- zużycie wody w reakcjach hydrolizy

- synteza nowych białek niezbędnych do rozwoju siewki
- wysunięcie się korzenia zarodkowego i wzrost intensywności poboru wody
- wzrost i rozwój siewki

Rodzaje kiełkowania

Do czasu pojawienia się korzenia zarodkowego kiełkowanie wszystkich roślin przebiega podobnie. W zależności od gatunku rośliny dalszy rozwój siewki odbywa się na dwa sposoby:

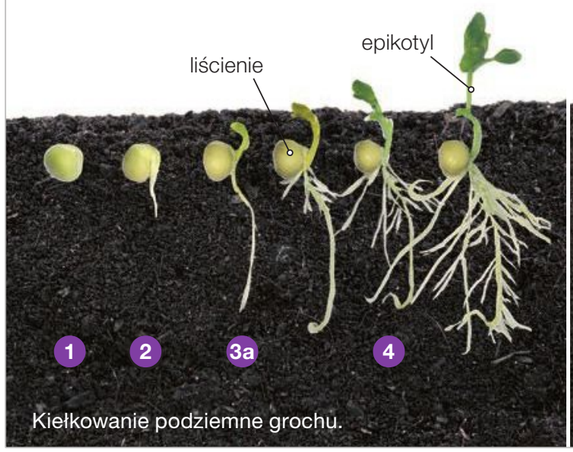
- **kiełkowanie podziemne** (hipogeiczne) zachodzi np. u grochu, leszczyny lub kukurydzy,
- **kiełkowanie nadziemne** (epigeiczne) zachodzi np. u fasoli, słonecznika lub dyni.

1. Nasienie pochłania dużą ilość wody i pęcznieje.
2. Jako pierwszy wysuwa się korzeń zarodkowy, który umocowuje roślinę w glebie i pobiera z niej wodę z solami mineralnymi. W tym czasie zarodek rośliny jest całkowicie uzależniony od substancji zapasowych nasienia.

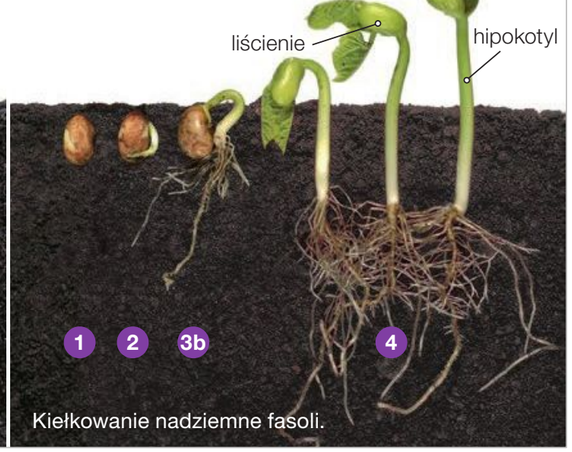
3a. W **kiełkowaniu podziemnym** intensywnie wzrasta epikotyl (nadliścieniowa część łodygi zarodkowej) – to dlatego liścienie pozostają w glebie.

3b. W **kiełkowaniu nadziemnym** zachodzi szybki wzrost hipokotylu (podliścieniowej części łodygi zarodkowej). Dzięki temu liścienie wraz z zawiązkiem pędu są wynoszone ponad powierzchnię gleby. Pod wpływem światła liścienie zazieleniają się i zaczynają przeprowadzać fotosyntezę.

4. Rozwijają się kolejne liście, które pełnią funkcję asymilacyjną.



Kiełkowanie podziemne grochu.



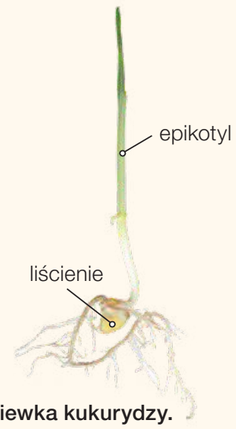
Kiełkowanie nadziemne fasoli.

Obserwacja różnych typów kiełkowania nasion

Wypełnij dwie przezroczyste doniczki (np. szklane) ziemią ogrodową. W pierwszej doniczce zasadź pięć nasion słonecznika, tak aby z jednej strony dotykały ściany doniczki (żeby były widoczne). W drugiej doniczce w podobny sposób zasadź pięć nasion kukurydzy. Doniczki ustaw w ciepłym i nasłonecznionym miejscu, np. na parapecie. Regularnie podlewaj nasiona wodą. Obserwuj sposób kiełkowania obu gatunków.



Siewka słonecznika.



Siewka kukurydzy.

Obserwacja

Wpływ czynników zewnętrznych i wewnętrznych na kiełkowanie nasion

Po zakończeniu rozwoju embrionalnego nasiona pozostają w stanie spoczynku. Zaczynają kiełkować dopiero wtedy, gdy znajdą się w odpowiednich warunkach środowiska zewnętrznego i środowiska wewnętrznego.

Czynniki zewnętrzne

Do głównych czynników zewnętrznych, które wpływają na kiełkowanie nasion, należą m.in. woda, temperatura, światło i tlen.

Woda jest niezbędna do kiełkowania nasion, ponieważ:

- umożliwia pęcznienie nasion, a w efekcie – pękanie łupiny nasiennej. Dopiero po pęknięciu łupiny nasiennej możliwe są wzrost korzenia zarodkowego, wzrost pędu zarodkowego i dalszy rozwój rośliny;
- stanowi środowisko reakcji metabolicznych kiełkującego nasienia (m.in. bierze udział w hydrolizie związków zapasowych, które zarodek wykorzystuje podczas wzrostu i rozwoju).

Temperatura jest czynnikiem regulującym kiełkowanie – nasiona nie kiełkują w zbyt niskiej lub w zbyt wysokiej temperaturze. Zakres temperatury, w którym może dojść do kiełkowania nasion, zależy od gatunku rośliny (np. burak i marchew kiełkują w zakresie temperatury między ok. 4°C a ok. 30°C).

Światło wpływa na kiełkowanie nasion wielu gatunków roślin. Nasiona te określa się mianem nasion fotoblastycznych. Wyróżnia się fotoblastię dodatnią, gdy światło stymuluje kiełkowanie nasion, i fotoblastię ujemną, gdy hamuje ono kiełkowanie nasion. U pozostałych gatunków światło nie wpływa na procesy kiełkowania.

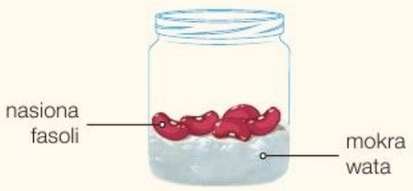
Tlen umożliwia zarodkowi zmianę sposobu pozyskiwania energii – z fermentacji na oddychanie tlenowe. Oddychanie tlenowe jest bowiem bardziej wydajne energetycznie, dzięki czemu siewka może wzrastać.

Doświadczenie

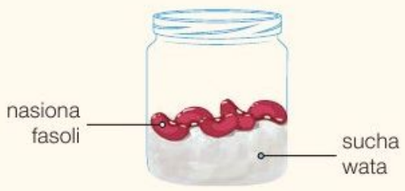
Badanie wpływu obecności wody na kiełkowanie nasion

1. **Problem badawczy:** Czy do kiełkowania nasion fasoli jest potrzebna woda?
2. **Hipoteza badawcza:** Do kiełkowania nasion fasoli jest potrzebna woda.
3. **Przebieg doświadczenia:** Przygotuj sześć słoików jednakowej wielkości, suche nasiona fasoli, watę oraz wodę wodociągową. Do trzech słoików włóż mokrą watę, a do kolejnych trzech – suchą watę. Na powierzchni waty połóż po pięć nasion fasoli. Obie próby pozostaw na trzy dni w temperaturze pokojowej. Pilnuj, by wata w próbie badawczej nie wyschła.

Próba badawcza: Trzy słoiki z mokrą watą i nasionami fasoli.



Próba kontrolna: Trzy słoiki z suchą watą i nasionami fasoli.



4. **Wynik doświadczenia:** Sprawdź, w których słoikach wykiełkowały nasiona fasoli.
5. **Wniosek:** Sformułuj wniosek.

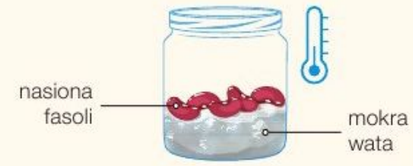
Wyjaśnienie: Nasiona kiełkują wyłącznie w obecności wody, ponieważ jest ona potrzebna we wszystkich fazach kiełkowania, począwszy od fazy pęcznienia.

Doświadczenie

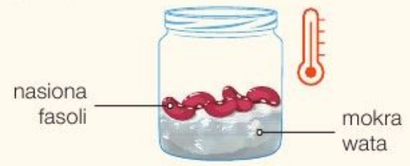
Badanie wpływu niskiej temperatury na kiełkowanie nasion

1. **Problem badawczy:** Czy niska temperatura wpływa na kiełkowanie nasion fasoli?
2. **Hipoteza badawcza:** Niska temperatura hamuje kiełkowanie nasion fasoli.
3. **Przebieg doświadczenia:** Przygotuj sześć słoików jednakowej wielkości, suche nasiona fasoli, watę oraz wodę wodociągową. Do wszystkich słoików włóż mokrą watę i połóż na jej powierzchni po pięć nasion fasoli. Trzy słoiki postaw w lodówce w temperaturze ok. 3°C, a trzy kolejne – w ciemnym pomieszczeniu w temperaturze pokojowej. Odczekaj trzy dni. Pilnuj, by wata w obu próbach nie wyschła.

Próba badawcza: Trzy słoiki z mokrą watą i nasionami fasoli umieszczone w lodówce.



Próba kontrolna: Trzy słoiki z mokrą watą i nasionami fasoli umieszczone w miejscu o temperaturze pokojowej.



4. **Wynik doświadczenia:** Sprawdź, w którym słoiku wykiełkowały nasiona fasoli.
5. **Wniosek:** Sformułuj wniosek.

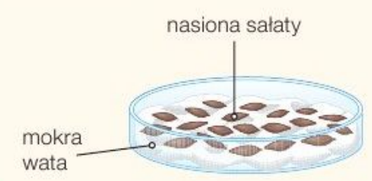
Wyjaśnienie: Nasiona kiełkują tylko w temperaturze optymalnej dla działania enzymów uczestniczących w procesach kiełkowania. Niska temperatura hamuje aktywność tych enzymów.

Doświadczenie

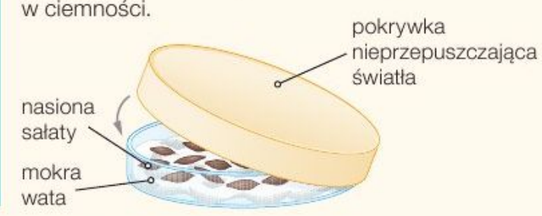
Badanie wpływu światła na kiełkowanie nasion

1. **Problem badawczy:** Czy do kiełkowania nasion sałaty jest potrzebne światło?
2. **Hipoteza badawcza:** Do kiełkowania nasion sałaty jest potrzebne światło.
3. **Przebieg doświadczenia:** Przygotuj sześć szalek Petriego, nasiona sałaty, watę oraz wodę wodociągową. Wyłóż szalki mokrą watą i połóż na jej powierzchni po 20 nasion sałaty. Trzy szalki umieść na trzy dni w oświetlonym miejscu, a trzy kolejne – w ciemności, np. pod kartonem. Pilnuj, by wata w obu próbach nie wyschła.

Próba badawcza: Trzy szalki Petriego z mokrą watą i nasionami sałaty umieszczone w oświetlonym miejscu.



Próba kontrolna: Trzy szalki Petriego z mokrą watą i nasionami sałaty umieszczone w ciemności.



4. **Wynik doświadczenia:** Sprawdź, w których szalkach wykiełkowało więcej nasion sałaty.
5. **Wniosek:** Sformułuj wniosek.

Wyjaśnienie: Nasiona sałaty są dodatnio fotoblastyczne, dlatego wydajność ich kiełkowania jest większa w oświetlonym miejscu.

Czynniki wewnętrzne

Do czynników wewnętrznych wpływających na kiełkowanie roślin zalicza się regulatory wzrostu i rozwoju roślin. Wyróżnia się dwie grupy regulatorów kiełkowania:

- **inhibitory kiełkowania** – wstrzymują proces kiełkowania nasion, np. przez hamowanie wytwarzania enzymów katalizujących hydrolizę substancji zapasowych nasienia (m.in. hamują wytwarzanie amylazy, która rozkłada skrobię),
- **związki stymulujące kiełkowanie nasion** – pobudzają wytwarzanie enzymów katalizujących hydrolizę substancji zapasowych nasienia oraz je aktywują (m.in. aktywują lipazy, które rozkładają tłuszcze w nasionach roślin oleistych).



Inhibitory kiełkowania umożliwiają rozprzestrzenianie się roślin – np. hamują kiełkowanie nasion do momentu zjedzenia owoców przez roślinożerców. Dzięki temu nasiona zostają wydalone wraz z odchodami, a nowe rośliny wyrastają z dala od rośliny macierzystej.

Doświadczenie

Badanie wpływu liścieni na wzrost i rozwój siewek fasoli

1. **Problem badawczy:** Czy obecność liścieni wpływa na wzrost i rozwój siewek fasoli?
2. **Hipoteza badawcza:** Prawidłowy wzrost i rozwój siewek fasoli wymaga obecności obu liścieni.
3. **Przebieg doświadczenia:** Przygotuj dziewięć zlewek jednakowej wielkości, dziewięć siewek fasoli z kilkumilimetrowymi korzeniami, ostry nożyk i wodę wodociągową. Trzy siewki pozostaw bez zmian, trzem siewkom odetnij nożykiem jeden liścień, a kolejnym trzem siewkom – oba liścienie. Następnie umieść siewki w zlewkach i pozostaw na siedem dni w oświetlonym miejscu w temperaturze pokojowej.

Próby badawcze: Po trzy zlewki z wodą wodociągową i siewkami fasoli, u których usunięto jeden liścień (próba A) lub dwa liścienie (próba B).

Próba kontrolna: Trzy zlewki z wodą wodociągową i siewkami fasoli, u których pozostawiono dwa liścienie.

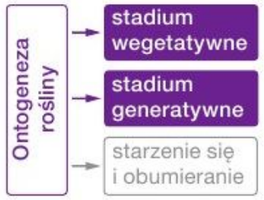


4. **Wynik doświadczenia:** Zmierz długość liści, łodyg i korzeni u wszystkich siewek.
5. **Wniosek:** Sformułuj wniosek.

Polecenia kontrolne

1. Omów wpływ wody, światła i temperatury na kiełkowanie nasion.
2. Opisz trzy fazy kiełkowania nasienia.

3.6. Rozwój wegetatywny i rozwój generatywny roślin



Ważne w tym temacie!

- rola auksyn i etylenu w procesach wzrostu i rozwoju roślin

Rozwój wegetatywny polega na wzroście i rozwoju organów wegetatywnych rośliny – korzeni, łodygi i liści. Podczas tego procesu zachodzi różnicowanie się komórek merystematycznych zarodka w komórki tkanek stałych. Kiedy roślina osiągnie odpowiedni poziom rozwoju wegetatywnego, zaczyna się jej rozwój generatywny. W jego trakcie wykształcają się kwiaty, z których następnie powstają owoce z nasionami (u okrytonasiennych).

Rozwój wegetatywny

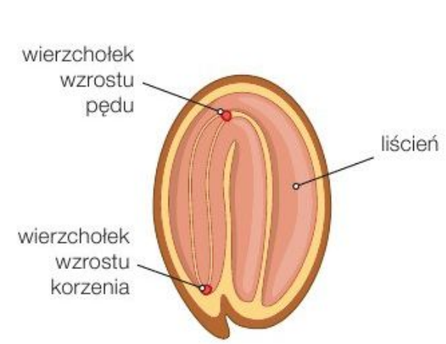
Rozwój wegetatywny rośliny może trwać od kilku lub kilkunastu dni (u roślin jednorocznych) do kilkudziesięciu lat (u roślin drzewiastych). W tym czasie roślina rośnie oraz tworzy organy wegetatywne. Podczas rozwoju wegetatywnego u wszystkich roślin zachodzi wzrost pierwotny, a u niektórych gatunków – także wzrost wtórny.

Wzrost pierwotny roślin

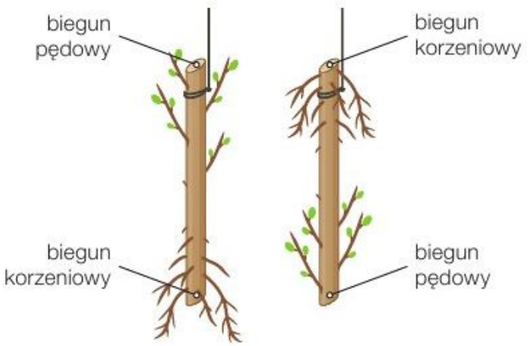
Wzrost pierwotny to w głównej mierze przyrost pędu i korzenia rośliny na długość. Za wzrost pierwotny roślin odpowiadają **wierzchołki (stożki) wzrostu korzenia i pędu**. Są one zbudowane z komórek merystematycznych, które nieustannie dzielą się mitotycznie. Dzięki temu wierzchołki wzrostu wytwarzają wciąż nowe komórki merystematyczne, z których część ulega specjalizacji w komórki tkanek stałych. Wierzchołki wzrostu są również źródłem fitohormonów regulujących procesy wzrostu i rozwoju roślin, m.in. auksyn.

Biegunowość rośliny

Biegunowość polega na występowaniu w roślinie dwóch biegunów: korzeniowego i pędowego, które znajdują się na przeciwległych końcach. Biegunowość rośliny jest zdeterminowana genetycznie, dlatego można ją zauważyć już w stadium zarodka.



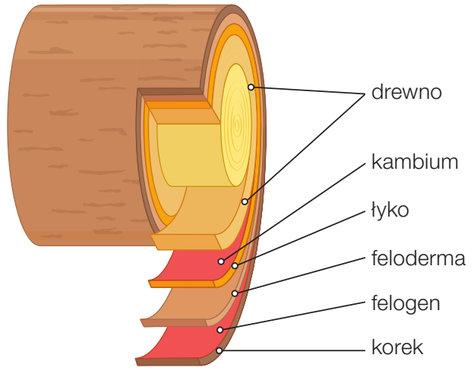
W zarodku rośliny można zaobserwować biegun pędowy z wierzchołkiem wzrostu pędu oraz biegun korzeniowy z wierzchołkiem wzrostu korzenia.



Biegun korzeniowy i biegun pędowy fragmentu gałązki dojrzałej rośliny na pozór wyglądają tak samo. Różnią się one jednak pod względem fizjologicznym: na biegunie korzeniowym zawsze powstaną korzenie, a na biegunie pędowym – pędy.

Wzrost wtórny roślin

Część gatunków roślin oprócz wzrostu pierwotnego wykazuje również wzrost wtórny, czyli wtórny przyrost na grubość. Jest on możliwy dzięki odróżnicowaniu się komórek tkanek stałych i wykształceniu się wtórnych tkanek merystematycznych – **miazgi (kambium) i miazgi korkotwórczej (felogenu)**. Wskutek działalności kambium rośliny wytwarzają wtórne tkanki przewodzące – drewno wtórne i łyko wtórne. Dzięki felogenowi rośliny uzyskują korkowicę (wtórną tkankę okrywającą), a także mogą osiągać duże rozmiary i żyć wiele lat.



Przekrój przez pień drzewa, czyli przez łodygę o wtórnym przyroście na grubość.

Rozmnażanie wegetatywne roślin

W stadium wzrostu wegetatywnego roślina może rozmnażać się jedynie wegetatywnie. Ten rodzaj rozmnażania polega na tworzeniu się nowych osobników, np. z **bulw**, **cebul**, **kłączy** i **rozłogów**. Rozmnażanie wegetatywne zapewnia szybkie rozprzestrzenianie się gatunku, jednak wszystkie osobniki potomne mają identyczny zestaw genów z rośliną macierzystą. Nie jest to korzystne, ponieważ w niesprzyjających warunkach środowiska populacja złożona z jednolitych genetycznie osobników może być narażona na wyginięcie.



Do rozmnażania wegetatywnego służą także specjalne struktury zwane rozmnóżkami. Występują one głównie u mchów, ale są też wytwarzane przez niektóre rośliny naczyniowe, np. żyworódkę.

Wpływ fitohormonów na rozwój wegetatywny roślin

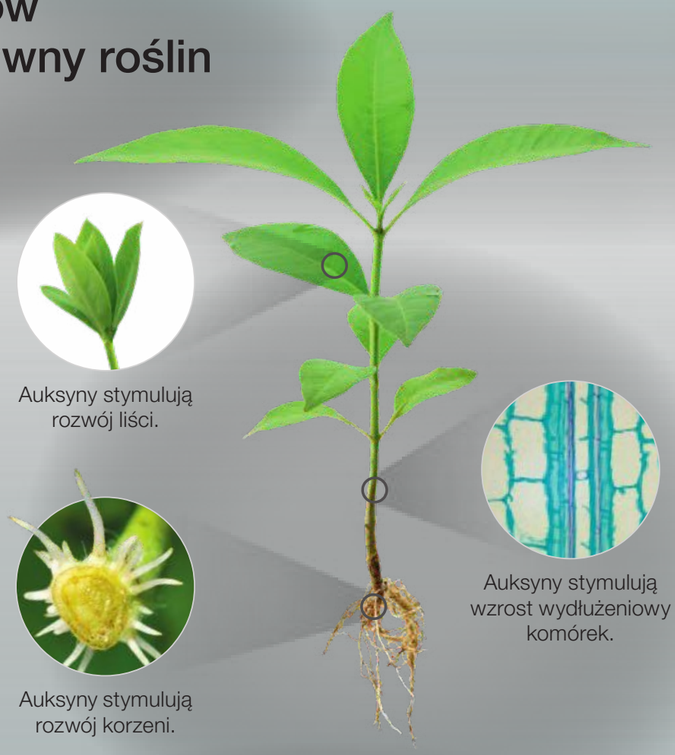
Różnicowanie się i wzrost organów wegetatywnych są regulowane m.in. przez auksyny oraz etylen.

Wzrost pierwotny korzeni i pędów

Auksyny stymulują:

- rozwój ulistnienia,
- wzrost wydłużeniowy komórek pędu i korzenia,
- powstawanie zawiązków korzeni bocznych i przybyszowych.

Etylen działa hamująco na procesy stymulowane przez auksyny.



Auksyny stymulują rozwój liści.

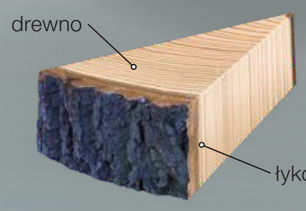
Auksyny stymulują rozwój korzeni.

Auksyny stymulują wzrost wydłużeniowy komórek.

Wzrost wtórny korzeni i pędów

Auksyny pobudzają podziały komórkowe kambium, co pociąga za sobą intensywne wytwarzanie wtórnych tkanek przewodzących.

Etylen hamuje wzrost wydłużeniowy łodygi i stymuluje jej przyrost na grubość.



Auksyny stymulują wytwarzanie drewna wtórnego i łyka wtórnego.

Dominacja wierzchołkowa

Dominacja wierzchołkowa to zjawisko, które polega na hamowaniu rozwoju pąków bocznych przez auksyny syntetyzowane w stożku wzrostu pąka wierzchołkowego. Dominacja wierzchołkowa blokuje tworzenie się odgałęzień łodygi. Odgałęzienia łatwiej tworzą się w dolnej części łodygi, ponieważ jest tam znacznie mniejsze stężenie auksyn (auksyny są transportowane od stożka wzrostu pędu, poprzez łyko, do korzeni). To dlatego pędy większości roślin przyjmują kształt stożka.

Odcięcie pąka wierzchołkowego zmniejsza ilość auksyn w łodydze, co z kolei wpływa na rozwój pąków bocznych i rozkrzewianie się rośliny. Przycinanie pąków wierzchołkowych stosuje się m.in. w ogrodnictwie do rozkrzewiania roślin.



Przycinana tuja.

Naturalna tuja.

Doświadczenie

Badanie roli stożka wzrostu pędu w dominacji wierzchołkowej

1. **Problem badawczy:** W jaki sposób obecność stożka wzrostu pędu wpływa na rozwój pąków bocznych u pomidora?
2. **Hipoteza badawcza:** Obecność stożka wzrostu pędu hamuje rozwój pąków bocznych u pomidora.
3. **Przebieg doświadczenia:** Przygotuj sześć doniczek z sadzonkami pomidora. Trzem roślinom odetnij wierzchołki wzrostu pędu, a trzy pozostałe rośliny pozostaw bez zmian. Wszystkie doniczki umieść w dobrze nasłonecznionym pomieszczeniu na dwa tygodnie. Pamiętaj o podlewaniu sadzonek.

Próba badawcza: Trzy sadzonki pomidora z odciętymi stożkami wzrostu pędu.



Próba kontrolna: Trzy sadzonki pomidora z zachowanymi stożkami wzrostu pędu.



4. **Wynik doświadczenia:** Sprawdź wygląd obu roślin.
5. **Wniosek:** Sformułuj wniosek.

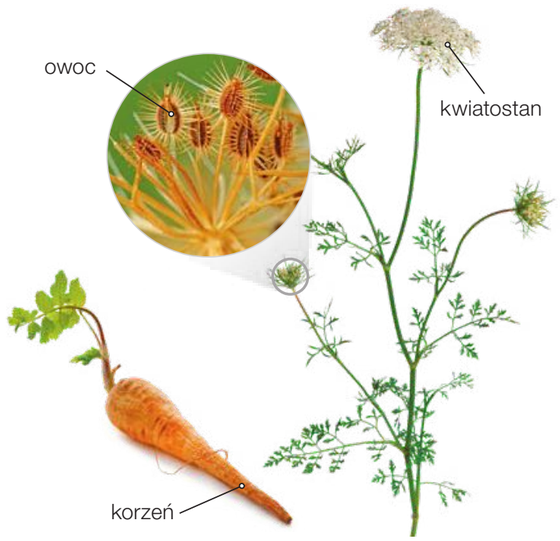
Wyjaśnienie: Stożek wzrostu pędu produkuje auksyny, które spływają w dół łodygi i hamują rozwój pąków bocznych.

Rozwój generatywny

Rozwój generatywny obejmuje **kwitnienie** (wytwarzanie przez roślinę kwiatów) i **owocowanie** (w jego trakcie powstają nasiona oraz owoce).

Kwitnienie

Po zakończeniu wzrostu wegetatywnego roślina zakwita, czyli wytwarza **kwiaty** – organy rozmnażania płciowego. Na kwitnienie mają wpływ czynniki wewnętrzne oraz zewnętrzne. Głównym czynnikiem wewnętrznym jest osiągnięcie przez roślinę odpowiedniego wieku i rozmiaru. Uruchamiane są wtedy czynniki kwitnienia, m.in. fitohormony, które powodują przejście rośliny do fazy generatywnej. Spośród czynników zewnętrznych ważna jest m.in. temperatura.



Marchew jest rośliną dwuletnią. W pierwszym roku wegetacji wytwarza tylko organy wegetatywne. W drugim roku zakwita i wytwarza owoce.

Owocowanie

W wyniku rozmnażania płciowego z kwiatów powstają owoce. Składają się one z **owocni** i **nasion**. U większości gatunków roślin owoce tworzą się z zalążni słupka. Ściana zalążni przekształca się wówczas w owocnię, a zalążki – w nasiona. U niektórych gatunków w wykształcaniu owoców biorą również udział inne części kwiatu, m.in. dno kwiatowe.

Do **zawiązania owocu** dochodzi w wyniku zapylenia. Ziarna pyłku zawierają liczne fitohormony, m.in. auksyny. Powodują one rozrost zalążni i intensywny rozwój tkanek owocu. Dodatkowym źródłem fitohormonów są elementy słupka i same zalążki. Po zapłodnieniu z zalążków tworzą się nasiona – rozwijają się zarodek, bielmo oraz łupina nasienna. Wszystkie części nasienia produkują auksyny, które powodują szybki rozrost owocni, głównie na skutek zwiększania się objętości komórek. Następnie **owoc dojrzewa**. W przypadku owoców mięsistych dojrzewanie polega na rozkładzie skrobi na cukry proste (glukozę i fruktozę), zwiększaniu się miękkości owocni, rozkładzie chlorofilu oraz syntezie barwników (m.in. karotenoidów). W regulacji dojrzewania owoców biorą również udział fitohormony. Etylen przyspiesza dojrzewanie owoców, z kolei auksyny opóźniają ten proces.



Niektóre rośliny wytwarzają owoce beznasienne (partenokarpiczne). Owoce te nie powstają w wyniku zapłodnienia, dlatego nie mają nasion. Powstawanie owoców partenokarpicznych można wywołać sztucznie, np. przez spryskiwanie roślin roztworami auksyn.

Dowiedz się więcej

Rośliny monokarpiczne i polikarpiczne

Rośliny monokarpiczne kwitną i wytwarzają owoce tylko raz w ciągu całego życia. Należą do nich rośliny jednoroczne, dwuletnie oraz – rzadko – byliny. Z kolei do roślin polikarpicznych, czyli takich, które kwitną i owocują wiele razy w ciągu życia, należą rośliny drzewiaste oraz większość bylin.



Do roślin monokarpicznych należy koper ogrodowy. Jest to roślina jednoroczna, która wytwarza owoce suche – rozłupnie.



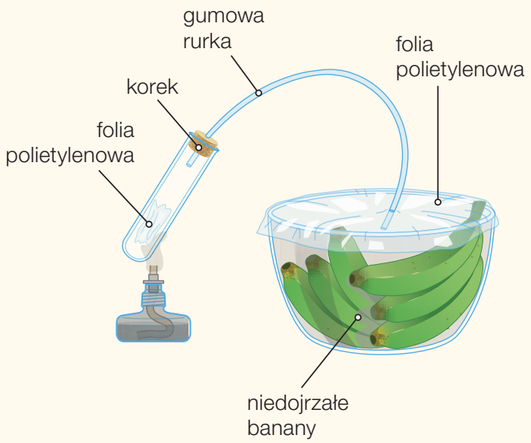
Do roślin polikarpicznych należy jabłoń domowa. Jest to wieloletnia roślina drzewiasta, która wytwarza owoce mięsiste – jabłka.

Doświadczenie

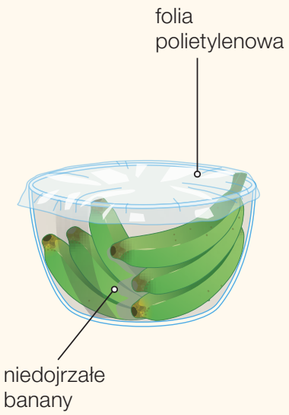
Badanie wpływu etylenu na dojrzewanie owoców

1. **Problem badawczy:** Czy etylen przyspiesza dojrzewanie bananów (owoców bananowca)?
2. **Hipoteza badawcza:** Etylen przyspiesza dojrzewanie bananów.
3. **Przebieg doświadczenia:** Przygotuj dwa szklane naczynia jednakowej wielkości, probówkę z korkiem, gumową lub szklaną rurkę, palnik, niedojrzałe banany oraz folię polietylenową. Do obu naczyń włóż po sześć bananów, a następnie szczelnie oklej naczynia folią. Gdy to zrobisz, wrzuć do probówki skrawki folii polietylenowej i zamknij probówkę korkiem z rurką. Połącz probówkę z jednym naczyniem i zacznij podgrzewać ją nad palnikiem. Kiedy cała folia w probówce zamieni się w gaz, wyłącz palnik i pozostaw oba naczynia na dwa dni w jednakowych warunkach zewnętrznych (oświetlenie i temperatura).

Próba badawcza: Zamknięte naczynie z niedojrzałymi bananami, połączone za pomocą rurki z probówką z etylenem.



Próba kontrolna: Zamknięte naczynie z niedojrzałymi bananami.



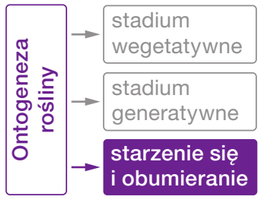
4. **Wynik doświadczenia:** Sprawdź, w którym naczyniu banany szybciej dojrzały.
5. **Wniosek:** Sformułuj wniosek.

Wyjaśnienie: Polietylen (folia) to polimer otrzymywany z etylenu. W wyniku podgrzewania polietylen topi się i rozkłada na gazowy etylen. Etylen – za pośrednictwem rurki – dostaje się do naczynia z bananami i przyspiesza ich dojrzewanie.

Polecenia kontrolne

1. Podaj różnicę między rozwojem wegetatywnym a rozwojem generatywnym roślin.
2. Scharakteryzuj wpływ auksyn na wzrost i rozwój roślin.
3. Na podstawie dostępnych źródeł przygotuj prezentację dotyczącą zastosowania auksyn i etylenu w rolnictwie, w tym w ogrodnictwie.
4. Wyjaśnij, dlaczego korony drzew mają pokrój stożka. W odpowiedzi uwzględnij mechanizm działania odpowiedniego fitohormonu.

3.7. Spoczynek i starzenie się roślin



Ważne w tym temacie!

- rola etylenu w procesach spoczynku i starzenia się roślin

Długość życia roślin jest cechą gatunkową. Rośliny jednoroczne żyją jeden sezon wegetacyjny i obumierają po wytworzeniu nasion – struktur przetrwalnikowych, kiełkujących po okresie spoczynku. Rośliny dwuletnie obumierają pod koniec drugiego sezonu wegetacyjnego, również po jednorazowym wytworzeniu nasion. Rośliny wieloletnie mogą żyć nawet kilka tysięcy lat i wielokrotnie przechodzić okresy spoczynku. Od momentu osiągnięcia dojrzałości wydają one nasiona zwykle raz w roku.

Stan spoczynku rośliny

Stan spoczynku rośliny to odwracalne zahamowanie jej wzrostu i metabolizmu. Stan ten stanowi przystosowanie do przetrwania w niesprzyjających warunkach środowiska. W spoczynek mogą zapadać całe rośliny lub ich części, m.in. pędy nadziemne, pąki, bulwy, kłącza i nasiona. Wyróżnia się dwa rodzaje spoczynku roślin:

- **spoczynek względny**, spowodowany przez czynniki środowiska, np. niską temperaturę, niedobór światła lub suszę; spoczynek ten ustępuje wraz z nadejściem warunków korzystnych dla wzrostu i rozwoju,
- **spoczynek bezwzględny**, uwarunkowany mechanizmami wewnętrznymi nasienia; spoczynek ten nie ustępuje wraz z nadejściem korzystnych warunków środowiska.

Spoczynek zimowy drzew liściastych

W umiarkowanej strefie klimatycznej zimowy spoczynek drzew liściastych jest spowodowany m.in. niską temperaturą i krótkimi dniami. Ograniczenie metabolizmu oraz procesów wzrostowych zabezpiecza drzewa przed utratą wody i przemarznięciem, a w konsekwencji – przed śmiercią.

Opadanie liści jesienią jest stymulowane działaniem etylenu.

Procesy prowadzące do rozpoczęcia i zakończenia spoczynku zimowego drzew liściastych

LATO	JESIEŃ	ZIMA	WIOSNA
W połowie lata dochodzi do zahamowania wzrostu wydłużeniowego pędów i wytwarzania pąków spoczynkowych.	Wczesną jesienią etylen stymuluje opadanie owoców i liści. Pod koniec jesieni drzewa przechodzą w stan spoczynku bezwzględnego.	Spoczynek bezwzględny ustępuje po długotrwałym działaniu niskiej temperatury (zwykle w styczniu). Drzewa przechodzą w stan spoczynku względnego.	Spoczynek względny zostaje przerwany wraz z nadejściem wiosny. Wówczas rozwijają się pąki spoczynkowe, a drzewa rozpoczynają okres wegetacyjny.

Starzenie się roślin

Każda roślina podlega procesom starzenia się, które ostatecznie prowadzą do jej śmierci. W ciągu jednego okresu wegetacyjnego procesy starzenia się dotyczą całej rośliny, jej części nadziemnej lub niektórych organów, np. liści. Śmierć całej rośliny jest często uwarunkowana genetycznie. Rośliny monokarpiczne (głównie jednoroczne i dwuletnie) obumierają niedługo po wytworzeniu owoców. Mechanizm, który prowadzi do śmierci roślin monokarpicznych, nie jest znany. Przypuszcza się, że śmierć zachodzi w wyniku wyczerpania energetycznego rośliny po wytworzeniu kwiatów i owoców, a także wskutek syntezy substancji hamujących jej dalszy wzrost i rozwój.

Mechanizm starzenia się i śmierci roślin polikarpicznych również nie jest znany. Jedna z hipotez zakłada, że rośliny te mogłyby żyć nieskończenie długo, gdyby nie chorowały, nie doznawały urazów oraz nie podlegały niekorzystnym warunkom środowiska.



Agawa to wieloletnia roślina monokarpiczna. Wytwarza kwiaty i owoce tylko raz (po mniej więcej 10 latach wzrostu wegetatywnego), a następnie obumiera. Jeśli nie dojdzie do wytworzenia kwiatów, to agawa może żyć ponad dwa razy dłużej.

Wpływ etylenu na spoczynek i starzenie się roślin

Spoczynek i starzenie się roślin są regulowane za pomocą fitohormonów, m.in. etylenu. Etylen powstaje np. w starzejących się tkankach. Efektem jego wpływu jest powstawanie warstwy odcinającej w obrębie ogonków liściowych i szypułek owoców. Warstwa odcinająca tworzy się w wyniku hydrolizy pektyn, które spajają ze sobą komórki roślinne. Konsekwencją tego procesu jest opadanie liści i owoców.



Warstwa odcinająca powstaje w miejscu, w którym nasada liścia styka się z łodygą.

Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij, na czym polega przystosowawcze znaczenie spoczynku drzew liściastych rosnących w klimacie umiarkowanym.
2. Określ rolę etylenu w spoczynku i starzeniu się roślin.

3.8. Ruchy roślin

Ważne w tym temacie!

- nastie i tropizmy jako reakcje roślin na bodźce (światło, temperatura, grawitacja, bodźce mechaniczne i chemiczne)
- rola auksyn w ruchach wzrostowych roślin

Większość roślin to organizmy na stałe przytwierdzone do podłoża. Mimo że rośliny nie przemieszczają się w przestrzeni, to ich organy (lub części organów) są zdolne do wykonywania ruchów.

Do ruchów wykonywanych przez rośliny należą głównie tropizmy i nastie, które zachodzą zgodnie z mechanizmem wzrostowym (ruchy wzrostowe) lub turgorowym (ruchy turgorowe).

Ruchy roślin	
tropizmy	**nastie**
• ruchy zależne od kierunku działania bodźca • zwykle ruchy wzrostowe: – spowodowane nierównomiernym wzrostem dwóch stron organu – powolne i nieodwracalne	• ruchy niezależne od kierunku działania bodźca • zwykle ruchy turgorowe: – spowodowane zmianą uwodnienia komórek – szybkie i odwracalne

Tropizmy

Tropizmy to ruchy organów roślinnych pojawiające się w odpowiedzi na działający kierunkowo bodziec zewnętrzny. Kierunek ruchu organu zależy od kierunku działania bodźca. Jeśli wygięcie organu zachodzi w kierunku działania bodźca, to mamy do czynienia z **tropizmem dodatnim**, a jeśli wygięcie zachodzi w stronę przeciwną – z **tropizmem ujemnym**. W zależności od rodzaju bodźca wyróżnia się kilka rodzajów tropizmów, m.in.:

- **fototropizm** – to reakcja rośliny na jednostronne oświetlenie. Fototropizm może być dodatni, kiedy pędy rośliny wyginają się w stronę światła, lub ujemny, kiedy korzenie wyginają się w stronę przeciwną;
- **geotropizm** – to reakcja rośliny na siłę grawitacji. Geotropizm dodatni występuje w korzeniu, który rośnie w kierunku działania siły grawitacji. Z kolei geotropizm ujemny występuje w łodydze, która rośnie w kierunku przeciwnym do działania siły grawitacji;
- **chemotropizm** – to reakcja rośliny na działanie substancji chemicznych. Jego odmianą jest hydrotropizm, czyli reakcja na obecność wody w podłożu. Ten rodzaj ruchu wykonują korzenie, które w trakcie wzrostu kierują się w stronę wody;
- **tigmotropizm** – to reakcja rośliny na bodźce mechaniczne, np. na ucisk. Przykładem tigmotropizmu jest owijanie się wąsów czepnych fasoli wokół podpory.

Większość tropizmów zachodzi zgodnie z mechanizmem wzrostowym. Mechanizm ten jest uwarunkowany przede wszystkim działaniem auksyn, które stymulują wzrost wydłużeniowy komórek. Nierównomierne rozmieszczenie auksyn w łodydze lub w korzeniu sprawia, że jedna strona organu rośnie szybciej niż druga.



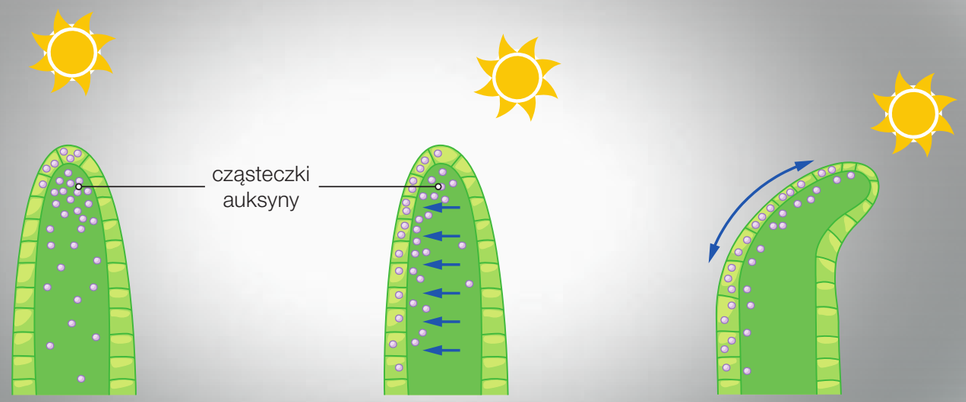
Fototropizm dodatni polega na wyginaniu się pędów rośliny w kierunku światła. Przykładem takiego fototropizmu jest heliotropizm kwiatostanów i liści słonecznika, czyli wyginanie się ich w kierunku słońca.

Fototropizm i geotropizm

Fototropizm i geotropizm to ruchy organów roślinnych zachodzące zgodnie z mechanizmem wzrostowym.

Fototropizm dodatni pędu

W reakcji fototropicznej biorą udział przede wszystkim auksyny. Są one produkowane w stożku wzrostu pędu i transportowane w dół łodygi. Jedna z hipotez zakłada, że przy jednostronnym oświetleniu auksyny przemieszczają się na zacienioną stronę łodygi, gdzie powodują wzrost wydłużeniowy komórek w strefie poniżej stożka wzrostu. Dzięki temu zacieniona strona łodygi rośnie szybciej, a pęd wygina się w kierunku światła.



Przy równomiernym oświetleniu auksyny produkowane w stożku wzrostu przemieszczają się tylko w dół łodygi.

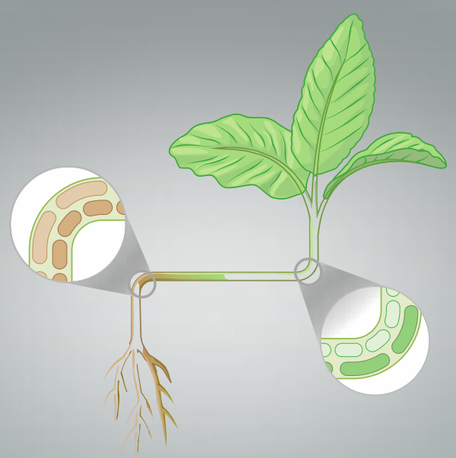
Przy jednostronnym oświetleniu auksyny produkowane w stożku wzrostu przemieszczają się na stronę zacienioną i w dół łodygi.

Auksyny stymulują wzrost wydłużeniowy komórek po stronie zacienionej, co powoduje wygięcie łodygi w stronę światła.

Geotropizm korzenia i pędu

Reakcja geotropiczna jest wywołana nierównomiernym rozmieszczeniem auksyn po obu stronach korzenia i łodygi. Korzeń i pęd charakteryzują się różną wrażliwością na działanie auksyn. Korzeń rośnie przy bardzo niskim stężeniu auksyn (10^{-12}–10^{-9} g/cm^3), a łodyga – przy znacznie wyższym (10^{-8}–10^{-4} g/cm^3).

Korzeń
W roślinie umieszczonej w pozycji horyzontalnej na skutek działania siły grawitacji auksyny gromadzą się na dolnej stronie korzenia. Ich duże stężenie hamuje wzrost komórek, wskutek czego górna strona organu rośnie szybciej, a korzeń wygina się w kierunku działania siły grawitacji.



Łodyga
Na skutek działania siły grawitacji auksyny gromadzą się na dolnej stronie łodygi. Ich duże stężenie stymuluje wzrost komórek, wskutek czego górna strona organu rośnie wolniej, a łodyga wygina się w kierunku przeciwnym do działania siły grawitacji.

Doświadczenie – jak to odkryto?

Odkrywanie działania fototropizmu

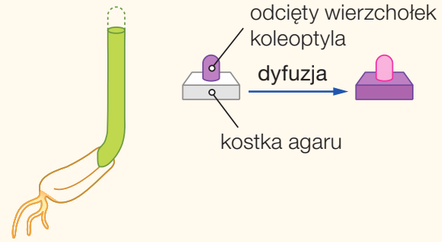
Pierwsze obserwacje fototropizmu przeprowadził w 1880 r. Karol Darwin. Obiektem jego badań były koleoptyle (pierwsze liście) traw poddane działaniu światła kierunkowego. Na podstawie wyników obserwacji Darwin wywnioskował, że miejscem odbioru bodźca świetlnego jest wierzchołek koleoptyla, który wytwarza czynnik przemieszczający się w dół rośliny i pobudzający jej wzrost. Istnienie substancji wpływającej na wzrost koleoptyla owsa wykazał doświadczalnie Frits Warmolt Went [wym. fric łormolt łent] w 1928 r.

1 **Problem badawczy:** Czy fototropizm koleoptyla owsa jest spowodowany substancją wytwarzaną w wierzchołku koleoptyla?

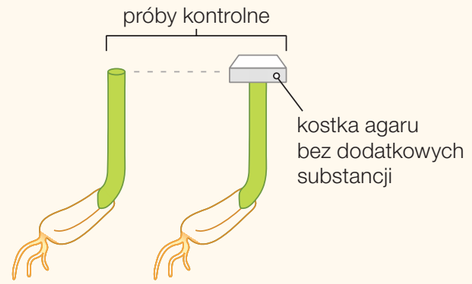
2 **Hipoteza badawcza:** Fototropizm koleoptyla owsa jest spowodowany substancją wytwarzaną w wierzchołku koleoptyla.

3 **Przebieg doświadczenia:**

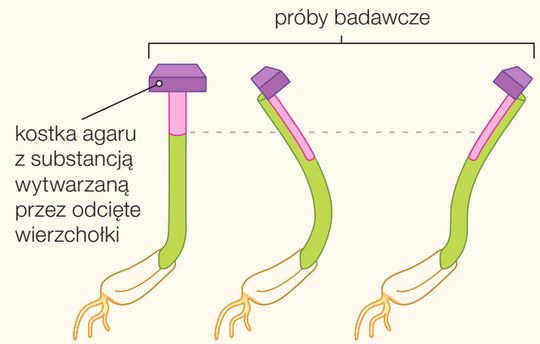
- Went odcinał wierzchołki koleoptyli owsa, które zostały poddane działaniu światła, i umieszczał je na agarowych kostkach. Substancja wytwarzana w wierzchołkach dyfundowała do agaru.



- Następnie badacz konstruował próby kontrolne, które umieszczał w ciemności. Stanowiły je koleoptyle pozbawione wierzchołków. Na szczycie niektórych koleoptyli Went nakładał kostkę agarową, która nie zawierała dodatkowych substancji.



- Próby badawcze również były umieszczane w ciemności. Stanowiły je koleoptyle pozbawione wierzchołków z nałożonymi na szczycie kostkami agarowymi nasiąkniętymi substancją wytwarzaną przez odcięte wierzchołki. Kostki nakładano symetrycznie i asymetrycznie.



4 **Wynik doświadczenia:** Koleoptyle z prób kontrolnych pozbawione substancji wytwarzanej w wierzchołku nie wykazywały ruchów fototropicznych. Natomiast koleptyle z próby badawczej z kostkami agarowymi nakładanymi asymetrycznie wykazywały ruchy fototropiczne – mimo braku światła.

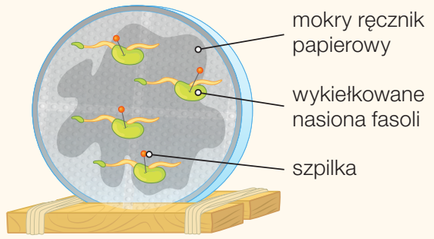
5 **Wniosek:** Substancja wytwarzana w wierzchołku koleoptyli owsa jest odpowiedzialna za ruchy fototropiczne koleoptyli.

Doświadczenie

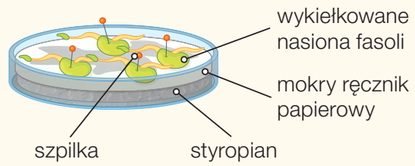
Badanie różnic w geotropizmie korzenia i pędu

1. **Problem badawczy:** W jaki sposób grawitacja wpływa na geotropizm korzenia i pędu fasoli?
2. **Hipoteza badawcza:** Pod wpływem grawitacji korzeń fasoli wykazuje geotropizm dodatni, a pęd – geotropizm ujemny.
3. **Przebieg doświadczenia:** Przygotuj sześć szalek Petriego, styropian, ręczniki papierowe, szpilki i kilka wykiełkowanych nasion fasoli. Następnie włóż styropian do szalek i połóż na nim mokre ręczniki papierowe. Do ręczników przymocuj szpilkami po kilka nasion fasoli. Pozostaw szalki w ciemnym i ciepłym miejscu. Pilnuj, aby w trakcie obserwacji ręczniki papierowe nie wyschły.

Próba badawcza: Trzy szalki z wykiełkowanymi nasionami fasoli ustawione pionowo.



Próba kontrolna: Trzy szalki z wykiełkowanymi nasionami fasoli ustawione poziomo.



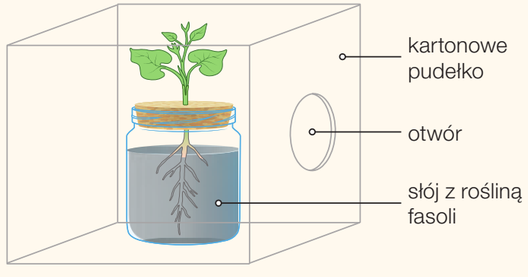
4. **Wynik doświadczenia:** Sprawdź wygląd roślin w obu próbach.
5. **Wniosek:** Sformułuj wniosek.

Doświadczenie

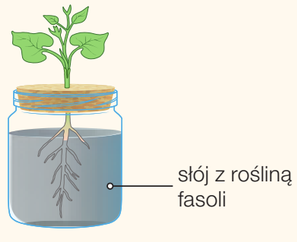
Badanie różnic w fototropizmie korzenia i pędu

1. **Problem badawczy:** W jaki sposób światło kierunkowe wpływa na fototropizm korzenia i pędu fasoli?
2. **Hipoteza badawcza:** Pod wpływem światła kierunkowego korzeń fasoli wykazuje fototropizm ujemny, a pęd – fototropizm dodatni.
3. **Przebieg doświadczenia:** Przygotuj sześć młodych roślin fasoli, sześć słoi z korkami, wodę wodociągową oraz trzy kartony z wyciętym otworem. Wszystkie słoje napełnij wodą. Następnie wytnij w korkach otwory i umieść rośliny w słojach – zgodnie z poniższym rysunkiem. Trzy słoje włóż do kartonowych pudełek. Obie próby pozostaw na trzy dni w równomiernie oświetlonym pomieszczeniu.

Próba badawcza: Trzy młode rośliny fasoli oświetlane światłem kierunkowym.



Próba kontrolna: Trzy młode rośliny fasoli oświetlane równomiernie.



4. **Wynik doświadczenia:** Sprawdź wygląd wszystkich roślin.
5. **Wniosek:** Sformułuj wniosek.

Nastie

Nastie to reakcje ruchowe organów roślinnych niezależne od kierunku działania bodźca. Są one zwykle ruchami turgorowymi. Zmiany turgoru zachodzą często w wyspecjalizowanych komórkach rozmieszczonych w określonych miejscach organu. Ruchy takie są zwykle przejściowe i odwracalne.

Nastie mogą mieć również charakter ruchów wzrostowych. Przykładem jest otwieranie i zamykanie się kwiatów w odpowiedzi na zmianę temperatury otoczenia (termonastia). U większości roślin podwyższenie temperatury przyspiesza wzrost wewnętrznej strony nasady płatków korony, a w konsekwencji – ich odchylanie się na zewnątrz i otwieranie się kwiatu. Obniżenie temperatury otoczenia wywołuje reakcję odwrotną: hamuje ono wzrost wewnętrznej strony nasady płatków i powoduje zamykanie się kwiatu.

W podobny sposób kwiaty niektórych roślin reagują na działanie światła i ciemności (fotonastie). Kwiaty jednych roślin otwierają się w dzień, a innych – w nocy.

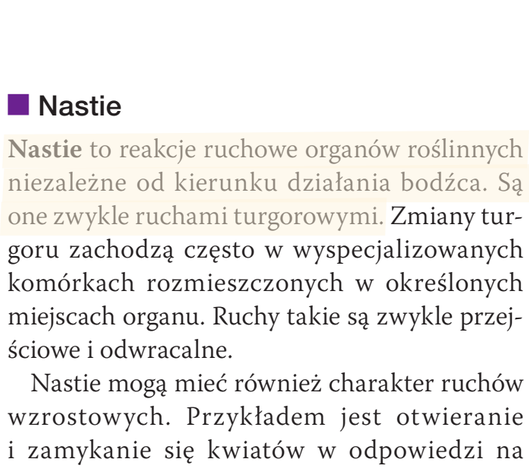
Rodzaje nastii

Rodzaj bodźca	Rodzaj ruchu
substancja chemiczna	chemonastia
światło	fotonastia
bodziec mechaniczny	sejsmonastia
temperatura	termonastia

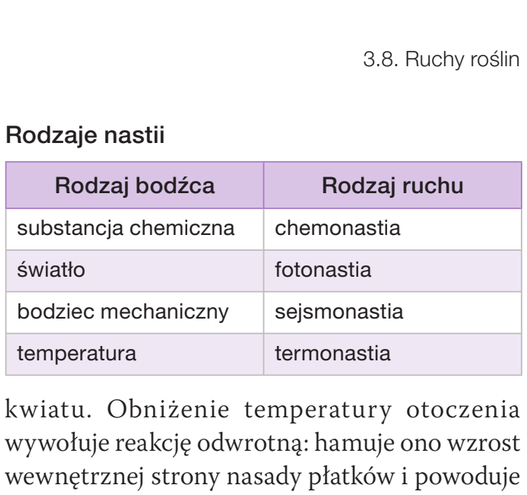
Sejsmonastia liści mimozy

Przykładem nastii, której podstawą są zmiany turgoru komórek, jest składanie się liści mimozy w odpowiedzi na działanie bodźca mechanicznego, np. dotyku (sejsmonastia).

Mimoza z rozłożonymi liśćmi



Mimoza ze złożonymi liśćmi



U nasady ogonków liściowych i listków (wchodzących w skład liści) mimozy znajdują się poduszeczki liściowe zbudowane z komórek miękiszowych. Dotknięcie liścia sprawia, że z komórek poduszeczki liściowej, które znajdują się na górnej stronie liścia, wypływają jony, dzięki czemu potencjał wody w komórkach wzrasta. Wówczas woda przemieszcza się z tych komórek do komórek położonych na spodniej stronie liścia. Turgor komórek budujących poduszeczki liściowe po obu stronach liścia się zmienia, co objawia się błyskawicznym złożeniem listków i opuszczeniem ogonka liściowego. Dzięki temu roślina wydaje się zwiędła, a tym samym – niesmaczna dla roślinożercy. Po upływie kilkunastu minut liście mimozy powracają do stanu wyjściowego.

Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij, na czym polega różnica między tropizmem a nastią.
2. Omów mechanizm geotropizmu w pędach i korzeniach roślin.

Podsumowanie

1 Zasada transportu wody w roślinie

Potencjał wody – Ψ_s (psi) – miara zdolności komórki do pobierania lub oddawania wody na drodze osmozy. Potencjał wody zazwyczaj jest wyrażany w megapaskalach (MPa).

Transport wody w roślinie odbywa się dzięki różnicy potencjałów wody roztworu glebowego, roztworu w tkankach rośliny i atmosfery – woda przepływa z roztworu o wyższym potencjale wody do roztworu o niższym potencjale wody. Najwyższą wartość ma potencjał wody w glebie, a najniższą – w atmosferze. Różnica potencjałów powoduje, że woda stale wnika z gleby do korzeni, przepływa przez łodygi i liście, a następnie przedostaje się do atmosfery w postaci pary wodnej.

2 Sposoby transportu wody w tkankach

- **Transport apoplastyczny** – odbywa się wzdłuż ścian komórkowych w przestrzeniach między włóknami celulozy oraz w przestrzeniach międzykomórkowych.
- **Transport symplastyczny** – zachodzi przez protoplasty sąsiadujących komórek; woda przekracza błonę komórkową tylko raz, a dalej jest przenoszona za pomocą plazmodesm.
- **Transport transmembranowy** – odbywa się przez protoplasty sąsiadujących komórek; woda przekracza błonę komórkową za każdym razem, gdy przepływa z komórki do komórki.

3 Porównanie siły ssącej i parcia korzeniowego

	Siła ssąca	Parcie korzeniowe
Rodzaj mechanizmu	mechanizm bierny – wyparowywanie wody z powierzchni liści	mechanizm czynny – aktywny transport jonów i związków osmotycznie czynnych do elementów przewodzących drewna
Źródło energii do zajścia procesu	nie wymaga dostarczenia energii (mechanizm bierny)	rozkład ATP
Wartość ciśnienia hydrostatycznego	ujemna	dodatnia
Sposób utraty wody	transpiracja	gutacja lub wiosenny płacz roślin

4 Wpływ czynników zewnętrznych na bilans wodny roślin

Czynniki zewnętrzne wypływające na bilans wodny roślin			
temperatura	**wiatr**	**światło**	**dostępność wody glebowej**
Wzrost temperatury prowadzi do zwiększenia utraty wody w wyniku transpiracji.	Wiatr sprawia, że transpiracja zachodzi intensywniej, co nasila utratę wody.	Im wyższe natężenie światła, tym większa utrata wody z rośliny w wyniku transpiracji.	Niedobór wody w glebie skutkuje zmniejszeniem intensywności pobierania wody przez korzenie.

5 Susza fizjologiczna

Susza fizjologiczna – stan środowiska zewnętrznego, który sprawia, że występująca w podłożu woda jest niedostępna lub słabo dostępna dla roślin, np. w wyniku zamarzania wody w glebie lub w przypadku silnego zasolenia gleby.

Wpływ suszy fizjologicznej na rośliny	
spowodowanej zamarzaniem wody w glebie	**spowodowanej wzrostem zasolenia gleby**
• Rośliny chronią się przed nią przez ograniczenie transpiracji: – rośliny szpilkowe ograniczają transpirację dzięki kseromoficznej budowie liści, – rośliny okrytonasienne ograniczają transpirację dzięki zrzucaniu liści na zimę (gatunki drzewiaste) oraz wytwarzaniu organów przetrwalnikowych (np. kłączy, cebul) lub korzeni spichrzowych (byliny i rośliny dwuletnie).	• Rośliny słonolubne chronią się przed nią przez: – magazynowanie soli w wakuolach, – magazynowanie wody w miękiszu wodnym, – usuwanie nadmiaru soli przez gruczoły solne lub szybko obumierające włoski, które gromadzą duże ilości soli. • U roślin nieprzystosowanych zbyt duże stężenie soli w podłożu skutkuje ujemnym bilansem wodnym, a w konsekwencji – śmiercią.

6 Znaczenie wybranych składników mineralnych dla roślin

Nazwa i symbol pierwiastka	Wybrane funkcje pierwiastka w organizmie rośliny
Azot (N)	• Wchodzi w skład większości związków organicznych. • Powoduje intensywny wzrost organów roślinnych, a także prawidłowy rozwój systemu korzeniowego i nasion.
Siarka (S)	• Wchodzi w skład aminokwasów siarkowych oraz białek – odpowiada za ich prawidłową strukturę trzeciorzędową i czwartorzędową. • Wchodzi w skład niektórych koenzymów, m.in. koenzymu A (Co-A).
Magnez (Mg)	• Wchodzi w skład chlorofilu. • Jest kofaktorem wielu enzymów. • Uczestniczy w składaniu podjednostek rybosomów.
Potas (K)	• Reguluje gospodarkę wodną roślin. • Odgrywa główną rolę w osmoregulacji komórek. • Jest aktywatorem wielu enzymów. • Bierze udział np. w otwieraniu i zamykaniu aparatów szparkowych.
Fosfor (P)	• Wchodzi w skład nukleotydów oraz kwasów nukleinowych. • Pula nieorganicznego fosforanu (P_i) jest wykorzystywana w procesach oddychania komórkowego i fotosyntezy.

7 Pobieranie i transport składników mineralnych

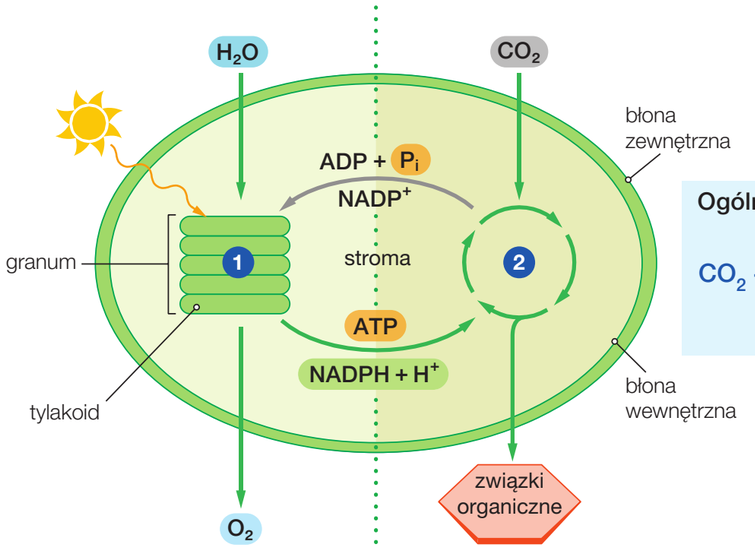
- Korzenie uwalniają do roztworu glebowego dwutlenek węgla – związek ten w reakcji z wodą tworzy kwas węglowy, który dysocjuje na jony wodorowęglanowe i protony. Ponadto pompy protonowe aktywnie transportują protony z komórek korzenia do roztworu glebowego.
- Protony łączą się z koloidami kompleksu sorpcyjnego, odłączając od nich kationy pierwiastków, których roślina potrzebuje.
- Kationy są transportowane do komórek przez kanały jonowe lub na drodze symportu z protonami.

8 Dostępne dla roślin formy azotu i siarki

Przyswajalne dla roślin formy	
azotu	**siarki**
• jony azotanowe(V) – NO_3^- – występują w roztworze glebowym • jony amonowe – NH_4^+ – występują w roztworze glebowym	• jony siarczanowe(VI) – SO_4^{2-} – występują w roztworze glebowym • tlenek siarki(IV) – SO_2 – występuje w atmosferze

9 Odżywianie się roślin – fotosynteza oksygeniczna

Większość roślin odżywia się autotroficznie. Przeprowadzają one fotosyntezę oksygeniczną, która zachodzi w chloroplastach i polega na wytwarzaniu związków organicznych z dwutlenku węgla i wody z udziałem energii świetlnej. Produktem ubocznym fotosyntezy oksygenicznej jest tlen.



Ogólne równanie fotosyntezy

$$CO_2 + H_2O \xrightarrow{\text{energia świetlna}} (CH_2O) + O_2\uparrow$$

ogólny wzór węglowodanów

1. W tylakoidach chloroplastów odbywa się faza fotosyntezy zależna od światła, która polega na wytworzeniu siły asymilacyjnej, czyli ATP i NADPH, potrzebnej do redukcji CO_2.
2. W stromie chloroplastów odbywa się faza niezależna od światła (cykl Calvina–Bensona), która polega na asymilacji CO_2, czyli jego redukcji do związków organicznych.

10 Czynniki wpływające na intensywność fotosyntezy

Rodzaj czynnika	Opis wpływu
Światło	Warunkuje przebieg fazy fotosyntezy zależnej od światła.
Dwutlenek węgla	Jest jednym z substratów fotosyntezy wykorzystywanych w fazie niezależnej od światła.
Temperatura	Wpływa na aktywność enzymów biorących udział w procesie fotosyntezy.
Woda	Stanowi jeden z substratów fotosyntezy – jest dawcą elektronów i protonów w fazie zależnej od światła.
Sole mineralne	Sole – np. sole magnezu, potasu, cynku i manganu – są niezbędne do prawidłowego przebiegu fotosyntezy.

11 Drogi transportu substratów i produktów fotosyntezy w roślinach

- Transport substratów fotosyntezy – dwutlenku węgla i wody

Transport substratów fotosyntezy	
dwutlenek węgla	**woda**
• U roślin lądowych dwutlenek węgla dostaje się do tkanek liścia przez aparaty szparkowe. • Rośliny wodne pobierają dwutlenek węgla – głównie w postaci rozpuszczonych w wodzie jonów wodorowęglanowych (HCO_3^-) – bezpośrednio przez epidermę.	• Rośliny lądowe pobierają wodę przez korzenie, a następnie jest ona transportowana przez elementy przewodzące drewna do miękiszu asymilacyjnego liści. • Rośliny wodne pobierają wodę całą powierzchnią ciała.

- Transport produktów fotosyntezy – tlenu i związków organicznych
  Rośliny lądowe usuwają tlen przez aparaty szparkowe, a rośliny wodne – przez epidermę. Związki organiczne są transportowane w obrębie obu typów roślin przez elementy przewodzące łyka.

12 Etapy transportu asymilatów w roślinie

ZAŁADUNEK ŁYKA
- Odbywa się głównie w liściach (donorach).
- Polega na przemieszczaniu się sacharozy z komórek miękiszu asymilacyjnego do członów rurek sitowych.
- Wymaga nakładu energii.

→

TRANSPORT PIONOWY
- Odbywa się w elementach przewodzących łyka.
- Polega na transporcie sacharozy zgodnie z różnicą ciśnień turgorowych między miejscem załadunku łyka a miejscem jego rozładunku.
- Nie wymaga nakładu energii.

→

ROZŁADUNEK ŁYKA
- Odbywa się w organach akceptorowych, np. w korzeniach.
- Polega na transporcie sacharozy z elementów przewodzących łyka do komórek akceptora.
- Może wymagać nakładu energii (np. rozładunek łyka do organów spichrzowych) lub nie wymagać nakładu energii (np. rozładunek łyka do rosnących liści).

13 Przystosowania w budowie anatomicznej roślin do wymiany gazowej

Przystosowania roślin do wymiany gazowej			
aparaty szparkowe	**przetchlinki**	**przestwory międzykomórkowe**	**pneumatofory (korzenie oddechowe)**
Umożliwiają wymianę gazową w niezdrewniałych organach roślinnych pokrytych kutykulą.	Umożliwiają wymianę gazową w zdrewniałych organach roślinnych pokrytych korkiem.	Magazynują gazy oddechowe. Szczególnie duże przestwory międzykomórkowe zawiera miękisz powietrzny, który występuje u roślin wodnych.	Są to nadziemne korzenie, które doprowadzają powietrze do systemu korzeniowego. Występują u roślin rosnących na terenach podmokłych.

14 Udział bakterii i grzybów w pozyskiwaniu pokarmu przez rośliny

W pozyskiwaniu pokarmu przez rośliny biorą udział m.in. bakterie glebowe, bakterie symbiotyczne oraz grzyby. Organizmy te udostępniają roślinom pierwiastki chemiczne (głównie azot, fosfor i siarkę), które są niezbędne do budowy wielu związków organicznych.

15 Hormony roślinne

Fitohormony	Miejsca syntezy fitohormonów	Działanie fitohormonów
Auksyny	• wierzchołki wzrostu pędów • młode liście • pąki • kwiaty • owoce	+ pobudzają wzrost wydłużeniowy komórek + powodują powstawanie tkanki przyrannej + stymulują podziały komórek kambium + pobudzają powstawanie zawiązków korzeni bocznych i przybyszowych + odpowiadają za powstawanie owoców + odpowiadają za procesy różnicowania się tkanek i organów – hamują zrzucanie liści i owoców – hamują rozwój pąków bocznych pędu
Etylen	• wszystkie organy roślinne (najwięcej – dojrzałe owoce i starzejące się tkanki)	+ pobudza dojrzewanie owoców + powoduje opadanie owoców i liści + odpowiada za reakcje roślin na stres wywołany np. niedostatkiem wody, uszkodzeniami mechanicznymi, infekcją, chłodem lub przegrzaniem – hamuje wzrost wydłużeniowy łodygi

16 Etapy ontogenezy rośliny nasiennej

1 Stadium wegetatywne

- rozwój zarodkowy (embriogeneza)
- kiełkowanie nasion
- rozwój wegetatywny

2 Stadium generatywne

- kwitnienie
- owocowanie

3 Starzenie się i obumieranie

17 Wpływ czynników zewnętrznych i wewnętrznych na kiełkowanie nasion

Czynniki wpływające na kiełkowanie nasion	
zewnętrzne	**wewnętrzne**
• **Woda:** – umożliwia pęcznienie nasion i pękanie łuski nasiennej, – stanowi środowisko reakcji metabolicznych nasienia, – bierze udział w hydrolizie związków zapasowych. • **Temperatura** reguluje kiełkowanie – w zbyt niskiej lub zbyt wysokiej temperaturze nasiona nie wykiełkują. • **Światło** wpływa na kiełkowanie nasion roślin fotoblastycznych. • **Tlen** umożliwia zarodkowi zmianę sposobu oddychania – z fermentacji na oddychanie tlenowe.	• **Inhibitory kiełkowania** wstrzymują proces kiełkowania nasion, np. przez hamowanie wytwarzania enzymów katalizujących hydrolizę substancji zapasowych nasienia (m.in. hamują wytwarzanie amylazy, która rozkłada skrobię). • **Związki stymulujące kiełkowanie nasion** pobudzają wytwarzanie enzymów katalizujących hydrolizę substancji zapasowych nasienia oraz aktywują je (m.in. aktywują lipazy, które rozkładają tłuszcze w nasionach roślin oleistych).

18 Kiełkowanie nasion

Rodzaje kiełkowania	
kiełkowanie podziemne – hipogeiczne	**kiełkowanie nadziemne – epigeiczne**
• Szybciej wydłuża się epikotyl – nadliścieniowa część łodygi zarodkowej. • Liścienie pozostają w glebie. • Liścienie nie przeprowadzają fotosyntezy, funkcję asymilacyjną pełnią pierwsze liście.	• Szybciej wydłuża się hipokotyl – podliścieniowa część łodygi zarodkowej. • Liścienie zostają wyniesione ponad powierzchnię gleby. • Liścienie zazieleniają się i zaczynają przeprowadzać fotosyntezę.

19 Rodzaje tropizmów

Rodzaj tropizmu	Rodzaj bodźca wywołujący ruch	Przykłady
Fototropizm	światło	• fototropizm dodatni – wygięcie łodygi w stronę światła • fototropizm ujemny – wygięcie korzenia w stronę przeciwną do kierunku padania światła
Geotropizm	siła grawitacji	• geotropizm dodatni – wygięcie korzenia w kierunku działania siły grawitacji • geotropizm ujemny – wygięcie pędu w kierunku przeciwnym do działania siły grawitacji
Chemotropizm	substancje chemiczne	• wzrost korzeni w kierunku występowania wody w podłożu (hydrotropizm)
Tigmotropizm	bodziec mechaniczny, np. ucisk	• reakcja na bodźce mechaniczne, m.in. na ucisk – np. owijanie się wąsów czepnych fasoli wokół podpory

20 Rodzaje nastii

Rodzaj nastii	Rodzaj bodźca wywołujący ruch	Przykłady
Fotonastie	światło	otwieranie i zamykanie się kwiatów niektórych roślin pod wpływem działania światła i ciemności
Sejsmonastie	bodziec mechaniczny	składanie się pierzastych liści mimozy pod wpływem dotyku
Termonastie	temperatura	otwieranie i zamykanie się kwiatów w odpowiedzi na zmiany temperatury otoczenia

21 Rola auksyn w ruchach wzrostowych roślin

Rola auksyn	
w fototropizmie pędu	**w geotropizmie korzenia i pędu**
Auksyny stymulują wzrost wydłużeniowy komórek po stronie zacienionej, co skutkuje wygięciem łodygi w stronę światła.	Auksyny gromadzą się na dolnej stronie korzenia i łodygi. Hamuje to wzrost komórek korzenia i stymuluje wzrost komórek pędu. Wskutek tego korzeń wygina się w kierunku działania siły grawitacji, a łodyga rośnie w kierunku przeciwnym.

Sposób na zadania

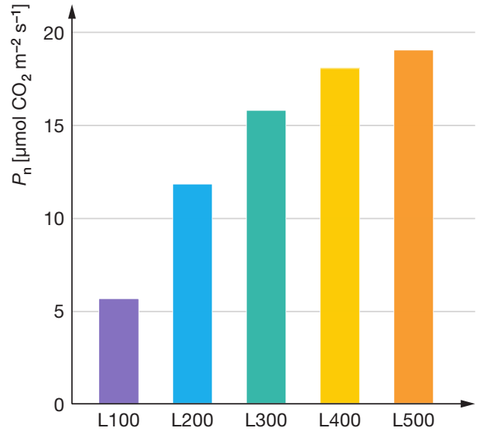
WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Przeprowadzono doświadczenie, w którym zbadano intensywność fotosyntezy u siewek lucerny. W tym celu siewki poddano działaniu różnego natężenia światła: 100, 200, 300, 400 i 500 µmol × m^{-2} × s^{-1}. Intensywność fotosyntezy określono, mierząc ilość zasymilowanego dwutlenku węgla, którą pomniejszono o ubytek tego gazu w wyniku oddychania. Z kolei natężenie światła wyrażono jako liczbę moli fotonów fotosyntetycznych, które padają na 1 m^2 w czasie 1 sekundy. Wyniki doświadczenia przedstawiono na poniższym wykresie.

badany czynnik (X)

przedmiot badań (Y)

obiekt badań (Z)



Na podstawie: W. Tang, H. Guo, C.C. Baskin, W. Xiong, C. Yang et al., *Effect of Light Intensity on Morphology, Photosynthesis and Carbon Metabolism of Alfalfa (*Medicago sativa*) Seedlings*, „Plants" 2022, 11, 1688.

a) Sformułuj problem badawczy do przedstawionego doświadczenia.

Problem badawczy możesz opisać na dwa sposoby – w formie zdania pytającego lub równoważnika zdania: *Czy X wpływa na Y u Z?* lub *Wpływ X na Y u Z.*

Rozwiązanie:
– Wpływ natężenia światła na intensywność fotosyntezy u siewek lucerny.
– Czy natężenie światła wpływa na intensywność fotosyntezy u siewek lucerny?

Podaj wartości natężenia światła dla dwóch prób różniących się dokładnie o 100 µmol × m^{-2} × s^{-1}.

b) Podaj dwie kolejne próby (czyli próby różniące się natężeniem światła o 100 µmol × m^{-2} × s^{-1}), między którymi różnice w intensywności fotosyntezy u siewek lucerny są największe.

Przeanalizuj wykres. Zwróć uwagę na wysokość poszczególnych słupków. Im większa różnica w ich wysokości, tym większa różnica w intensywności fotosyntezy.

Rozwiązanie:
między próbami o natężeniu światła 100 µmol × m^{-2} × s^{-1} i 200 µmol × m^{-2} × s^{-1} / między próbami L100 i L200

c) Określ, jaki byłby wpływ wzrostu natężenia światła na intensywność transpiracji u siewek lucerny.

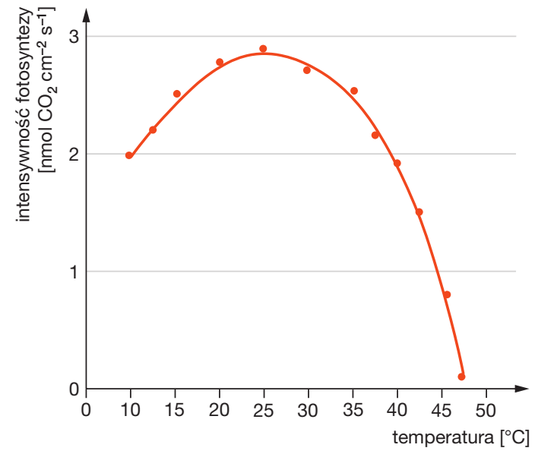
Transpiracja to parowanie wody z nadziemnych części roślin. Zastanów się, jaki wpływ na ten proces będzie miał wzrost natężenia światła.

Rozwiązanie:
Wzrost natężenia światła spowodowałby wzrost intensywności transpiracji u siewek lucerny.

Zadanie analogiczne

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Przeprowadzono doświadczenie, w którym zbadano intensywność fotosyntezy u trawy *Agropyron smithii* w różnej temperaturze. Wyniki doświadczenia przedstawiono na poniższym wykresie. Intensywność fotosyntezy wyrażono na nim jako ilość zasymilowanego dwutlenku węgla pomniejszoną o jego ubytek związany z oddychaniem.



Na podstawie: R.K. Monson, M.A. Stidham, G.J. Williams III, G.E. Edwards, E.G. Uribe, *Temperature Dependence of Photosynthesis in* Agropyron smithii *Rydb. I. Factors affecting net CO_2 uptake in intact leaves and contribution from Ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase measured* in vivo *and* in vitro, „Plant Physiology" 1982, 69, s. 921–928.

a) Sformułuj problem badawczy do przedstawionego doświadczenia.

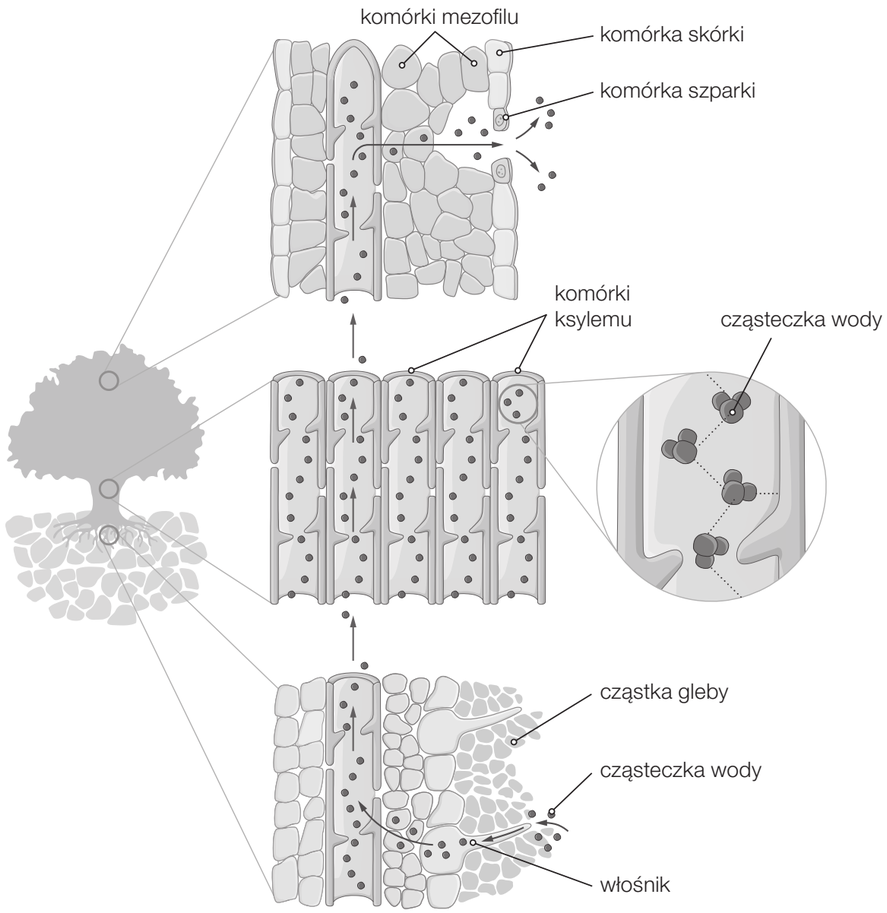
b) Podaj temperaturę, w której *Agropyron smithii* uzyskuje maksymalną wartość intensywności fotosyntezy.

c) Określ, jaki byłby wpływ wzrostu temperatury na intensywność transpiracji u *Agropyron smithii*.

Zadania powtórzeniowe

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Schemat przedstawia transport wody w roślinie.



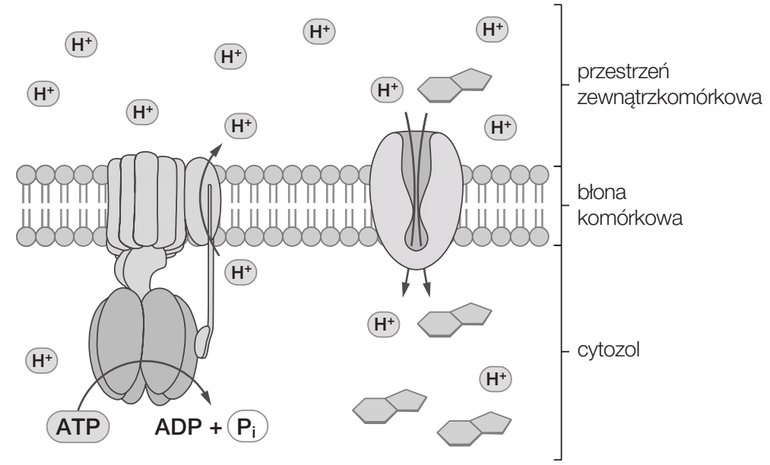
a) Podaj nazwę wiązania, które umożliwia powstawanie sił adhezji i kohezji. Wyjaśnij, jakie znaczenie ma to wiązanie dla transportu wody w roślinach.

b) Wybierz wiersz tabeli, w którym podano poprawny zestaw wartości potencjałów wody w układzie gleba–roślina–powietrze.

	Ψ_W gleby	Ψ_W ksylemu	Ψ_W przestworów komórkowych liścia	Ψ_W powietrza
A.	–0,3 MPa	–0,8 MPa	–7,0 MPa	–100,0 MPa
B.	–0,3 MPa	–7,0 MPa	–7,0 MPa	–100,0 MPa
C.	–100,0 MPa	–7,0 MPa	–7,0 MPa	–0,3 MPa
D.	–100,0 MPa	–7,07 MPa	–0,8 MPa	–0,3 MPa

c) Podaj przykład warunków środowiska, w których roślina nie może pobrać wody, mimo że jest ona obecna w glebie.

2 Schemat przedstawia mechanizm transportu sacharozy do członów rurek sitowych.



a) Określ, czy transport sacharozy do członów rurek sitowych jest transportem biernym czy transportem czynnym. Odpowiedź uzasadnij, odwołując się do informacji przedstawionych na schemacie.

b) Podaj nazwy monosacharydów budujących sacharozę oraz nazwę polisacharydu, który stanowi główną formę zapasową cukrów u roślin.

c) Oceń prawdziwość stwierdzenia: „Donorami sacharozy mogą być organy, które nie przeprowadzają procesu fotosyntezy". Odpowiedź uzasadnij.

3 Przeprowadzono doświadczenie badające wpływ auksyn na długość komórek, tempo powstawania nowych komórek oraz tempo wydłużania się korzenia siewki rzodkiewnika pospolitego *Arabidopsis thaliana*. W tym celu siewki rzodkiewnika przez trzy dni poddawano działaniu trzech różnych auksyn – kwasu indolilooctowego (IAA), kwasu 1-naftylooctowego (NAA) oraz kwasu 2,4-dichlorofenoksyoctowego (2,4-D). Po trzech dniach zmierzono badane cechy. Uśrednione wyniki z trzech powtórzeń przedstawiono w poniższej tabeli.

Próba	Tempo wydłużania [mm × dzień$^{-1}$]	Długość komórek [µm]	Tempo powstawania komórek [liczba komórek × dzień$^{-1}$]
Kontrola	9,19	180	50,7
30 nM IAA	3,67	71	51,9
100 nM NAA	5,69	113	50,6
30 nM 2,4-D	4,10	137	33,5

Źródło: A. Rahman, A. Bannigan, W. Sulaman, P. Pechter, E. B. Blancaflor, T.I. Baskin, *Auxin, actin and growth of the Arabidopsis thaliana primary root*, „The Plant Journal" 2007, 50, 517.

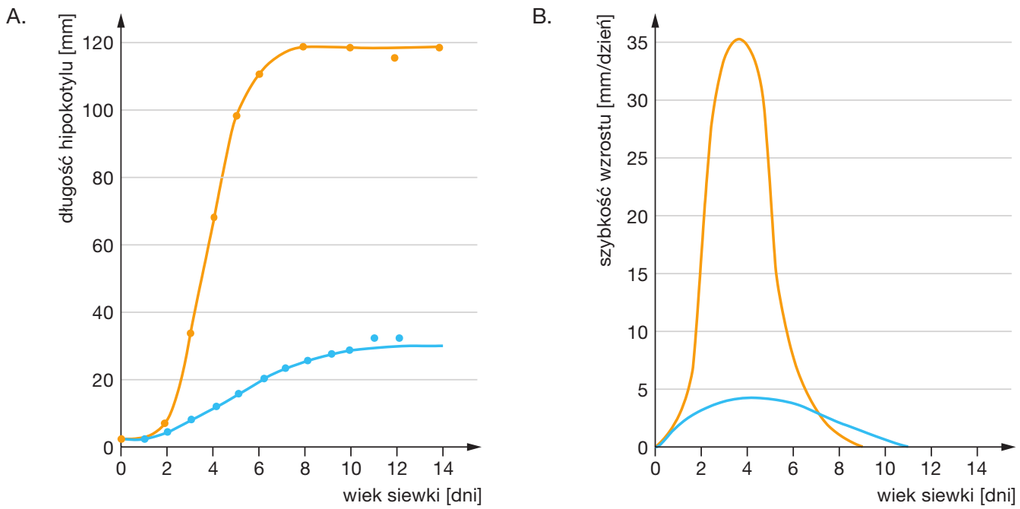
a) Opisz próbę kontrolną w przedstawionym doświadczeniu.

b) Oceń, czy na podstawie przedstawionych wyników badań można sformułować wnioski podane w tabeli. Wybierz T (tak), jeśli wniosek można sformułować na podstawie wyników badań, albo N (nie) – jeśli nie można go sformułować.

1.	Kwas indolilooctowy (IAA) ogranicza tempo powstawania nowych komórek w korzeniu.	T	N
2.	Wszystkie badane auksyny spowalniają tempo wydłużania się korzenia siewki rzodkiewnika pospolitego.	T	N
3.	Komórki korzenia siewki rzodkiewnika pospolitego poddane działaniu kwasu 1-naftylo-octowego (NAA) są krótsze niż komórki korzenia poddane działaniu kwasu 2,4-dichloro-fenoksyoctowego (2,4-D).	T	N

c) Określ, czy wyniki powyższych badań można uznać za wiarygodne. Odpowiedź uzasadnij dwoma argumentami – argumentem odnoszącym się do opisu źródła ich publikacji oraz argumentem dotyczącym przebiegu badań.

4 Poniżej przedstawiono krzywą wzrostu (A) oraz krzywą szybkości wzrostu (B) kiełkujących nadziemnie siewek gorczycy rosnących w ciemności (pomarańczowa linia) oraz w białym oświetleniu (niebieska linia).



Na podstawie: J. Kopcewicz, S. Lewak, *Podstawy fizjologii roślin*, Warszawa 1998, s. 453.

a) Oceń, czy na podstawie analizy powyższych krzywych można sformułować wnioski podane w tabeli. Wybierz T, jeśli wniosek wynika z analizy krzywych, lub N – jeśli nie wynika.

1.	Siewki gorczycy osiągają maksymalną szybkość wzrostu ok. czwartego dnia.	T	N
2.	Światło stymuluje wzrost wydłużeniowy hipokotyli u siewek gorczycy.	T	N
3.	Warunki świetlne wpływają na tempo wzrostu siewek gorczycy.	T	N

b) Podaj nazwę tych plastydów, które będą dominowały liczebnie w komórkach siewki gorczycy rosnącej w ciemności.

c) Wyjaśnij, jaka jest rola szybko rosnącego hipokotylu u roślin kiełkujących nadziemnie. W odpowiedzi uwzględnij znaczenie liścieni dla wzrostu i rozwoju rośliny.

4. Różnorodność bezkręgowców

Fot. Ślimak morski z rzędu nagoskrzelnych (*Coryphellina exoptata*).



4.1. Kryteria klasyfikacji zwierząt

Ważne w tym temacie!

- różnice między zwierzętami dwuwarstwowymi a zwierzętami trójwarstwowymi
- związek środowiska życia zwierząt z rodzajem wydalanego azotowego produktu przemiany materii
- związek trybu życia zwierząt z symetrią ich ciała

Zwierzęta to organizmy, które są wielokomórkowymi cudzożywnymi eukariontami. W ciele zwierząt wyróżnia się dwa rodzaje komórek:

- **komórki somatyczne**, czyli komórki ciała,
- **komórki rozrodcze** (generatywne), czyli gamety – komórki jajowe i plemniki.

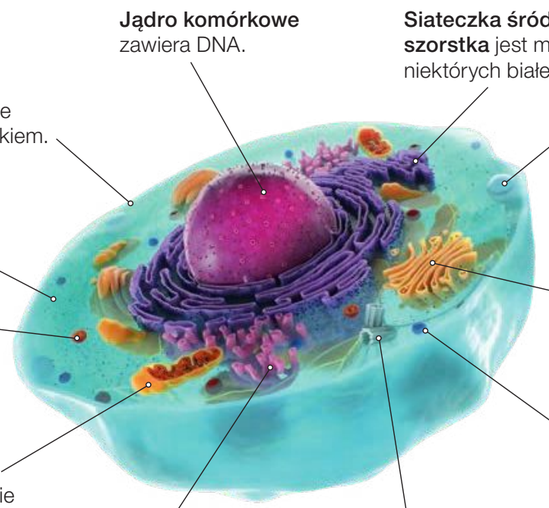
Zwierzęta są w większości organizmami diploidalnymi (2n). Rozmnażają się głównie płciowo. W odróżnieniu od roślin i grzybów ich gamety powstają bezpośrednio w wyniku podziału mejotycznego komórek macierzystych gamet (mejoza pregamiczna → s. 40).

Zwierzęta dzieli się na grupy ze względu na różne kryteria, m.in. przebieg rozwoju osobniczego. **Rozwój osobniczy (ontogeneza)** to wszystkie zmiany zachodzące od chwili powstania pierwszej komórki nowego organizmu aż do jego śmierci.

Przypomnij sobie

Budowa komórek zwierząt

Komórki zwierzęce są oddzielone od środowiska **wyłącznie błoną komórkową** (nie mają ściany komórkowej). We wnętrzu tych komórek znajdują się **lizosomy** i **centrosomy**, a materiałem zapasowym jest głównie **glikogen**.

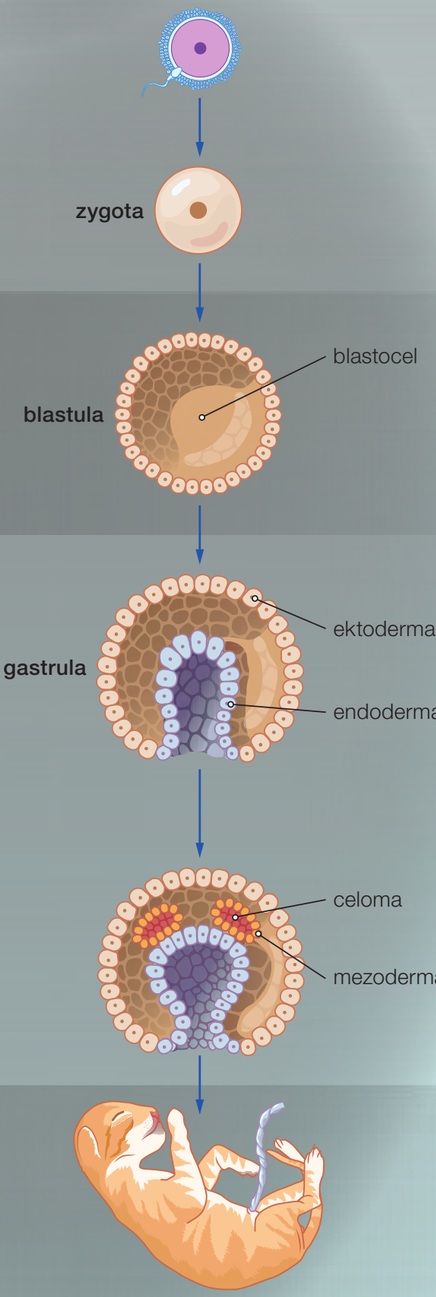


Rozwój zarodkowy zwierząt

Rozwój zarodkowy (embriogeneza) to okres w rozwoju osobniczym trwający od zapłodnienia komórki jajowej do wyklucia się organizmu z osłon jajowych lub do opuszczenia przez organizm organizmu matki.

Przebieg rozwoju zarodkowego

Rozwój zarodkowy większości zwierząt składa się z czterech najważniejszych etapów: zapłodnienia, bruzdkowania, gastrulacji i organogenezy.



1. **Zapłodnienie** – połączenie się komórki jajowej z plemnikiem, w wyniku którego powstaje **zygota**. U zwierząt występuje typ zapłodnienia nazywany oogamią (→ s. 41). Komórka jajowa (gameta żeńska) jest większa i nie ma zdolności ruchu. Plemnik (gameta męska) jest mniejszy i ma zdolność ruchu.

2. **Bruzdkowanie** – wielokrotne podziały mitotyczne zygoty. Pod koniec bruzdkowania zarodek osiąga stadium **blastuli** – pęcherzyka o ścianie zbudowanej z pojedynczej warstwy komórek. Jego wypełnione płynem wnętrze to pierwotna jama ciała, czyli **blastocel**.

3. **Gastrulacja** – proces formowania się **listków zarodkowych**, czyli warstw komórek, z których tworzą się tkanki.
   - Najpierw tworzą się dwa listki zarodkowe – zewnętrzna ektoderma i wewnętrzna endoderma.
   - U większości grup zwierząt w trakcie rozwoju zarodka pojawia się także trzeci listek zarodkowy – **mezoderma**. W jej obrębie tworzy się **celoma**, czyli wtórna jama ciała.

4. **Organogeneza** – powstawanie tkanek, narządów i układów narządów.

Klasyfikacja zwierząt

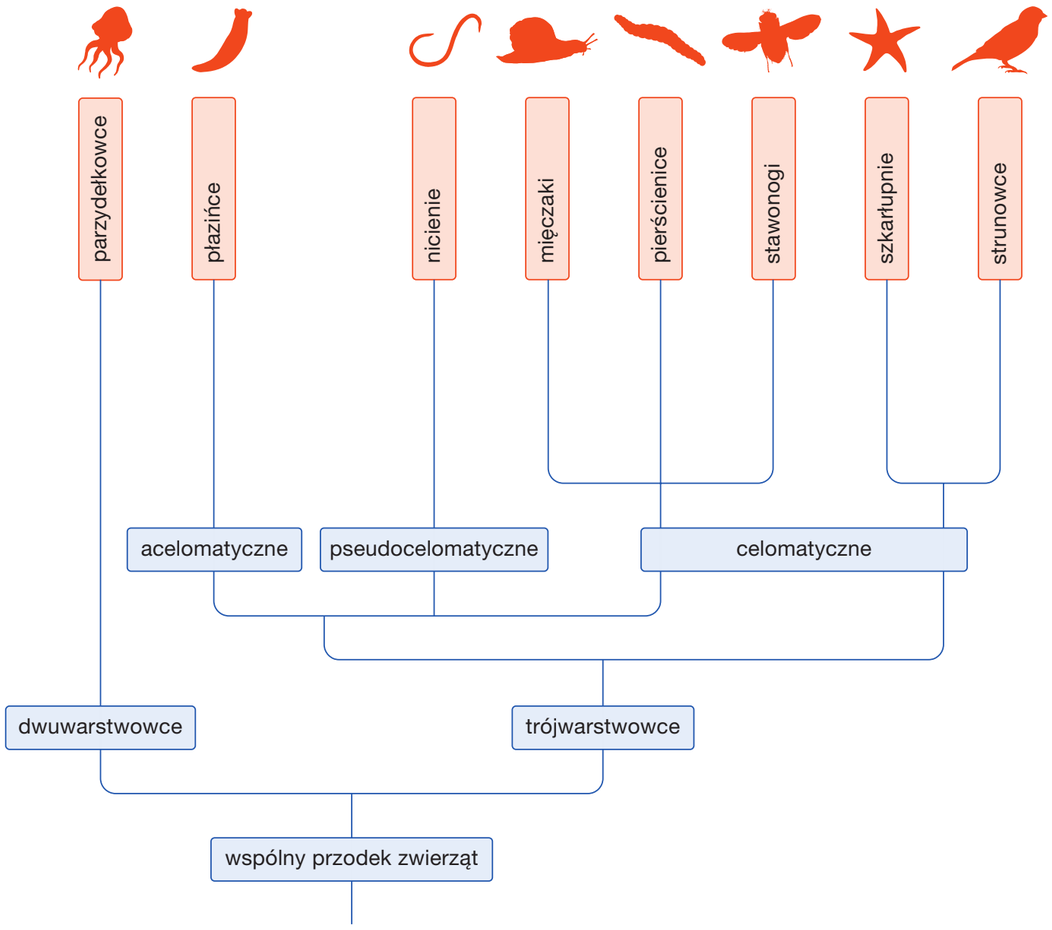
Na podstawie różnic w przebiegu rozwoju zarodkowego oraz różnic w budowie ciała zwierzęta dzieli się na:

- **dwuwarstwowce** – ich ciała powstają tylko z dwóch listków zarodkowych (ektodermy i endodermy), np. parzydełkowce,
- **trójwarstwowce** – ich ciała powstają z trzech listków zarodkowych (ektodermy, endodermy i mezodermy).

Ze względu na obecność lub brak wtórnej jamy ciała (celomy) trójwarstwowce dzieli się na zwierzęta acelomatyczne, pseudocelomatyczne i celomatyczne (→s. 235).



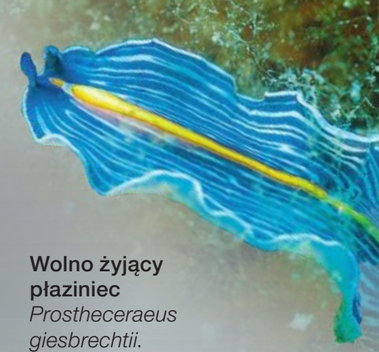
Najliczniejszą grupą zwierząt są stawonogi, a wśród nich – owady. Obecnie znany jest ponad milion gatunków tych zwierząt.



Podział zwierząt ze względu na przebieg rozwoju zarodkowego i budowę ciała.

Podział trójwarstwowców ze względu na występowanie lub brak celomy

Ze względu na występowanie lub brak wtórnej jamy ciała (celomy) trójwarstwowce dzieli się na zwierzęta acelomatyczne, pseudocelomatyczne i celomatyczne.

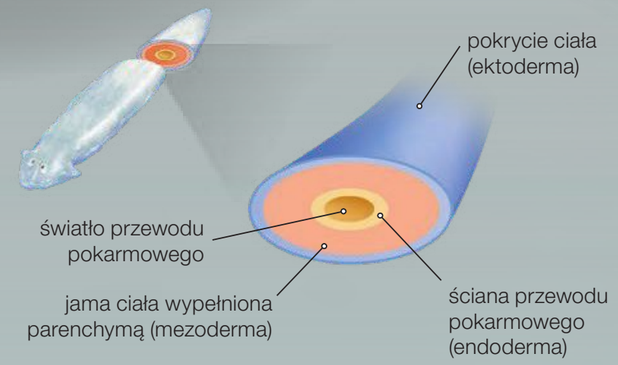


Wolno żyjący płaziniec *Prostheceraeus giesbrechtii*.

Zwierzęta acelomatyczne

Zwierzęta acelomatyczne nie mają celomy. Pierwotna jama ich ciała jest wypełniona **parenchymą**, czyli zespołem luźno połączonych komórek o różnorodnych funkcjach i pochodzeniu.

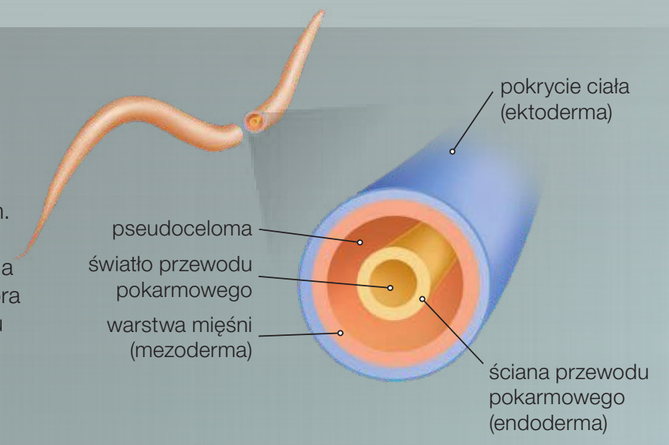
Przedstawiciele: płazińce.



Zwierzęta pseudocelomatyczne

Zwierzęta pseudocelomatyczne nie mają celomy. Występuje u nich **pseudoceloma**, czyli pierwotna jama ciała wypełniona płynem. Pod względem funkcji naśladuje ona celomę, ale w przeciwieństwie do niej nie jest otoczona własnym nabłonkiem. Otaczają ją mięśnie wora powłokowo-mięśniowego i mięśnie przewodu pokarmowego.

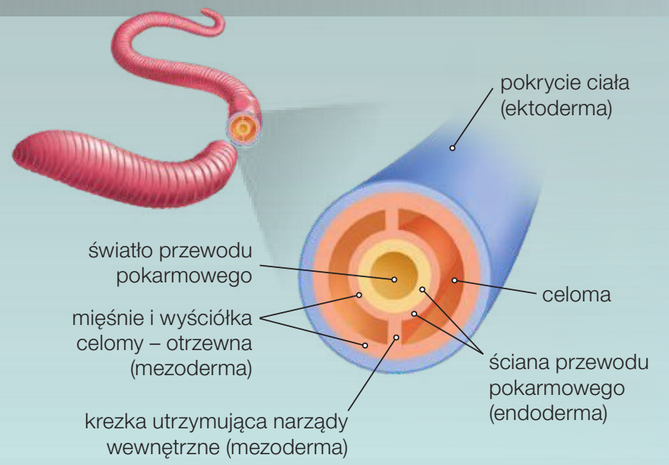
Przedstawiciele: nicienie.



Zwierzęta celomatyczne

Zwierzęta celomatyczne mają **celomę**, która jest wtórną jamą ciała otoczoną własnym nabłonkiem. Celoma magazynuje produkty przemiany materii, bierze udział w tworzeniu gamet i w transporcie gazów oddechowych. Dodatkowo może pełnić funkcję szkieletu hydraulicznego.

Przedstawiciele: pierścienice, stawonogi, mięczaki, szkarłupnie, strunowce.



Wydalanie azotowych produktów przemiany materii

Zwierzęta są organizmami cudzożywnymi. Odżywiają się pokarmem, który składa się m.in. z białek i kwasów nukleinowych zawierających azot. W wyniku przemian metabolicznych tych związków powstają azotowe produkty przemiany materii. W zależności od środowiska i trybu życia zwierząt końcowymi produktami azotowej przemiany materii mogą być amoniak, mocznik oraz kwas moczowy. Z tego względu zwierzęta dzieli się na amonioteliczne, ureoteliczne i urykoteliczne.

Zwierzęta amonioteliczne

Zwierzęta amonioteliczne wydalają amoniak. Wytwarzanie amoniaku nie wymaga bezpośrednich nakładów energii. Związek ten jest silnie toksyczny. To dlatego nie może on występować w organizmie w wysokim stężeniu, lecz musi zostać szybko wydalony lub rozcieńczony w dużej ilości wody. W związku z tym większość zwierząt amoniotelicznych to organizmy wodne. Zwierzęta bezkręgowe wydalają amoniak całą powierzchnią ciała, a kręgowce usuwają go w dużej objętości silnie rozcieńczonego moczu. Dzięki temu utrzymują niskie i nieszkodliwe stężenie amoniaku w ciele.

Zwierzęta ureoteliczne

Zwierzęta ureoteliczne wydalają mocznik. Wytwarzanie mocznika wymaga większych nakładów energii niż wytwarzanie amoniaku, jednak jego toksyczność jest niewielka. Dzięki temu zwierzęta mogą usuwać mocznik w małej objętości stężonego moczu, co chroni organizm przed nadmierną utratą wody. Zwierzęta ureoteliczne to zwykle zwierzęta lądowe, które ze względu na środowisko życia są zmuszone do oszczędnego gospodarowania wodą.



Zwierzęta ureoteliczne to przede wszystkim organizmy lądowe, m.in. dorosłe płazy i ssaki. Do zwierząt ureotelicznych należą też niektóre organizmy wodne, np. ryby chrzęstnoszkieletowe.

Zwierzęta urykoteliczne

Zwierzęta urykoteliczne wydalają kwas moczowy. Synteza kwasu moczowego jest bardzo kosztowna energetycznie, a związek ten jest mało toksyczny i słabo rozpuszcza się w wodzie. Takie właściwości pozwalają na wydalanie minimalnej ilości wody wraz z moczem. Dzięki temu zwierzęta urykoteliczne są bardzo dobrze przystosowane do oszczędnej gospodarki wodnej i do warunków niedoboru wody w środowisku.



Zwierzęta amonioteliczne to głównie organizmy żyjące w środowisku wodnym (np. ryby o kostnym szkielecie i żółwie wodne) oraz większość bezkręgowców.



Zwierzęta urykoteliczne to organizmy lądowe, które prowadzą oszczędną gospodarkę wodną, związaną z wykształceniem zdolności lotu (owady, ptaki) lub życiem w środowiskach suchych (np. pustynne gady).

Porównanie końcowych produktów azotowej przemiany materii

Cecha	Amoniak	Mocznik	Kwas moczowy
Nakłady energii potrzebne do produkcji	brak	średnie	wysokie
Rozpuszczalność w wodzie	bardzo dobra	dobra	słaba
Poziom toksyczności	wysoki	średni	niski
Wydalany mocz	rozcieńczony (bardzo duża ilość wody)	stężony (mała ilość wody)	bardzo stężony (minimalna ilość wody)
Zwierzęta, u których dominuje	zwierzęta amonioteliczne	zwierzęta ureoteliczne	zwierzęta urykoteliczne

Symetria ciała zwierząt

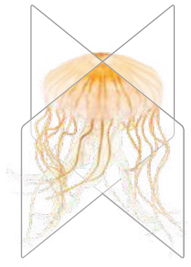
Większość zwierząt to organizmy symetryczne – przez ich ciało można przeprowadzić jedną lub wiele płaszczyzn symetrii. Rodzaj symetrii ma ścisły związek z trybem życia zwierzęcia. Tryb życia wpływa bowiem na budowę ciała oraz stopień komplikacji układów narządów. Najczęściej występujące rodzaje symetrii to symetria promienista i symetria dwuboczna.

Symetria promienista

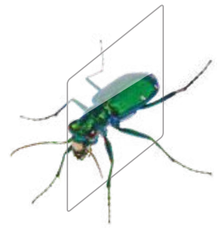
Przez ciało zwierząt o **symetrii promienistej** można przeprowadzić wiele osi symetrii. Symetrię promienistą mają zwykle zwierzęta planktonowe, osiadłe lub mało ruchliwe (np. parzydełkowce, szkarłupnie). Zwierzęta charakteryzujące się tym rodzajem symetrii są w stanie odbierać bodźce i reagować na nie – nawet gdy docierają z różnych kierunków. Symetria promienista wpływa także na skuteczność polowania, ponieważ ofiara może zostać schwytana niezależnie od tego, z której strony się zbliży.

Symetria dwuboczna

Przez ciało zwierząt o **symetrii dwubocznej** można przeprowadzić oś symetrii, która dzieli je na części prawą i lewą. Symetrię dwuboczną mają najczęściej zwierzęta wolno żyjące, poruszające się aktywnie. Ich ciało jest wydłużone – dzięki temu podczas poruszania się opór środowiska jest najmniejszy. Większość narządów zmysłów jest zlokalizowana w przedniej części ciała. W tej części występuje również otwór gębowy. Strona brzuszna pełni funkcje lokomotoryczne (znajdują się tam np. odnóża i kończyny), a strona grzbietowa – funkcję ochronną.



Symetria promienista występuje m.in. u parzydełkowców.

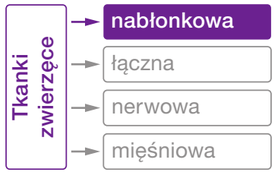


Symetria dwuboczna występuje m.in. u owadów.

Polecenia kontrolne

1. Omów przebieg głównych etapów rozwoju zarodkowego zwierząt (zapłodnienie, bruzdkowanie, gastrulacja i organogeneza).
2. Wykaż, że wydalanie kwasu moczowego jest przystosowaniem do życia na pustyni.

4.2. Tkanka nabłonkowa



Ważne w tym temacie!

- związek między budową a funkcjami tkanki nabłonkowej
- znaczenie połączeń międzykomórkowych w tkankach zwierzęcych

Tkanki to zespoły komórek o wspólnym pochodzeniu i podobnej budowie, które pełnią w organizmie określoną funkcję. Naukę o budowie, rozwoju i funkcjach tkanek nazywa się **histologią**.

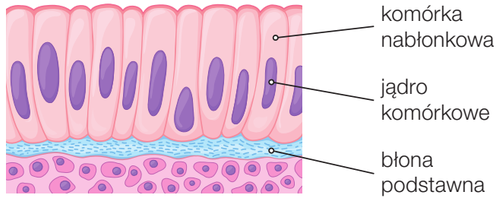
U zwierząt wyróżnia się cztery rodzaje tkanek: tkankę nabłonkową, tkankę łączną, tkankę nerwową i tkankę mięśniową. Wszystkie tkanki rozwijają się z listków zarodkowych podczas embriogenezy. Składają się z **komórek** oraz z **substancji międzykomórkowej**.

Pochodzenie tkanek zwierzęcych

Rodzaj tkanki	Pochodzenie tkanki
Tkanka nabłonkowa	ektoderma, mezoderma, endoderma
Tkanka łączna	mezoderma
Tkanka nerwowa	ektoderma
Tkanka mięśniowa	mezoderma

Budowa tkanki nabłonkowej

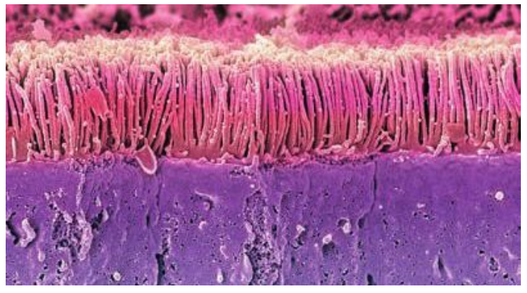
Tkanka nabłonkowa (nabłonek) pełni głównie funkcję ochronną, m.in. oddziela organizm od środowiska zewnętrznego, a także wyściela narządy i jamy ciała. Komórki tkanki nabłonkowej ściśle przylegają do siebie i są osadzone na **błonie podstawnej** – substancji międzykomórkowej, która jest zbudowana z licznych białek, m.in. z kolagenu. Błona podstawna łączy nabłonki z położonymi poniżej tkankami, umożliwia zachowanie kształtu komórek nabłonka oraz zapewnia transport substancji odżywczych.



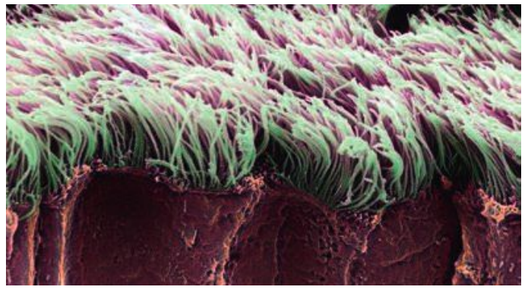
Budowa ogólna tkanki nabłonkowej.

Mikrokosmki i rzęski

Mikrokosmki i rzęski to struktury, które występują na powierzchni niektórych nabłonków.



Mikrokosmki to palczaste wypustki otoczone błoną komórkową. Zwiększają powierzchnię wchłaniania substancji przez komórkę, np. w jelicie cienkim i w kanalikach nerkowych. Tworzą tzw. **rąbek szczoteczkowy**.



Rzęski to ruchliwe wypustki otoczone błoną komórkową. W ich wnętrzu znajduje się aparat ruchowy zbudowany z mikrotubul. Rzęski umożliwiają m.in. usuwanie zanieczyszczeń z dróg oddechowych. Tworzą tzw. **rąbek migawkowy**.

Funkcje tkanki nabłonkowej

Do funkcji tkanki nabłonkowej należą:

- **ochrona** przed nadmierną utratą wody, urazami mechanicznymi i drobnoustrojami chorobotwórczymi (np. nabłonek skóry). U części bezkręgowców (np. u stawonogów) nabłonek okrywający ciało wytwarza warstwę nazywaną **oskórkiem** lub **kutykulą**, która jest elementem szkieletu zewnętrznego;
- **wydzielanie** licznych substancji (np. śluzu, enzymów, hormonów) przez gruczoły;
- **wchłanianie** różnych związków chemicznych i jonów (np. nabłonek jelita cienkiego);
- **transport** substancji z jednej strony nabłonka na drugą (np. tlenu i dwutlenku węgla przez nabłonek pęcherzyków płucnych).

Klasyfikacja nabłonków

Ze względu na pełnioną funkcję nabłonki dzieli się m.in. na:

- **nabłonki ochronne** – wyścielają powierzchnie ciała, jamy ciała oraz narządy,
- **nabłonki transportujące** – umożliwiają przenikanie substancji z jednej strony nabłonka na drugą,
- **nabłonki gruczołowe** – wydzielają substancje o różnych funkcjach, m.in. ochronnej, sygnałowej lub enzymatycznej.

Biorąc pod uwagę liczbę warstw komórek, nabłonki dzieli się na **jednowarstwowe** i **wielowarstwowe**. Z kolei ze względu na kształt komórek wyróżnia się nabłonki **płaskie**, **sześcienne** i **walcowate** (→ s. 240–241).

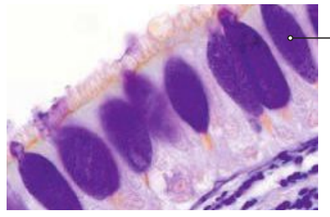
Rodzaje gruczołów

Gruczoły to komórki nabłonka, które wytwarzają i wydzielają różne substancje (np. śluz, łój, hormony). Gruczoły można podzielić na kilka rodzajów.

Podział ze względu na liczbę komórek

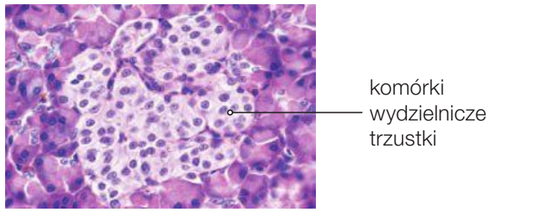
Gruczoły jednokomórkowe

Pojedyncze komórki wydzielnicze są rozmieszczone wśród innych komórek nabłonka (np. jednokomórkowe gruczoły wydzielające śluz w tchawicy).



Gruczoły wielokomórkowe

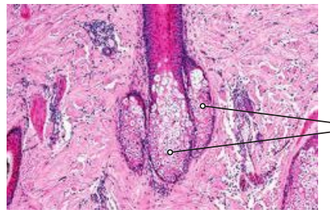
Komórki wydzielnicze tworzą zespoły, które mogą być częścią narządów (np. trzustki).



Podział ze względu na sposób odprowadzania wydzieliny

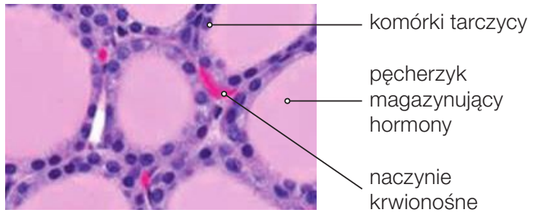
Gruczoły zewnątrzwydzielnicze

Ich wydzielina jest odprowadzana do środowiska zewnętrznego (np. gruczoły łojowe) lub do światła przewodu pokarmowego (np. wątroba).



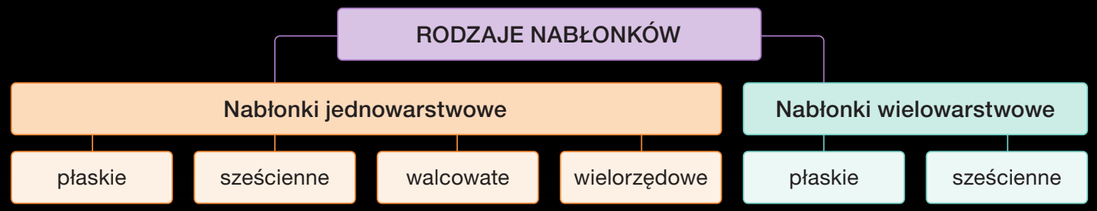
Gruczoły wewnątrzwydzielnicze

Ich wydzielina jest odprowadzana do płynów ustrojowych. Są to m.in. gruczoły dokrewne, które wydzielają hormony do krwi (np. tarczyca).



Związek między budową a funkcją nabłonków

Tkanki nabłonkowe mają różną budowę, która jest uzależniona od pełnionych funkcji.



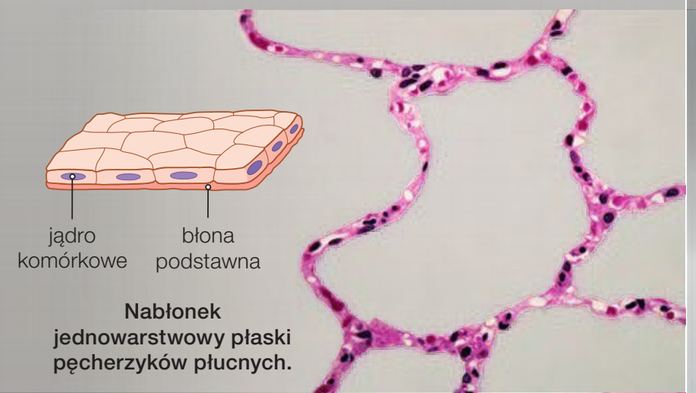
Nabłonki jednowarstwowe

Nabłonki jednowarstwowe składają się z pojedynczej warstwy komórek o podobnym kształcie, które leżą bezpośrednio na błonie podstawnej.

Nabłonek jednowarstwowy płaski

Jest zbudowany z silnie spłaszczonych komórek o centralnie położonych jądrach komórkowych. Dzięki temu nabłonek jednowarstwowy płaski może pełnić funkcję bariery fizycznej, która umożliwia transport różnych substancji (np. gazów oddechowych) między dwoma środowiskami.

Lokalizacja: powierzchnia skrzeli, ściany pęcherzyków płucnych, ściana naczyń krwionośnych (śródbłonek), pokrycie ciała niektórych bezkręgowców, np. płazińców.

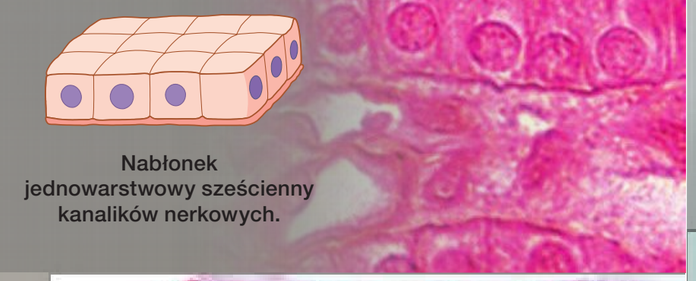


Nabłonek jednowarstwowy płaski pęcherzyków płucnych.

Nabłonek jednowarstwowy sześcienny

Jest zbudowany z sześciennych komórek. Mają one centralnie położone jądra komórkowe, liczne mitochondria i aparaty Golgiego, a także silnie rozbudowaną siateczkę śródplazmatyczną. Z tego względu nabłonek jednowarstwowy sześcienny pełni głównie funkcje wydzielnicze lub funkcje czynnego transportu jonów.

Lokalizacja: części wydzielnicze wielu gruczołów, ściany kanalików nerkowych (jego komórki są zaopatrzone w mikrokosmki).

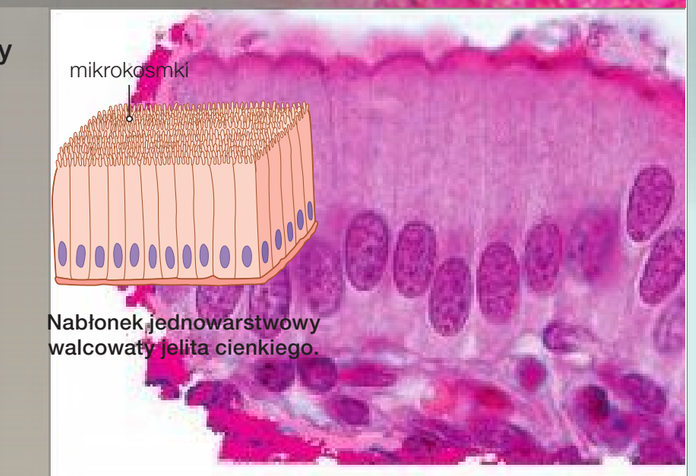


Nabłonek jednowarstwowy sześcienny kanalików nerkowych.

Nabłonek jednowarstwowy walcowaty

Jest zbudowany z wysokich komórek o kształcie walca. Mają one jądra komórkowe zlokalizowane blisko błony podstawnej, liczne aparaty Golgiego, a także silnie rozbudowaną siateczkę śródplazmatyczną. Dzięki nim nabłonek jednowarstwowy walcowaty pełni przede wszystkim funkcje wchłaniania i wydzielania.

Lokalizacja: przewód pokarmowy od żołądka do odbytu (w jelicie cienkim jego komórki zawierają mikrokosmki), pokrycie ciała niektórych bezkręgowców, np. pierścienic i mięczaków.

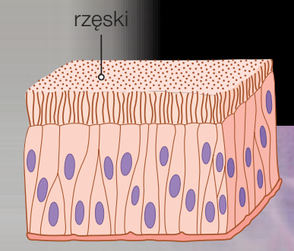


Nabłonek jednowarstwowy walcowaty jelita cienkiego.

Nabłonek jednowarstwowy wielorzędowy

Jest zbudowany z jednej warstwy komórek o różnej wysokości. To sprawia, że jądra komórkowe tworzą kilka rzędów, jednak każda z komórek jest połączona z błoną podstawną. Nabłonek jednowarstwowy wielorzędowy często ma na swojej powierzchni rzęski, które usuwają zanieczyszczenia z jego powierzchni lub pełnią funkcje transportujące.

Lokalizacja: drogi oddechowe, jajowody.



Nabłonek jednowarstwowy wielorzędowy oskrzeli.

Nabłonki wielowarstwowe

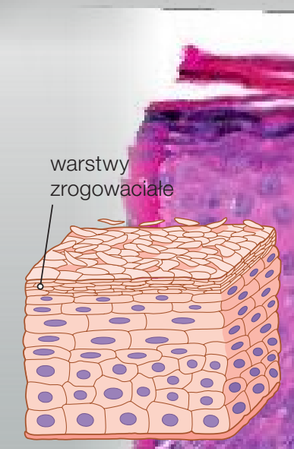
Nabłonki wielowarstwowe, składają się z wielu warstw komórek i są charakterystyczne dla kręgowców.

Nabłonek wielowarstwowy płaski

Jest zbudowany z wielu warstw komórek, które spłaszczają się w miarę zwiększania odległości od błony podstawnej. Komórki położone przy błonie podstawnej ulegają ciągłym podziałom mitotycznym i są przesuwane na zewnątrz, aby zastąpić złuszczające się komórki. Nabłonek wielowarstwowy płaski chroni głębiej położone tkanki przed uszkodzeniami. Występuje on w postaci:

- **nabłonka rogowaciejącego** (powierzchniowe warstwy komórek są wysycone **keratyną**),
- **nabłonka nierogowaciejącego** (komórki nie są wysycone keratyną).

Lokalizacja: powierzchnie narażone na ścieranie – nabłonek rogowaciejący (naskórek), nabłonek nierogowaciejący (przełyk, odbyt i pochwa).

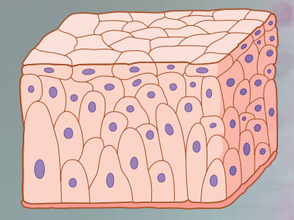


Nabłonek wielowarstwowy płaski rogowaciejący skóry.

Nabłonek wielowarstwowy sześcienny (przejściowy)

Jest zbudowany z komórek, które zawierają liczne substancje hydrofobowe i połączenia zamykające (→ s. 242). Taka budowa nabłonka wielowarstwowego sześciennego chroni przed przepuszczaniem wody (m.in. wody z tkanek pęcherza do hipertonicznego moczu). Grubość nabłonka może się zmieniać (np. podczas wypełniania pęcherza moczem).

Lokalizacja: pęcherz moczowy i przewody wyprowadzające mocz.



Nabłonek wielowarstwowy sześcienny pęcherza moczowego.

Połączenia międzykomórkowe u zwierząt

U zwierząt połączenia międzykomórkowe występują w wielu tkankach, m.in. nerwowej i mięśniowej. Jednak największa ich liczba i różnorodność charakteryzuje tkankę nabłonkową – połączenia międzykomórkowe umożliwiają nabłonkom tworzenie jednolitych błon. Wyróżnia się m.in. połączenia zamykające, desmosomy i połączenia szczelinowe.

Połączenia zamykające

Połączenia zamykające to szczelne połączenia szczytowych części komórek nabłonka. Występują one w nabłonkach, których funkcja polega na wchłanianiu wybranych substancji. Połączenia zamykające są na ogół nieprzepuszczalne dla jonów i cząsteczek, co wymusza selektywny transport substancji przez błonę komórkową, a następnie przez cytozol. Występują też w nabłonku pęcherza moczowego, gdzie zapobiegają osmotycznemu odpływowi wody z tkanek do hipertonicznego moczu.

Desmosomy

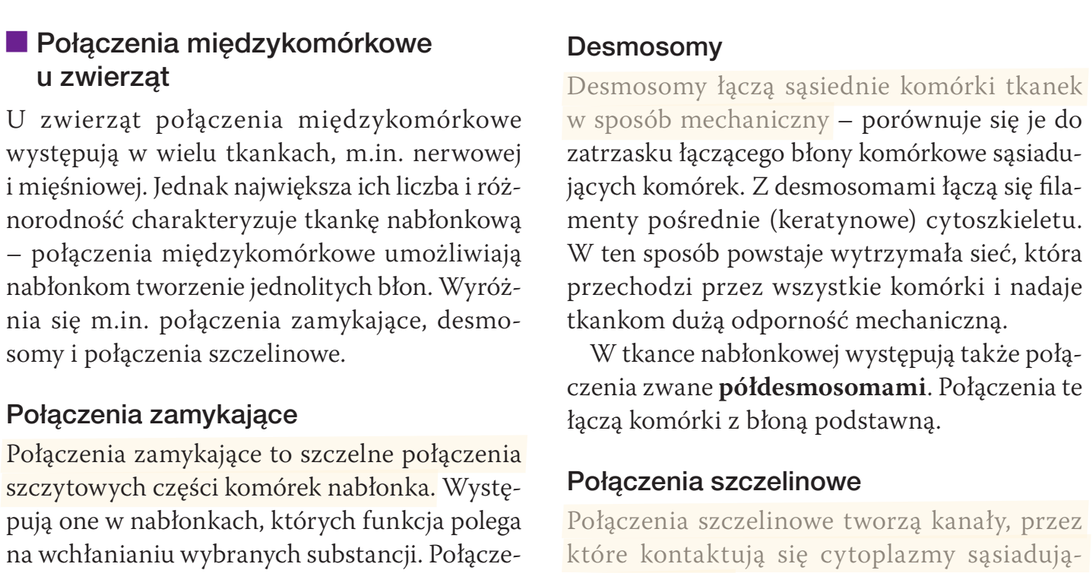
Desmosomy łączą sąsiednie komórki tkanek w sposób mechaniczny – porównuje się je do zatrzasku łączącego błony komórkowe sąsiadujących komórek. Z desmosomami łączą się filamenty pośrednie (keratynowe) cytoszkieletu. W ten sposób powstaje wytrzymała sieć, która przechodzi przez wszystkie komórki i nadaje tkankom dużą odporność mechaniczną.

W tkance nabłonkowej występują także połączenia zwane **półdesmosomami**. Połączenia te łączą komórki z błoną podstawną.

Połączenia szczelinowe

Połączenia szczelinowe tworzą kanały, przez które kontaktują się cytoplazmy sąsiadujących komórek. Są one zbudowane z kompleksów białkowych, tzw. koneksonów. Połączenia szczelinowe umożliwiają transport jonów i małych cząsteczek polarnych między komórkami. Występują nie tylko w nabłonkach, lecz także w tkankach nerwowej oraz mięśniowej poprzecznie prążkowanej serca.

Rodzaje połączeń międzykomórkowych u zwierząt

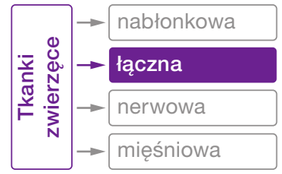


Połączenia zamykające. **Desmosomy.** **Połączenia szczelinowe.**

Polecenia kontrolne

1. Podaj główne funkcje tkanki nabłonkowej.
2. Opisz znaczenie połączeń międzykomórkowych w tkankach zwierzęcych.

4.3. Tkanka łączna



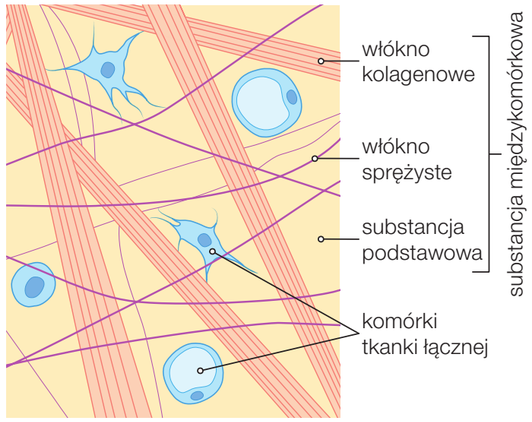
Ważne w tym temacie!

- związek między budową a funkcjami tkanki łącznej

Tkanka łączna spaja ze sobą różne typy tkanek, zapewnia podporę narządom i chroni wrażliwe części organizmu. Jest ona zbudowana z:

- **komórek**,
- **substancji międzykomórkowej**, która składa się z:
  - **substancji podstawowej** – jest to rodzaj żelu wiążącego dużą ilość wody, w którym są zanurzone pozostałe elementy tkanki,
  - **włókien białkowych** – m.in. wytrzymałych i odpornych na rozerwanie włókien kolagenowych oraz rozciągliwych włókien sprężystych zbudowanych z elastyny (→ s. 244).

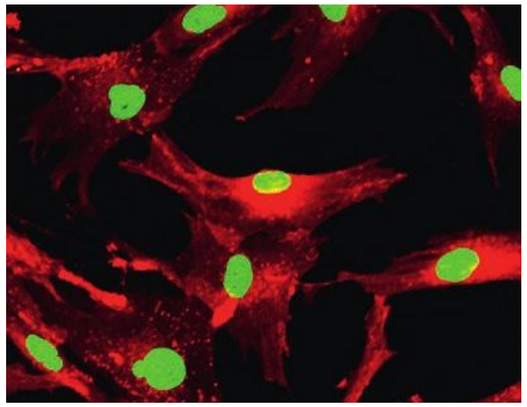
Ze względu na budowę i pełnione funkcje wyróżnia się tkankę łączną właściwą, tkankę tłuszczową, tkankę łączną podporową i tkankę łączną płynną.



Budowa ogólna tkanki łącznej.

Rozwój tkanki łącznej

Wszystkie rodzaje tkanki łącznej powstają z mezenchymy, czyli tkanki łącznej zarodkowej. Tkanka ta składa się z gwiaździstych komórek oraz z galaretowatej substancji międzykomórkowej, w której nie występują włókna. Komórki mezenchymatyczne są ze sobą połączone długimi wypustkami i mają **charakter totipotencjalny** – mogą przekształcić się w każdy inny rodzaj komórek.



Mezenchyma (preparat barwiony fluorescencyjnie) to tkanka zarodkowa pochodzenia mezodermalnego.

Rodzaje tkanki łącznej

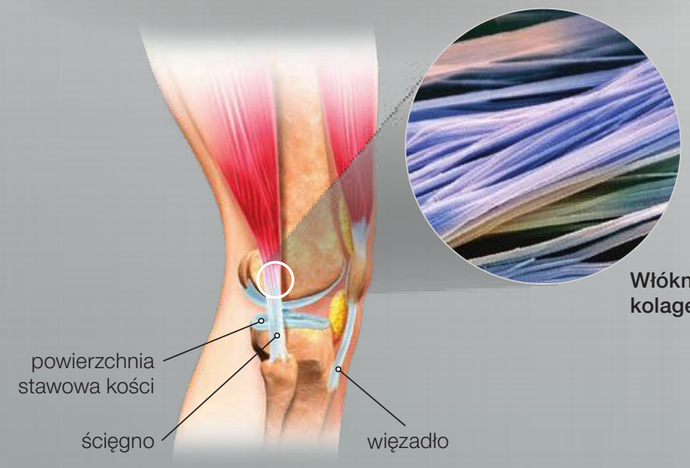
tkanka łączna właściwa	tkanka tłuszczowa	tkanka łączna podporowa	tkanka łączna płynna
• zarodkowa • siateczkowa • włóknista (zbita i luźna)	• żółta • brunatna	• chrzęstna • kostna	• krew • limfa • hemolimfa

Białka tkanki łącznej

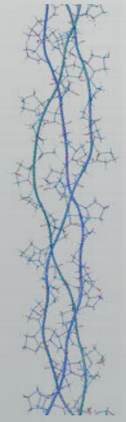
Podstawowymi białkami tkanki łącznej są kolagen i elastyna. Oba związki należą do białek fibrylarnych, które nie rozpuszczają się w wodzie.

Kolagen

Kolagen jest utworzony z trzech łańcuchów polipeptydowych. Włókna kolagenowe są bardzo odporne na rozciąganie i wytrzymałe na rozerwanie, dlatego licznie występują w elementach budowy układu ruchu.



Włókna kolagenowe.



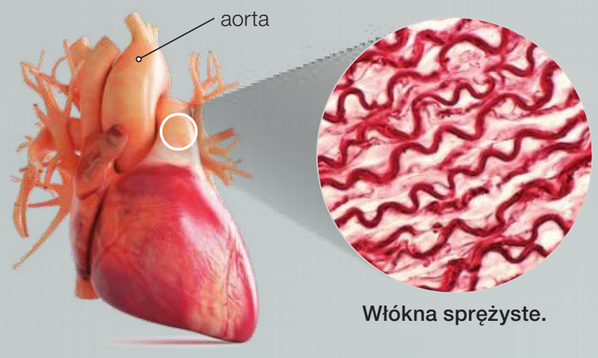
Cząsteczka kolagenu.

Dużą zawartością kolagenu charakteryzują się ścięgna (włókniste pasma przytwierdzające mięśnie do kości) oraz więzadła (pasma wzmacniające stawy). Kolagen jest również podstawowym składnikiem chrząstki szklistej (→ s. 248) budującej powierzchnie stawowe kości.

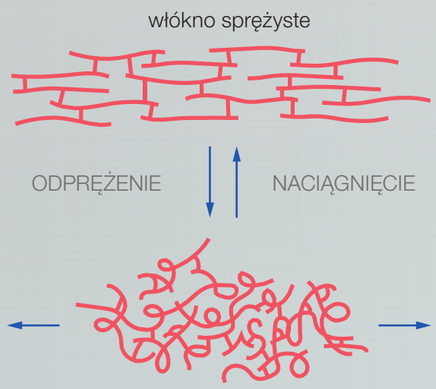
Dowiedz się więcej

Elastyna

Włókna elastynowe są pojedynczymi włóknami połączonymi w sieci. Mogą zostać rozciągnięte, po czym dzięki siłom sprężystości wracają do poprzedniego stanu. Występują w skórze i w strukturach, które się kurczą i rozciągają (np. płuca i naczynia krwionośne).



Włókna sprężyste.



Dużą zawartością elastyny charakteryzują się tętnice, zwłaszcza aorta. Płynie w nich krew o wysokim ciśnieniu. Dzięki włóknom elastynowym aorta może się kurczyć i rozciągać bez ryzyka rozerwania.

Tkanka łączna właściwa

Tkanka łączna właściwa jest zbudowana z komórek oraz z substancji międzykomórkowej, której podstawowym składnikiem są związki organiczne. Główne komórki tej tkanki to wrzecionowate **fibroblasty** wytwarzające liczne wypustki. W tkance łącznej właściwej mogą też występować komórki tkanki tłuszczowej oraz niektóre rodzaje białych krwinek (np. makrofagi).

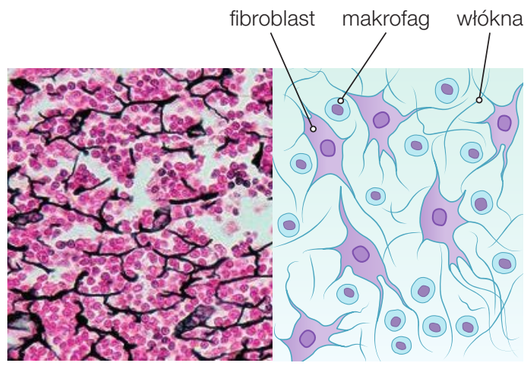
Tkanka łączna właściwa pełni w organizmie trzy główne funkcje:

- stanowi zrąb (rusztowanie), na którym opierają się narządy oraz tkanki, a także zapewnia im ochronę mechaniczną,
- pośredniczy w wymianie substancji między krwią a innymi tkankami,
- bierze udział w reakcjach odpornościowych organizmu i w regeneracji narządów.

Tkankę łączną właściwą dzieli się m.in. na tkankę siateczkowatą, tkankę włóknistą luźną i tkankę włóknistą zbitą.

Tkanka siateczkowa

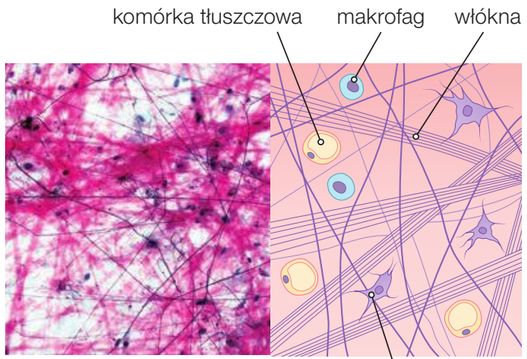
Tkanka siateczkowa jest zbudowana głównie z fibroblastów oraz z substancji podstawowej, zawierającej m.in. delikatne włókna kolagenowe. Komórki tej tkanki tworzą charakterystyczną sieć, w której okach znajduje się substancja międzykomórkowa. W obrębie tkanki mogą też występować makrofagi (rodzaj białych krwinek). Tkanka siateczkowa jest podstawową tkanką tworzącą **szpik kostny**, **węzły limfatyczne** i **śledzionę**.



Tkanka siateczkowa.

Tkanka włóknista luźna

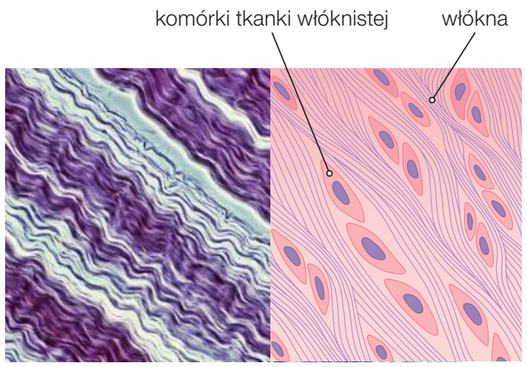
Tkanka włóknista luźna (wiotka) składa się z różnych rodzajów komórek, m.in. fibroblastów, oraz z dużej ilości substancji podstawowej, w której są zanurzone nieregularnie ułożone włókna kolagenowe i włókna sprężyste. To właśnie ta tkanka stanowi **rusztowanie**, na którym opierają się inne tkanki budujące narządy. Wypełnia również wolne **przestrzenie między narządami**.



Tkanka włóknista luźna.

Tkanka włóknista zbita

Tkanka włóknista zbita (zwarta) składa się z niewielkiej liczby komórek, małej ilości substancji podstawowej, a także licznych i ciasno upakowanych włókien białkowych, głównie kolagenowych, zgrupowanych w pęczki. Tkanka zbita, w której włókna są ułożone równolegle, buduje m.in. **ścięgna** i **więzadła**, natomiast tkanka zbita o nieregularnym układzie włókien tworzy **skórę właściwą kręgowców**.



Tkanka włóknista zbita.

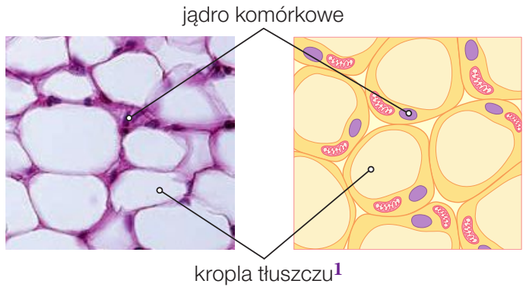
Tkanka tłuszczowa

Tkanka tłuszczowa jest zbudowana z komórek, które są wyspecjalizowane w gromadzeniu i metabolizowaniu tłuszczów, oraz z niewielkiej ilości substancji międzykomórkowej. Tkanka tłuszczowa ma dwie postacie – żółtą i brunatną.

Tkanka tłuszczowa żółta

Tkanka tłuszczowa żółta znajduje się pod skórą, wokół narządów wewnętrznych i wewnątrz jam szpikowych. Tkanka ta pełni funkcje:

- **termoizolacyjną** – chroni organizm przed nadmierną utratą ciepła,
- **amortyzującą** – otacza narządy wewnętrzne, chroniąc je przed urazami mechanicznymi,
- **zapasową** – magazynuje tłuszcz, który jest substratem energetycznym,
- **wydzielniczą** – wydziela hormony, które regulują procesy metaboliczne w organizmie.

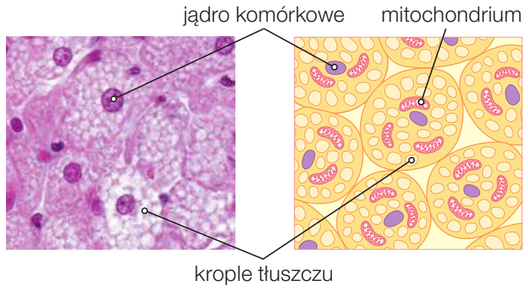


Każdą komórkę tkanki tłuszczowej żółtej wypełnia duża kropla tłuszczu. Taka budowa sprawia, że jądra komórkowe znajdują się tuż przy błonie komórkowej.

Tkanka tłuszczowa brunatna

Tkanka tłuszczowa brunatna występuje przede wszystkim u zwierząt, które zapadają w hibernację (sen zimowy). Mają ją też niewielkie ssaki, które szybko tracą ciepło ze względu na dużą powierzchnię ciała w stosunku do jego objętości. U człowieka tkanka tłuszczowa brunatna występuje głównie u niemowląt.

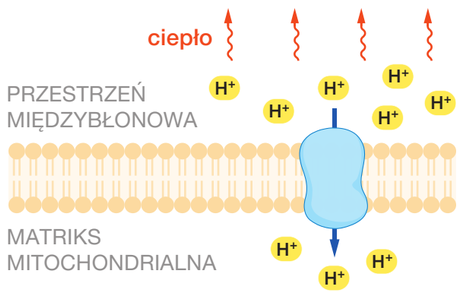
Tkanka tłuszczowa brunatna pełni funkcję **termoregulacyjną**. W sytuacji wychłodzenia organizmu zawarty w niej tłuszcz jest rozkładany, a niemal całość uwolnionej energii zamienia się w ciepło. Dodatkowo znajdujące się w tej tkance włókna nerwowe powodują rozszerzanie licznych naczyń krwionośnych, przez co zwiększa się objętość przepływającej przez nie krwi. Dzięki temu ciepło jest szybko rozprowadzane po całym organizmie, co m.in. pozwala na utrzymanie odpowiedniej temperatury ciała i wybudzenie ze stanu hibernacji.



Komórki tkanki tłuszczowej brunatnej mają centralnie położone jądra komórkowe, wiele małych kropli tłuszczu oraz liczne mitochondria.

Mechanizm generowania ciepła przez tkankę tłuszczową brunatną

W wewnętrznej błonie mitochondriów tkanki tłuszczowej brunatnej znajduje się białko kanałowe zwane **termogeniną**. Białko to zgodnie z gradientem stężeń transportuje protony zmagazynowane w przestrzeni międzybłonowej do matriks mitochondrialnej, a energia transportu elektronów rozprasza się w postaci ciepła. Skutkiem ubocznym tego procesu jest zmniejszenie produkcji ATP przez syntazę ATP.



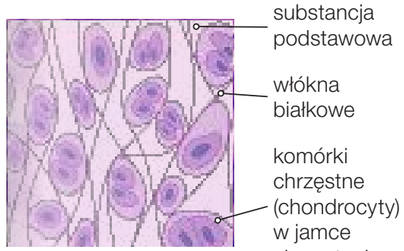
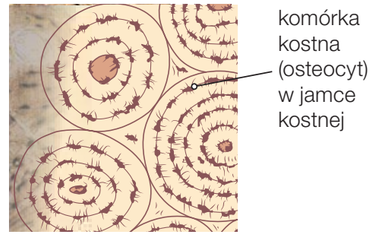
[1] Kropla tłuszczu została usunięta w wyniku utrwalenia preparatu – to dlatego na fotografii widoczne jest jedynie puste miejsce.

Tkanka łączna podporowa

Tkanka łączna podporowa (szkieletowa) jest zbudowana z komórek oraz z substancji międzykomórkowej, która często zawiera nierozpuszczalne sole mineralne. Tkanka łączna podporowa występuje u wszystkich kręgowców oraz u jednej grupy bezkręgowców – głowonogów (→ s. 307). Tkanka ta pełni głównie funkcje mechaniczne – stanowi przyczep mięśni odpowiadających za ruch i utrzymywanie postawy ciała. Jej rolą jest także ochrona narządów wewnętrznych.

Wyróżnia się dwa rodzaje tkanki łącznej podporowej – tkankę chrzęstną i tkankę kostną.

Porównanie rodzajów tkanki łącznej podporowej

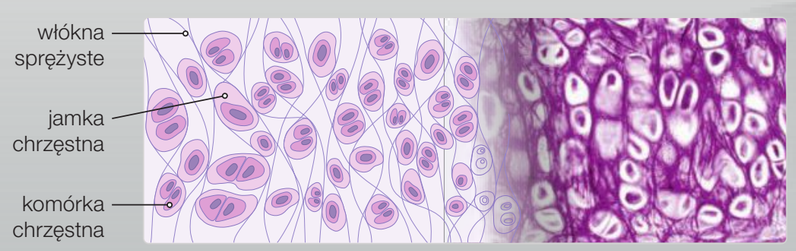
Cechy	Tkanka chrzęstna	Tkanka kostna
Budowa ogólna		
Substancja międzykomórkowa	Składa się: • ze sztywnej istoty podstawowej, • z licznych włókien białkowych.	Składa się: • z twardej istoty podstawowej, która zawiera sole mineralne (głównie fosforan wapnia), • z włókien kolagenowych, które zapewniają tkance elastyczność.
Komórki	**Chondrocyty** – dojrzałe komórki chrzęstne, które występują w jamkach chrzęstnych pojedynczo lub po kilka.	**Osteocyty** – dojrzałe komórki kostne, które występują w jamkach kostnych pojedynczo. Osteocyty są połączone ze sobą kanalikami kostnymi.
	Chondroblasty – komórki chrząstkotwórcze, które mają zdolność do podziałów komórkowych i zdolność wytwarzania substancji międzykomórkowej.	**Osteoblasty** – komórki kościotwórcze, które mają zdolność do podziałów komórkowych i zdolność wytwarzania substancji międzykomórkowej.
	Chondroklasty – komórki chrząstkogubne, które uczestniczą w rozkładzie tkanki chrzęstnej, np. podczas przebudowy i wzrostu szkieletu (tkanka chrzęstna jest wówczas zastępowana tkanką kostną).	**Osteoklasty** – komórki kościogubne, które umożliwiają niszczenie martwej lub zbędnej tkanki kostnej.
Unaczynienie i unerwienie	Nie występują – transport substancji między chrząstką a innymi tkankami zachodzi na drodze dyfuzji przez substancję międzykomórkową.	Występują.

Tkanka podporowa w organizmie człowieka

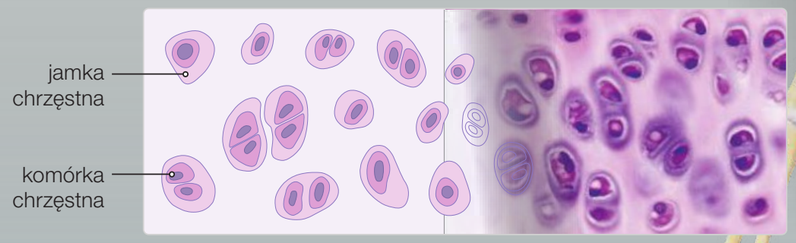
Tkanka podporowa pełni funkcję ochronną i funkcję mechaniczną – utrzymuje organizm we właściwej pozycji, a także umożliwia ruch. Wyróżnia się dwa główne rodzaje tkanki podporowej – tkankę chrzęstną i tkankę kostną.

Rodzaje tkanki chrzęstnej

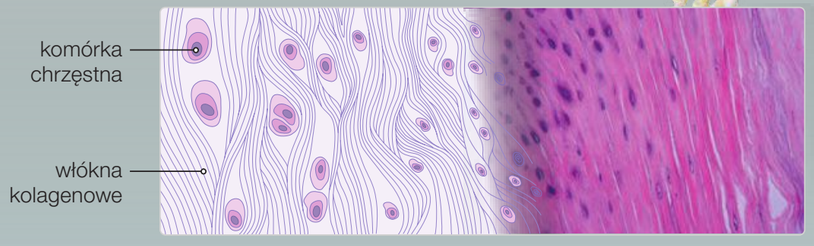
Istnieją trzy rodzaje tkanki chrzęstnej: tkanka chrzęstna sprężysta, tkanka chrzęstna szklista oraz tkanka chrzęstna włóknista. Różnią się one budową oraz funkcjami, jakie pełnią w organizmie.



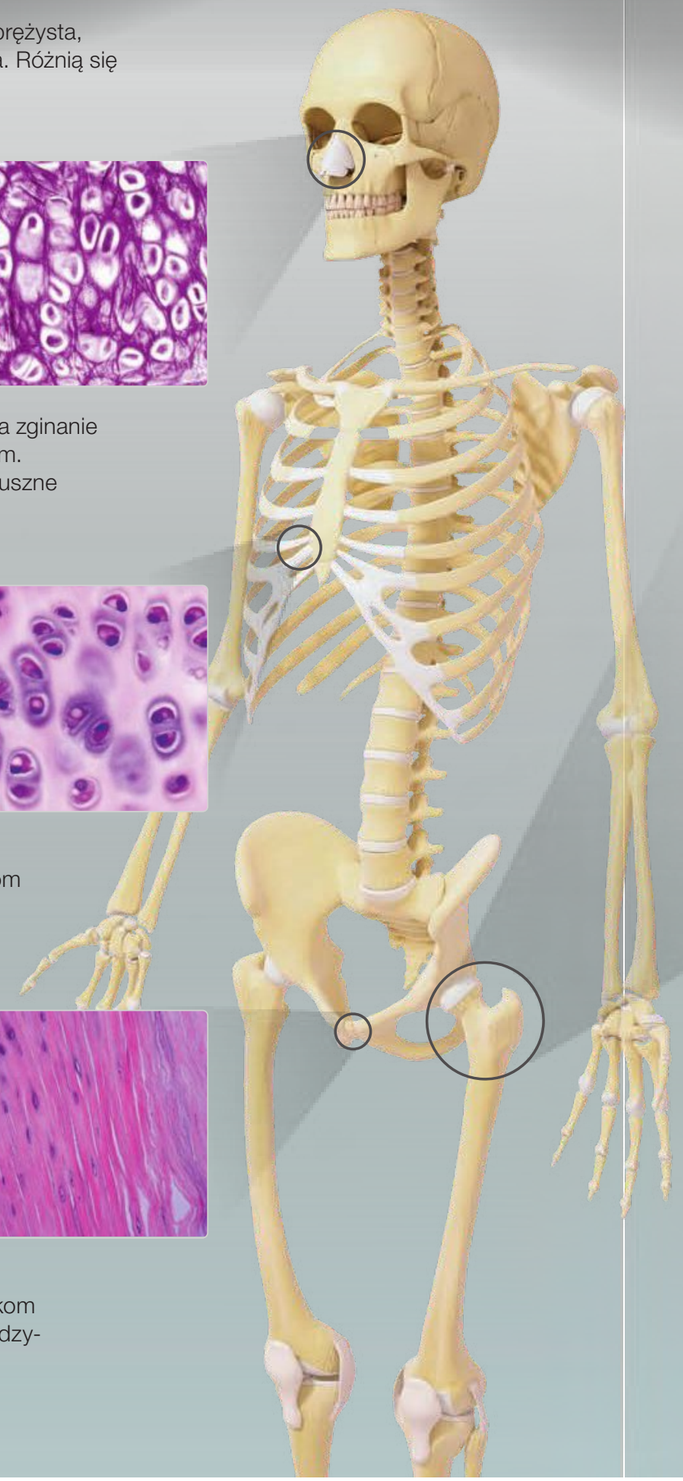
Tkanka chrzęstna sprężysta jest elastyczna i podatna na zginanie dzięki licznym nieregularnie ułożonym włóknom sprężystym. Tkanka ta buduje m.in. część chrzęstną nosa, małżowiny uszne i elementy krtani.



Tkanka chrzęstna szklista jest wyjątkowo wytrzymała na ścieranie dzięki gęsto i równomiernie ułożonym włóknom kolagenowym. Tkanka ta buduje m.in. powierzchnie stawowe kości oraz połączenia żeber i mostka.

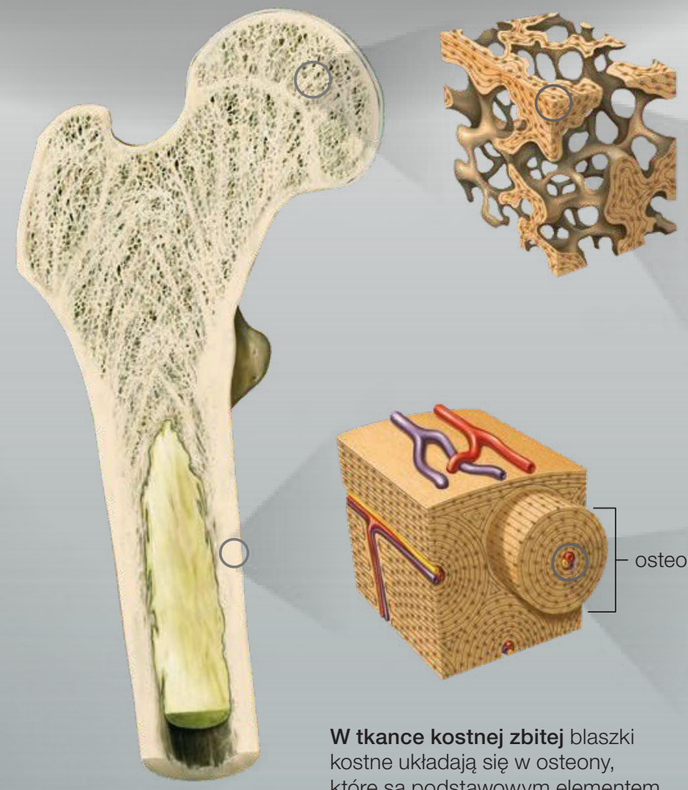


Tkanka chrzęstna włóknista jest bardzo wytrzymała na rozerwanie dzięki grubym i równolegle ułożonym pęczkom włókien kolagenowych. Tkanka ta buduje m.in. krążki międzykręgowe oraz spojenie łonowe.

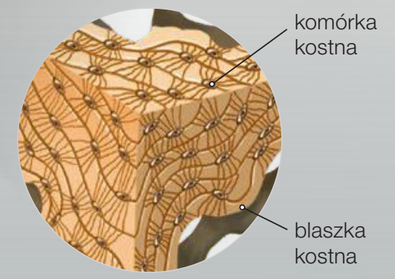


Rodzaje tkanki kostnej

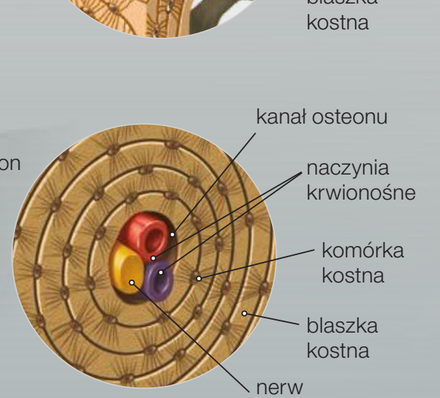
Wyróżnia się dwa rodzaje tkanki kostnej – tkankę kostną zbitą i tkankę kostną gąbczastą. **Tkanka kostna zbita** buduje m.in. trzony kości długich oraz zewnętrzne warstwy kości płaskich. Odznacza się dużą wytrzymałością mechaniczną. Z kolei **tkanka kostna gąbczasta** występuje w nasadach kości długich i wewnątrz kości płaskich. Pełni funkcje podporowe i jest magazynem soli mineralnych, głównie fosforanu wapnia (ich wykorzystanie zależy od potrzeb organizmu).

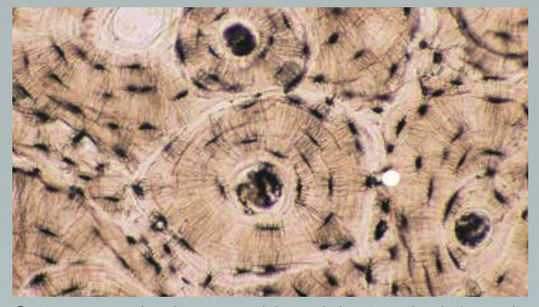


W tkance kostnej gąbczastej blaszki kostne tworzą beleczki kostne o luźnym układzie, który zależy od kierunku sił działających na kość.

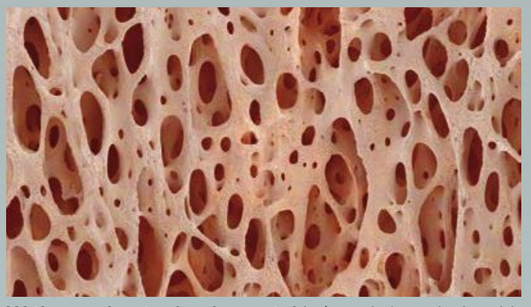


W tkance kostnej zbitej blaszki kostne układają się w osteony, które są podstawowym elementem strukturalnym kości.





Osteony są zbudowane z blaszek kostnych ułożonych koncentrycznie wokół kanału osteonu. Kanałem tym biegną naczynia krwionośne odżywiające kość oraz nerwy.



W tkance kostnej gąbczastej luźno ułożone beleczki kostne tworzą przestrzenną sieć. Między nimi znajduje się szpik kostny.

Tkanki łączne płynne

Tkanka łączna płynna składa się z płynnej substancji międzykomórkowej, w której są zawieszone wyspecjalizowane komórki (lub ich fragmenty) zwane krwinkami. Wyróżnia się trzy rodzaje tkanki łącznej płynnej: krew, limfę i hemolimfę.

Krew

Krew jest tkanką płynną, która występuje u zwierząt o zamkniętym układzie krwionośnym. Oznacza to, że krew krąży wyłącznie wewnątrz naczyń krwionośnych. U większości zwierząt krew transportuje substancje odżywcze, produkty przemiany materii, a także tlen i dwutlenek węgla. Bierze ona udział w termoregulacji i w reakcjach odpornościowych.

Krew składa się z:

- **osocza**, czyli płynnej substancji międzykomórkowej. Osocze zawiera:
  - wodę (ok. 90%),
  - związki organiczne (ok. 9%), np. białka,
  - związki nieorganiczne (ok. 1%), np. aniony wodorowęglanowe (HCO_3^-);
- **elementów morfotycznych (krwinek)**, czyli wyspecjalizowanych komórek lub ich fragmentów, które powstają w czerwonym szpiku kostnym. Wyróżnia się:
  - **krwinki czerwone (erytrocyty)** – transportują tlen i dwutlenek węgla,
  - **krwinki białe (leukocyty)** – uczestniczą w reakcjach obronnych organizmu,
  - **trombocyty** lub **płytki krwi** (u ssaków) – biorą udział w procesie krzepnięcia krwi.

Limfa

Limfa (chłonka) jest tkanką płynną, która powstaje na skutek przenikania nadmiaru płynu tkankowego z przestrzeni międzykomórkowych do naczyń limfatycznych. Jej skład jest podobny do składu osocza. Limfa zawiera też dużą liczbę leukocytów. Funkcją limfy jest m.in. transport tłuszczów i udział w reakcjach obronnych organizmu.

Hemolimfa

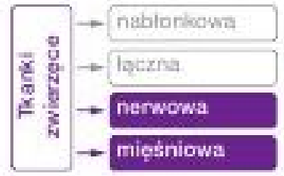
Hemolimfa to tkanka płynna, która występuje u zwierząt o otwartym układzie krwionośnym. Oznacza to, że hemolimfa przepływa systemem naczyń krwionośnych, a następnie wylewa się do jamy ciała i powraca do naczyń. Pełni funkcje analogiczne do krwi i limfy. Występuje m.in. u stawonogów (→s. 296) i mięczaków (→s. 309).



Polecenia kontrolne

1. Podaj elementy budowy tkanki łącznej.
2. Skonstruuj w zeszycie tabelę, w której porównasz rodzaje tkanki chrzęstnej. Uwzględnij budowę tkanek, ich funkcje oraz miejsce występowania w organizmie człowieka.
3. Wyjaśnij, jakie znaczenie mają komórki kościotwórcze i komórki kościogubne podczas złamania kości.

4.4. Tkanki nerwowa i mięśniowa



Ważne w tym temacie!

- związek między budową a funkcjami tkanek nerwowej i mięśniowej

Tkanki nerwowa i mięśniowa są nazywane tkankami pobudliwymi, ponieważ ich komórki charakteryzują się **pobudliwością**, czyli zdolnością reagowania na bodźce docierające ze środowiska zewnętrznego lub ze środowiska wewnętrznego organizmu. Reakcja ta może polegać na zmianie struktury komórki lub jej funkcjonowania. Tkanka nerwowa powstaje głównie z ektodermy, a tkanka mięśniowa – z mezodermy.

Tkanka nerwowa

Tkanka nerwowa buduje układ nerwowy, który koordynuje i kontroluje wszystkie czynności życiowe organizmu.

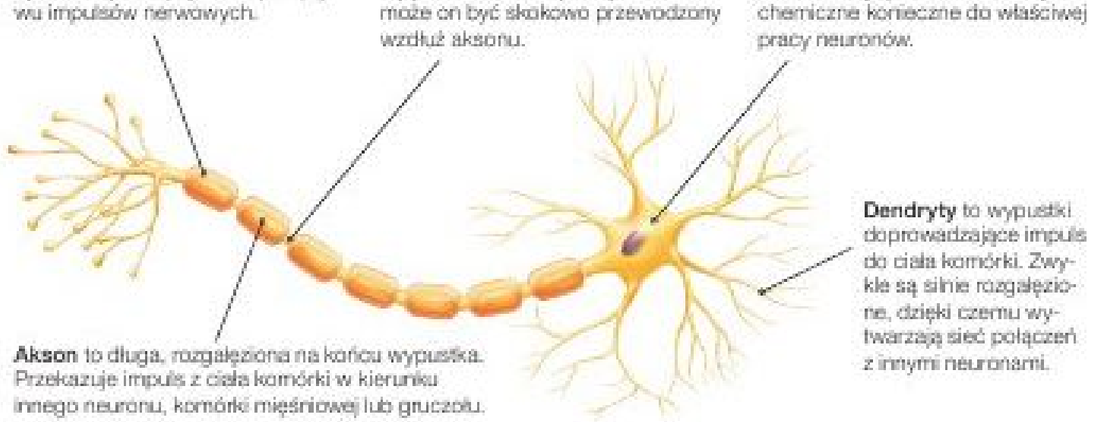
W skład tkanki nerwowej wchodzą neurony (komórki nerwowe) i komórki glejowe.

Neurony

Komórki nerwowe odbierają informacje pochodzące z wnętrza organizmu lub ze środowiska zewnętrznego. Następnie przetwarzają je i przesyłają dalej w postaci **impulsów elektrycznych**, zwanych impulsami nerwowymi. Neurony mogą przekazać impulsy nerwowe innym neuronom bądź komórkom narządów wykonawczych – mięśniom lub gruczołom. Pod wpływem impulsu nerwowego mięśnie reagują skurczem, a gruczoły – wydzieleniem substancji.

Budowa neuronu

Komórki nerwowe są bardzo aktywne metabolicznie, dlatego charakteryzują się m.in. rozbudowanym aparatem Golgiego, dużą liczbą mitochondriów oraz dobrze rozwiniętą siateczką śródplazmatyczną.

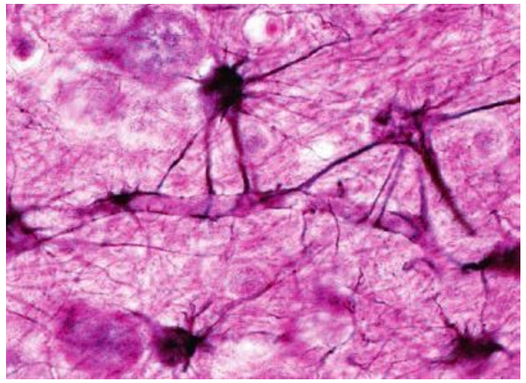


Przewodzenie impulsów nerwowych

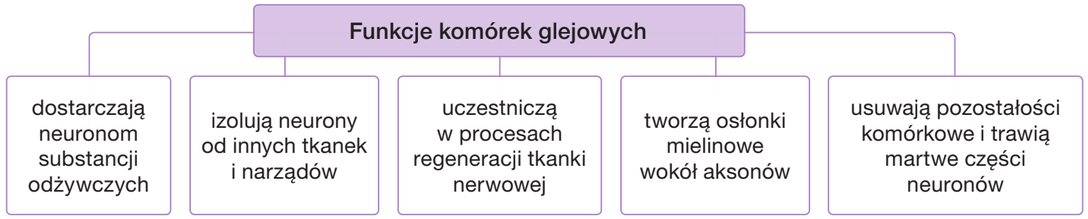
W warunkach fizjologicznych neurony przewodzą impulsy nerwowe tylko w jednym kierunku: od dendrytów, przez ciało komórki, do zakończeń aksonu. Przekazywanie impulsu nerwowego między aksonami a innymi komórkami jest możliwe dzięki synapsom.

Komórki glejowe

Komórki glejowe współdziałają z neuronami. Obecność komórek glejowych w tkance nerwowej jest niezbędna, ponieważ neurony są komórkami wysoko wyspecjalizowanymi, które utraciły zdolność wykonywania pewnych czynności życiowych.



Astrocyty (obraz spod mikroskopu optycznego) to komórki glejowe, które biorą udział w transporcie substancji oraz w naprawie tkanki nerwowej po urazach. Pełnią też funkcję podporową.

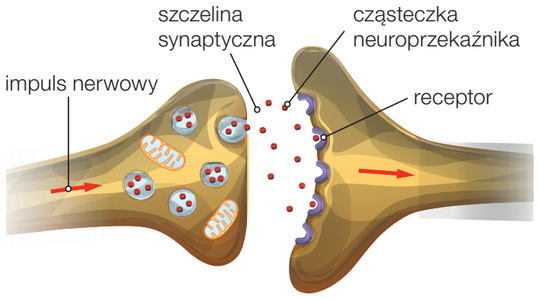


Synapsy

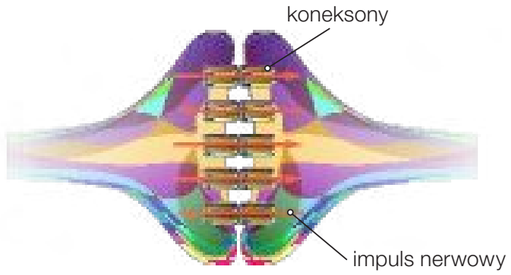
Synapsy to połączenia neuronu z innym neuronem, receptorem, komórką mięśniową lub komórką gruczołową, które pozwalają na przekazywanie impulsu nerwowego.

Rodzaje synaps

Ze względu na sposób przewodzenia impulsu wyróżnia się dwa rodzaje synaps – synapsę chemiczną i synapsę elektryczną.



W synapsach chemicznych impuls nerwowy jest przekazywany między komórkami w jednym kierunku za pomocą związku chemicznego – **neuroprzekaźnika**. Związek ten jest wydzielany przez neuron do szczeliny synaptycznej i wiązany przez receptory drugiej komórki. Z tego względu pobudzenie jest przekazywane wolniej niż w synapsach elektrycznych.



W synapsach elektrycznych impuls nerwowy jest przekazywany bezpośrednio z jednej komórki do drugiej w obu kierunkach przez kanały **koneksonów** (połączenia szczelinowe). Dzięki temu pobudzenie może być przekazywane szybciej niż w synapsach chemicznych.

Funkcjonowanie neuronów

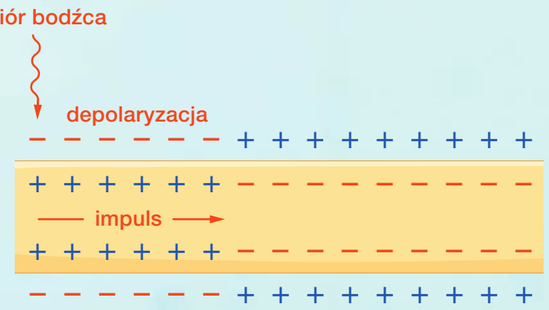
Neurony pod wpływem bodźca przechodzą ze stanu spoczynku w stan pobudzenia. Oznacza to, że dochodzi w nich do powstawania i przewodzenia impulsu nerwowego. Podstawą pobudliwości neuronu są zjawiska elektrochemiczne zachodzące w błonie komórkowej, które są związane z transportem jonów.

Ogólny mechanizm przewodzenia impulsu nerwowego

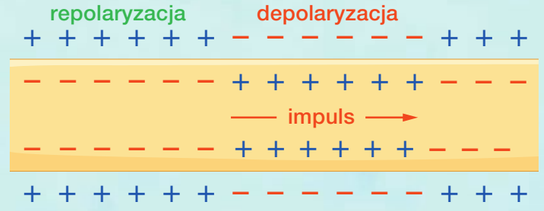
1 W stanie spoczynku wewnątrz neuronu znajduje się więcej jonów ujemnych niż jonów dodatnich, a w płynie pozakomórkowym – więcej jonów dodatnich niż jonów ujemnych. Jest to stan **polaryzacji**.



2 Odbiór bodźca wywołuje w neuronie stan pobudzenia. Jest on spowodowany **depolaryzacją**, czyli masowym przepływem jonów dodatnich z płynu pozakomórkowego do wnętrza neuronu i chwilową zmianą proporcji ładunków między dwoma środowiskami.



3 Stan pobudzenia przemieszcza się wzdłuż neuronu. Jednocześnie wcześniejsze odcinki neuronu przechodzą w stan spoczynku dzięki **repolaryzacji**.



Tkanka mięśniowa

Tkanka mięśniowa pozwala organizmom na wykonywanie ruchów i na utrzymywanie postawy ciała. Ma również znaczenie termoregulacyjne, ponieważ pracy mięśni towarzyszy uwalnianie ciepła.

Tkanka mięśniowa ma zdolność wykonywania skurczów, których wynikiem jest zmiana długości lub napięcia komórek mięśniowych. Komórki tkanki mięśniowej zawierają podstawowe organelle właściwe komórce zwierzęcej oraz elementy cytoszkieletu zbudowane z białek – **aktyny** (miofilamenty cienkie) i **miozyny** (miofilamenty grube).

Tkankę mięśniową dzieli się na tkankę mięśniową poprzecznie prążkowaną szkieletową, tkankę mięśniową poprzecznie prążkowaną serca oraz tkankę mięśniową gładką.

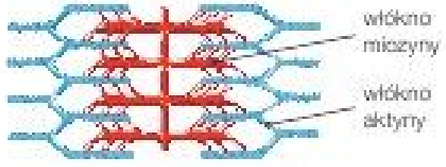
Porównanie rodzajów tkanki mięśniowej

Cecha	Tkanka mięśniowa poprzecznie prążkowana szkieletowa	Tkanka mięśniowa poprzecznie prążkowana serca	Tkanka mięśniowa gładka
Liczba i ułożenie jąder komórkowych	duża liczba jąder komórkowych ułożonych peryferyjnie pod błoną komórkową	jedno lub dwa jądra komórkowe położone centralnie	zwykle jedno jądro komórkowe położone centralnie
Kształt komórek	cylindryczny	cylindryczny o widlasto rozgałęzionych końcach	wrzecionowaty
Występowanie wstawek	nie występują	występują	nie występują
Charakterystyka skurczów	silne i szybkie	słabsze niż skurcze mięśni szkieletowych, szybkie	powolne i długotrwałe
Zależność skurczów od woli	zwykle zależne od woli	niezależne od woli	niezależne od woli
Przykłady miejsc występowania	mięśnie szkieletowe	mięsień sercowy	macica, jelito, żołądek, tętnice

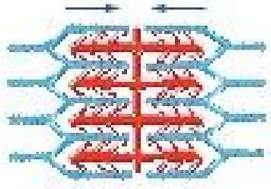
Skurcz mięśnia

Do skurczu mięśnia dochodzi zwykle pod wpływem impulsu nerwowego przesyłanego przez neurony. Impuls nerwowy wywołuje stan pobudzenia błony komórkowej komórki mięśniowej. Stan ten skutkuje przesuwaniem się względem siebie miofilamentów aktynowych i miozynowych, co wpływa na skrócenie włókien mięśniowych i prowadzi do skurczu mięśnia.

Rozkurcz mięśnia



Skurcz mięśnia

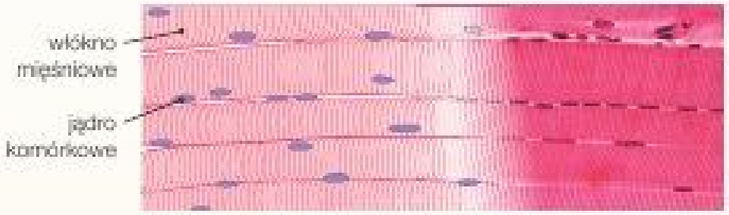


Rodzaje tkanki mięśniowej

Poszczególne rodzaje tkanki mięśniowej różnią się budową komórek i sposobem funkcjonowania.

Tkanka mięśniowa poprzecznie prążkowana szkieletowa

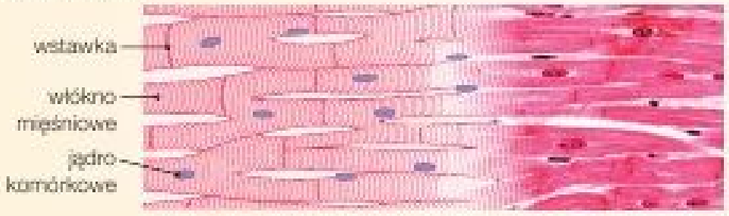
Z tkanki mięśniowej poprzecznie prążkowanej szkieletowej są zbudowane mięśnie szkieletowe, np. mięsień dwugłowy ramienia. Podstawowym elementem strukturalnym tej tkanki są długie i wielojądrowe włókna mięśniowe. Włókna mięśniowe powstają w wyniku łączenia się wielu pojedynczych jednojądrowych komórek mięśniowych – są więc syncytiami. Skurcz mięśni poprzecznie prążkowanych jest zwykle zależny od woli, szybki i silny.

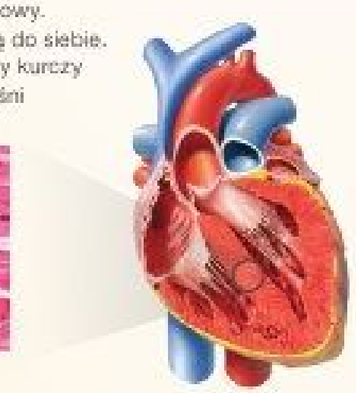




Tkanka mięśniowa poprzecznie prążkowana serca

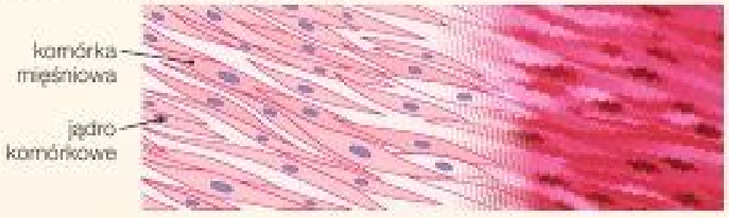
Tkanka mięśniowa poprzecznie prążkowana serca buduje mięsień sercowy. Komórki tej tkanki mają widlasto rozgałęzione końce, którymi przylegają do siebie. Miejsca styku komórek są widoczne jako tzw. wstawki. Mięsień sercowy kurczy się niezależnie od woli. Skurcze są szybkie, ale słabsze niż skurcze mięśni szkieletowych.





Tkanka mięśniowa gładka

Tkanka mięśniowa gładka buduje ściany wielu narządów wewnętrznych, m.in. naczyń krwionośnych, jelita, żołądka i macicy. Komórki tej tkanki mają wrzecionowaty kształt. Mięśnie gładkie kurczą się niezależnie od woli, a ich skurcze są powolne i trwają dłużej niż skurcze mięśni szkieletowych.

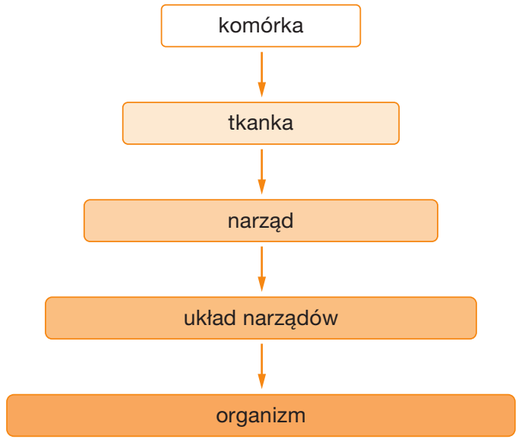




Poziomy organizacji budowy ciała zwierząt

Podstawową jednostką budulcową i funkcjonalną organizmu jest **komórka**. Komórki o wspólnym pochodzeniu, podobnej budowie i podobnej funkcji łączą się w zespoły, czyli **tkanki**. W organizmach zwierząt tkanki tworzą **narządy** – struktury wyspecjalizowane w wykonywaniu określonych czynności. Narządy są zwykle zbudowane z kilku typów tkanek. Na przykład serce jest zbudowane głównie z tkanki mięśniowej, ale jego powierzchnię oraz jamy pokrywają tkanki nabłonkowa i łączna, a jego pracę kontroluje tkanka nerwowa. Narządy, które współuczestniczą w określonych czynnościach życiowych zwierząt, tworzą **układy narządów**. Większość grup zwierząt tkankowych ma następujące układy narządów: powłokowy, szkieletowy, mięśniowy, pokarmowy, oddechowy, krwionośny, limfatyczny, wydalniczy, dokrewny, nerwowy i rozrodczy.

Niektóre grupy zwierząt mają układy narządów charakterystyczne wyłącznie dla nich, np. u szkarłupni występuje układ wodny, niespotykany u innych zwierząt (→ s. 316). Układy narządów współdziałają ze sobą i tworzą funkcjonalną całość – **organizm**.

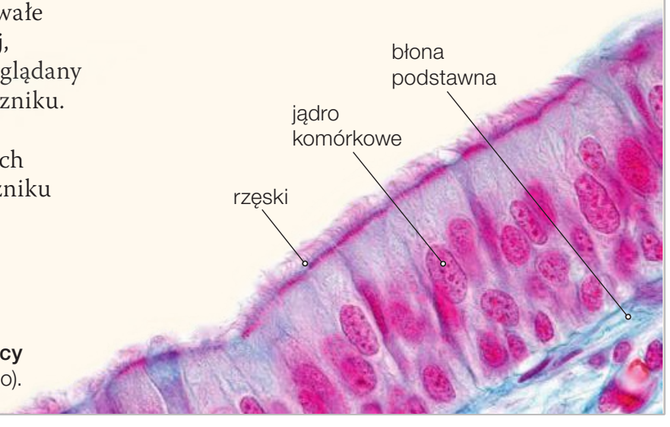


Hierarchiczna budowa organizmu zwierzęcego.

Obserwacja

Obserwacja mikroskopowa preparatów trwałych tkanek zwierzęcych

Przygotuj dostępne w szkole preparaty trwałe tkanek zwierzęcych: nabłonkowej, łącznej, mięśniowej i nerwowej. Porównaj obraz oglądany pod mikroskopem z rysunkami w podręczniku. Wskaż charakterystyczne elementy poszczególnych tkanek. Czy na preparatach są widoczne wszystkie opisane w podręczniku elementy tkanek?

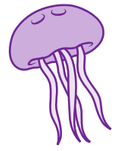


Nabłonek wielorzędowy orzęsiony tchawicy (obraz spod mikroskopu optycznego).

Polecenia kontrolne

1. Przedstaw przystosowania w budowie neuronu do przewodzenia i przekazywania impulsów nerwowych.
2. Porównaj rodzaje tkanek mięśniowych (tkanka poprzecznie prążkowana szkieletowa, tkanka poprzecznie prążkowana serca i tkanka gładka) pod względem miejsc występowania, budowy, a także szybkości i siły skurczów.
3. Na podstawie wiarygodnych źródeł przedstaw poziomy organizacji organizmu człowieka (od komórki do organizmu) – z uwzględnieniem serca jako narządu.

4.5. Parzydełkowce – zwierzęta dwuwarstwowe



Ważne w tym temacie!

- cechy charakterystyczne parzydełkowców

Parzydełkowce żyją wyłącznie w środowisku wodnym, głównie w morzach i oceanach. Prowadzą wolno żyjący lub osiadły tryb życia. W zależności od gatunku żyją samotnie lub tworzą kolonie.

Wśród parzydełkowców wyróżnia się cztery grupy systematyczne: stułbiopławy, krążkopławy, kubopławy i koralowce.

Ogólna budowa ciała parzydełkowców

Parzydełkowce należą do dwuwarstwowców, ponieważ ich tkanki wywodzą się z dwóch listków zarodkowych – **ektodermy** i **endodermy**. Organizmy te charakteryzują się symetrią promienistą i **dwupostaciowością**, czyli występowaniem dorosłych osobników w dwóch formach: polipa i meduzy. Niektóre gatunki występują tylko pod postacią meduzy (np. meduza świecąca), a inne – tylko pod postacią polipa (np. koralowce).

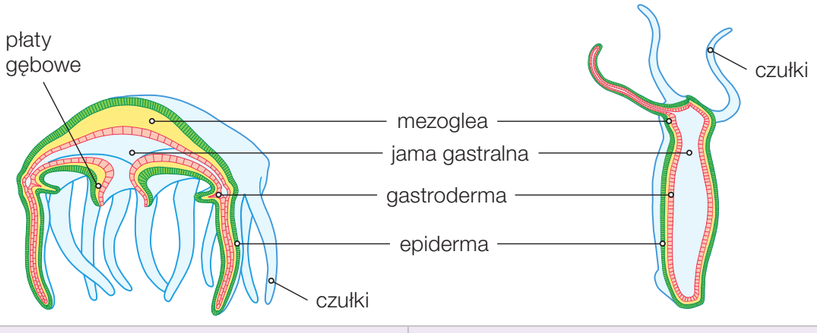
Pokrycie ciała parzydełkowców

Ścianę ciała parzydełkowców budują dwie warstwy komórek:

- **epiderma** – warstwa wywodząca się z ektodermy; okrywa ciało od zewnątrz,
- **gastroderma** – warstwa wewnętrzna powstała z endodermy; wyściela jamę gastralną.

Warstwy te są rozdzielone galaretowatą substancją – **mezogleą**. Ciało wielu parzydełkowców wzmacnia szkielet zewnętrzny, który jest zbudowany z węglanu wapnia (np. korale madreporowe tworzące rafy koralowe).

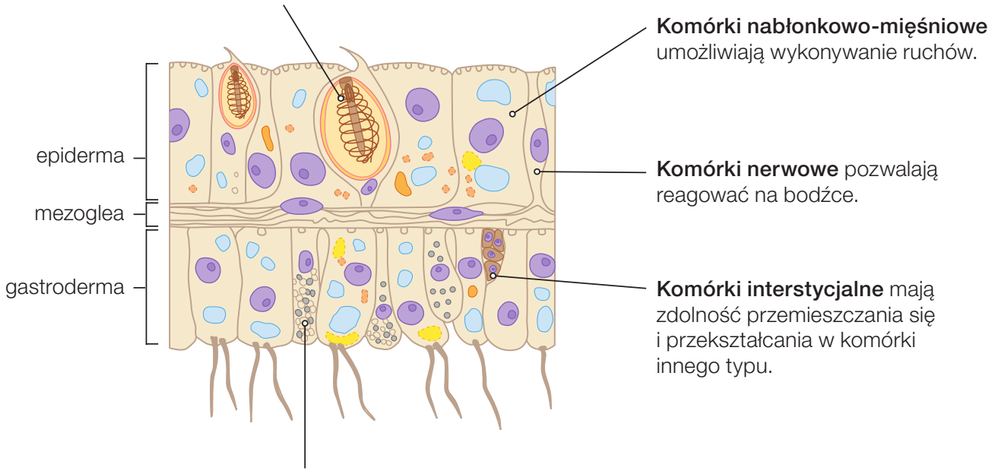
Porównanie cech charakterystycznych meduzy i polipa

Cecha	Meduza	Polip
Budowa ogólna		
Kształt ciała	parasolowaty (dzwonowaty)	cylindryczny
Tryb życia	wolno żyjący	osiadły
Lokalizacja otworu gębowego	spodnia strona ciała	górna strona ciała
Warstwa mezoglei	gruba	cienka
Rodzaj symetrii ciała	promienista	promienista

Budowa ściany ciała parzydełkowców

W skład epidermy i gastrodermy wchodzi kilka rodzajów komórek.

Komórki parzydełkowe służą do ataku i obrony. Występują głównie na czułkach i płatach gębowych. Podrażnienie wyrostka czuciowego powoduje najpierw wyrzucenie nici, która wbija się w ciało ofiary, a następnie wypłynięcie płynu obezwładniającego ofiarę.

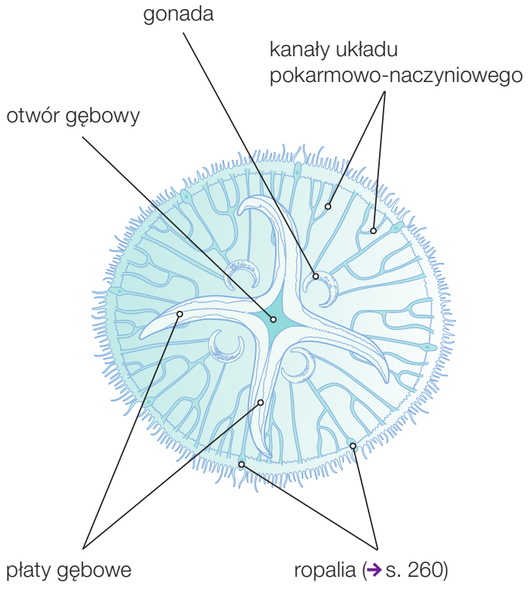


Układ pokarmowy parzydełkowców

Parzydełkowce są zwierzętami drapieżnymi. Chwytają zdobycz za pomocą płatów gębowych lub czułków, obezwładniają ją parzydełkami, a następnie wprowadzają przez **otwór gębowy** do **jamy gastralnej**. W jamie gastralnej zachodzi trawienie pokarmu, które obejmuje dwa etapy:

1. **trawienie zewnątrzkomórkowe** – odbywa się ono z udziałem enzymów wydzielanych do jamy gastralnej przez komórki gruczołowe gastrodermy,
2. **trawienie wewnątrzkomórkowe** – odbywa się ono z udziałem lizosomów znajdujących się w komórkach trawiennych gastrodermy.

Jama gastralna meduz składa się z części centralnej i z systemu kanałów. Kanały tworzą **układ pokarmowo-naczyniowy**, który pełni funkcję trawienną i rozprowadza substancje pokarmowe wewnątrz ciała meduzy. Niestrawione resztki pokarmu są usuwane na zewnątrz przez otwór gębowy.



Budowa meduzy na przykładzie chełbi modrej (widok od spodu).

Różnorodność parzydełkowców

Krążkopławy

Krążkopławy występują wyłącznie w wodach słonych. Dominującą formą jest parasolowata meduza, która żyje dłużej od polipa i osiąga znacznie większe rozmiary.

Bełtwa festonowa zamieszkuje głównie zimne wody głębinowe. Należy do największych bezkręgowców świata – jej średnica może osiągać 2 m, a długość czułków dochodzi do 30 m.



Stułbiopławy

Zwierzęta te żyją w wodach słonych i słodkich. Osobniki dorosłe występują w postaci zarówno polipa, jak i meduzy, przy czym formą dominującą jest polip. Niektóre gatunki występują wyłącznie w postaci polipa.

Stułbia płowa jest gatunkiem słodkowodnym. Występuje wyłącznie w postaci polipa. Osiąga ok. 1 cm wysokości.



Kubopławy

Do tej grupy należą parzydełkowce żyjące w ciepłych wodach morskich. Formą dominującą jest meduza, która w odróżnieniu od meduzy krążkopławów ma sześcienny kształt.

Chironex fleckeri występuje w przybrzeżnych wodach Oceanu Spokojnego i Oceanu Indyjskiego. Jej komórki parzydełkowe wytwarzają jad, który jest jedną z najsilniejszych trucizn zwierzęcych.



Koralowce

Do koralowców należą zwierzęta występujące tylko w wodach morskich. Mają wyłącznie postać polipów. Żyją pojedynczo lub w koloniach.

Koral szlachetny występuje przede wszystkim w wodach Morza Śródziemnego, gdzie tworzy drzewkowate kolonie osiągające ok. 30 cm wysokości. Osobniki korala szlachetnego są otoczone twardym szkieletem.



Ukwiał koński zamieszkuje ciepłe morza o dużym zasoleniu. Podobnie jak inne ukwiały nie wytwarza szkieletu i żyje pojedynczo.



Wymiana gazowa u parzydełkowców

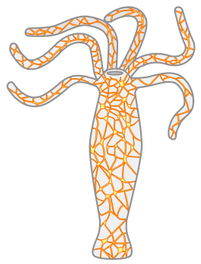
Parzydełkowce **nie mają układu oddechowego**, a wymiana gazowa odbywa się u nich całą powierzchnią ciała. Jest to możliwe, ponieważ prawie każda komórka ciała parzydełkowców ma kontakt z wodą – w wodzie zaś jest rozpuszczony tlen.

Transport substancji u parzydełkowców

Parzydełkowce **nie mają układu krwionośnego** – transport substancji zachodzi u nich dzięki obecności układu pokarmowo-naczyniowego (→ s. 258).

Układ nerwowy parzydełkowców

Układ nerwowy parzydełkowców jest bardzo prosty. Składa się z gwiaździstych komórek nerwowych epidermy i gastrodermy, które łączą się ze sobą wypustkami, tworząc sieć. Taki układ nerwowy nazywa się **układem rozproszonym** lub **siateczkowym**.



Rozproszony układ nerwowy parzydełkowca.

Narządy zmysłów

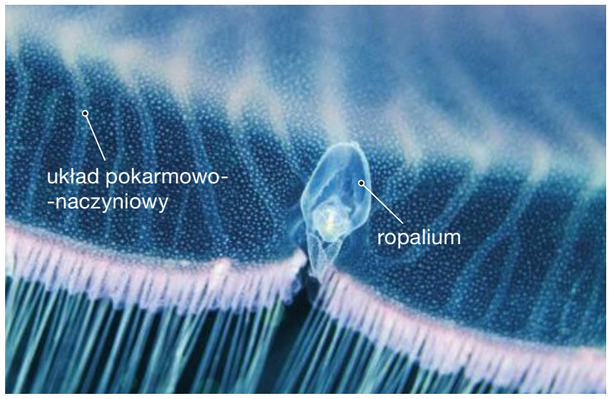
U parzydełkowców bodźce mechaniczne i chemiczne, które pochodzą ze środowiska zewnętrznego, są odbierane przez **komórki zmysłowe epidermy**. W obwodowej części parasola meduz znajdują się ciałka brzeżne (ropalia).

Układ wydalniczy parzydełkowców

Parzydełkowce **nie mają układu wydalniczego** – zbędne produkty przemiany materii wydalają najpierw do jamy gastralnej, a następnie na zewnątrz ciała (u większości gatunków przez otwór gębowy).

Ropalia

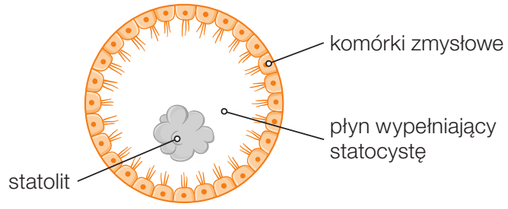
Ropalia (ciałka brzeżne) to narządy zmysłów występujące u meduz. Składają się ze statocysty (narządu równowagi), z receptorów chemicznych oraz ze skupisk komórek światłoczułych (tzw. oczek).



Ropalia są równomiernie rozmieszczone wzdłuż brzegu parasola meduz.

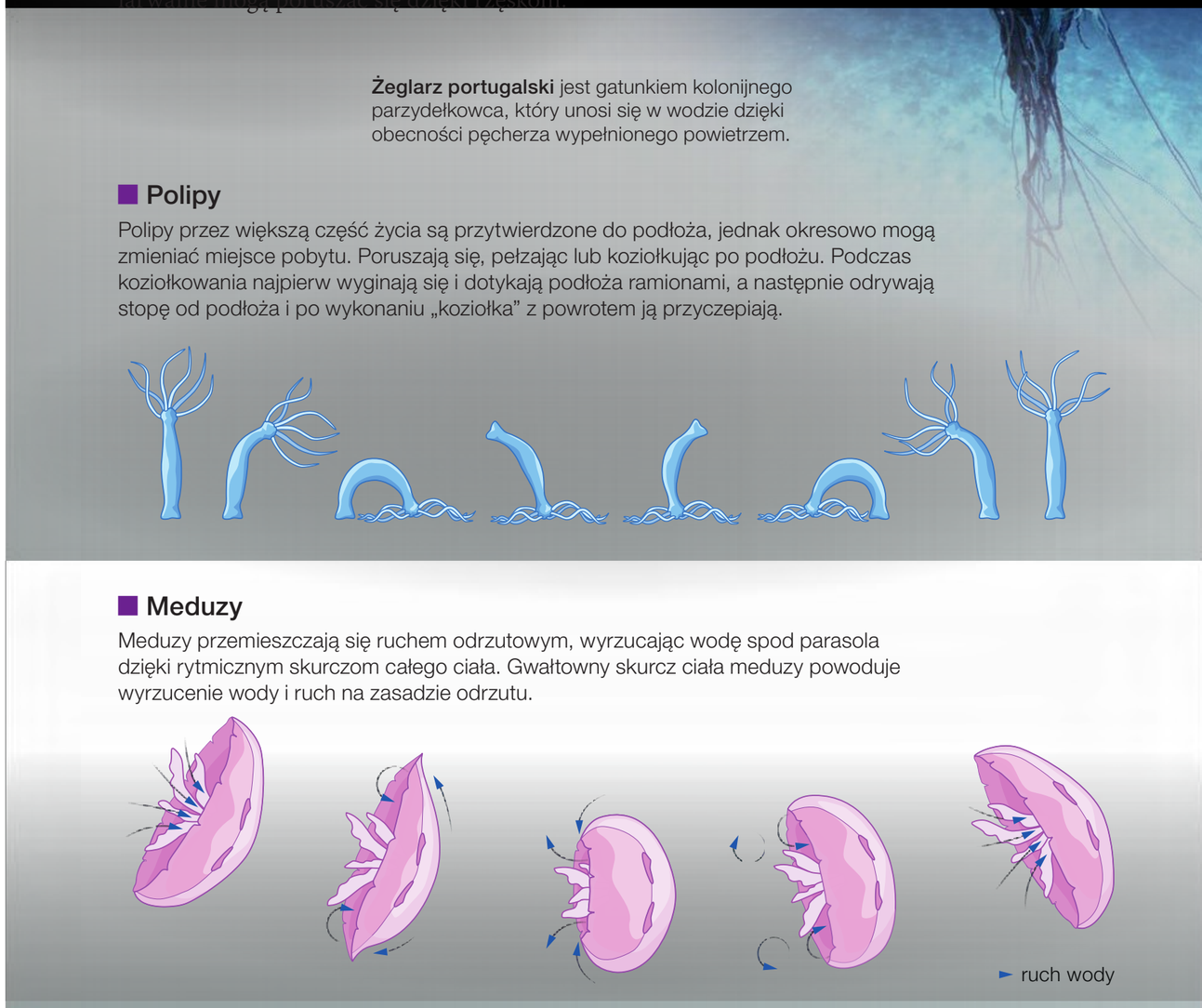
Budowa i działanie statocysty

Statocysta to pęcherzyk wypełniony płynem i wyścielony urzęsionymi komórkami zmysłowymi. Wewnątrz statocysty znajduje się mineralny **statolit** przypominający kształtem ziarno piasku. Poruszanie się meduzy wpływa na ruch statolitu, który pobudza komórki zmysłowe i informuje organizm o zmianie położenia ciała.



Sposoby poruszania się parzydełkowców

Dorosłe parzydełkowce poruszają się dzięki skurczom komórek nabłonkowo-mięśniowych epidermy i gastrodermy. Z kolei niektóre formy larwalne mogą poruszać się dzięki rzęskom.



Żeglarz portugalski jest gatunkiem kolonijnego parzydełkowca, który unosi się w wodzie dzięki obecności pęcherza wypełnionego powietrzem.

Polipy

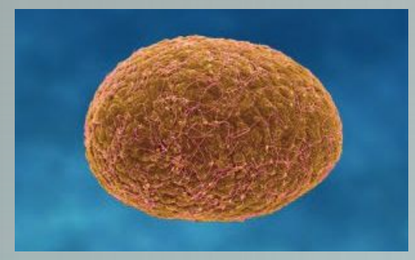
Polipy przez większą część życia są przytwierdzone do podłoża, jednak okresowo mogą zmieniać miejsce pobytu. Poruszają się, pełzając lub koziołkując po podłożu. Podczas koziołkowania najpierw wyginają się i dotykają podłoża ramionami, a następnie odrywają stopę od podłoża i po wykonaniu „koziołka" z powrotem ją przyczepiają.

Meduzy

Meduzy przemieszczają się ruchem odrzutowym, wyrzucając wodę spod parasola dzięki rytmicznym skurczom całego ciała. Gwałtowny skurcz ciała meduzy powoduje wyrzucenie wody i ruch na zasadzie odrzutu.

Larwy

U niektórych parzydełkowców występuje orzęsiona larwa – **planula**. Dzięki ruchowi rzęsek planula przemieszcza się w toni wodnej, a po kilku godzinach przyczepia się do podłoża i przekształca w polipa.



Planula kubopławа (obraz spod SEM, barwiony komputerowo).

Rozmnażanie i rozwój parzydełkowców

Parzydełkowce mogą rozmnażać się **bezpłciowo lub płciowo**. U części gatunków występuje **partenogeneza** (dzieworództwo), czyli rozwój osobników potomnych z niezapłodnionych komórek jajowych[1].

Rozmnażanie bezpłciowe

Rozmnażanie bezpłciowe występuje głównie u polipów i odbywa się najczęściej przez pączkowanie, podział poprzeczny, podział podłużny lub strobilizację (wielokrotny podział poprzeczny).

Podczas **pączkowania** młody osobnik rozwija się ze ściany ciała osobnika dorosłego. Niekiedy polipy powstałe w wyniku pączkowania nie oddzielają się od osobnika macierzystego, co prowadzi do powstania kolonii czasowych lub kolonii stałych (np. stułbiopławy kolonijne).

Rozmnażanie przez podział to podział ciała organizmu rodzicielskiego na dwa organizmy potomne. Wyróżnia się:

- **podział podłużny** – gdy podział przebiega wzdłuż głównej osi ciała organizmu rodzicielskiego,
- **podział poprzeczny** – gdy podział przebiega w poprzek głównej osi ciała organizmu rodzicielskiego.

Strobilizacja polega na poprzecznym podziale ciała polipa na liczne krążki, które stopniowo się odrywają i przekształcają w młodociane stadia meduz, zwane **efyrami**. W ciągu kilku tygodni efyry przeobrażają się w postać dorosłą.

Rozmnażanie płciowe

Rozmnażanie płciowe występuje najczęściej u meduz. Większość parzydełkowców jest **rozdzielnopłciowa** – osobniki żeńskie wytwarzają komórki jajowe, a osobniki męskie wytwarzają plemniki. Ich gamety powstają z komórek interstycjalnych znajdujących się w gonadach. U koralowców i niektórych stułbi gamety są wytwarzane przez polipy.

Zapłodnienie u parzydełkowców może być:

- **zewnętrzne**, jeśli odbywa się wodzie,
- **wewnętrzne**, jeśli odbywa się wewnątrz ciała osobnika rodzicielskiego.

Przemiana pokoleń

Większość gatunków parzydełkowców charakteryzuje się przemianą pokoleń. Polega ona na następowaniu po sobie rozmnażających się płciowo meduz i rozmnażających się bezpłciowo polipów. Oba pokolenia parzydełkowców – w odróżnieniu od roślin (→ s. 77) – są diploidalne. Z tego powodu przemianę u parzydełkowców określa się mianem **metagenezy**. Metageneza występuje np. u chełbi modrej (→ s. 263).

Rozwój

U parzydełkowców występują dwa typy rozwoju młodocianych osobników:

- **rozwój prosty** – młody osobnik jest bardzo podobny do osobnika dorosłego i prowadzi zbliżony do niego tryb życia,
- **rozwój złożony** – z jaj wylęgają się formy młodociane (larwy), które często różnią się od osobnika dorosłego wyglądem i trybem życia.



Pączkowanie u polipa stułbi płowej.

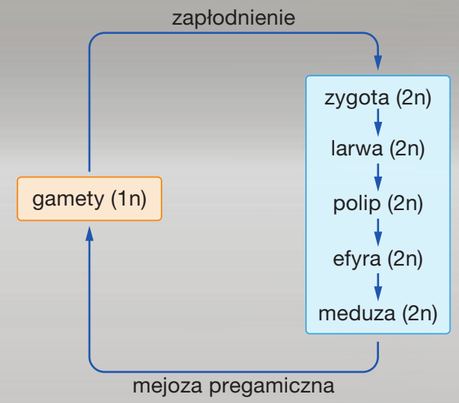


Stroblizacja u polipów *Phacellophora camtschatica*.

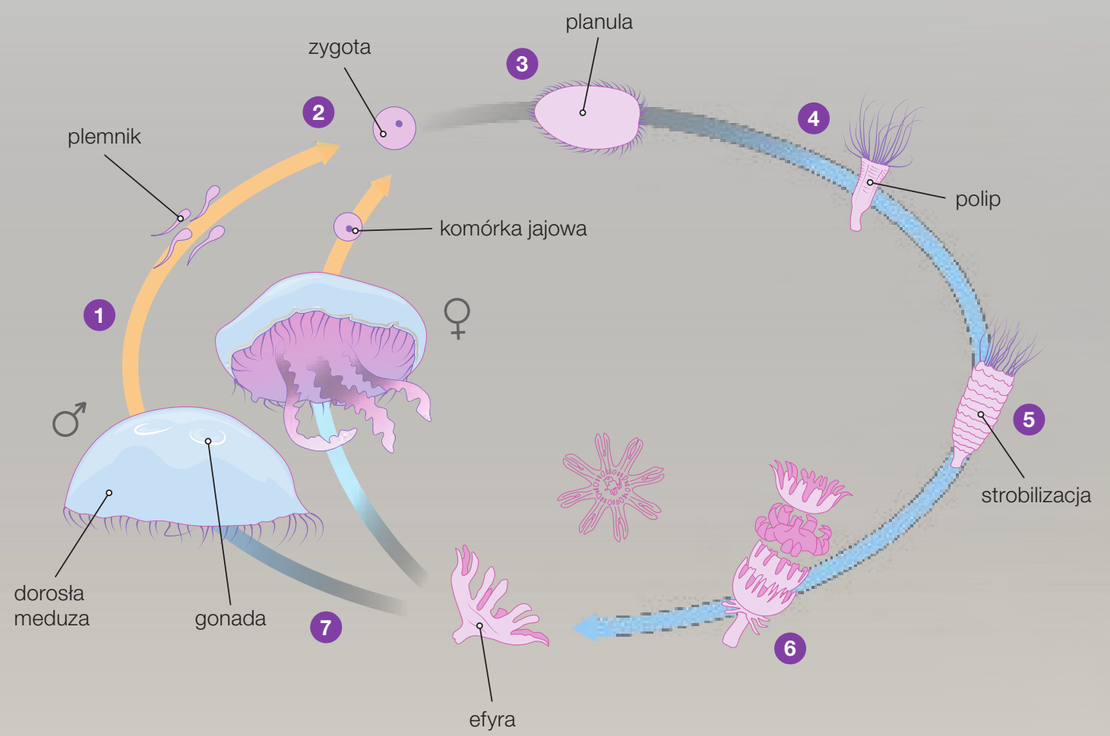
[1] Niektórzy badacze zaliczają partenogenezę do rozmnażania bezpłciowego, ponieważ nie dochodzi w niej do zapłodnienia, inni zaś – do rozmnażania płciowego, gdyż zachodzi ona z udziałem gamety żeńskiej.

Cykl rozwojowy chełbi modrej

Chełbia modra to pospolity gatunek parzydełkowca, który żyje w Morzu Bałtyckim. W cyklu rozwojowym chełbi występuje metageneza (→ s. 262). Meduzy są rozdzielnopłciowe, rozmnażają się płciowo i wytwarzają gamety na drodze mejozy pregamicznej (→ s. 40). Z kolei polipy są pokoleniem rozmnażającym się bezpłciowo przez strobilizację. Ponadto u chełbi modrej zachodzi rozwój złożony, ponieważ występuje w nim postać larwalna – planula.



Przemiana faz jądrowych u chełbi modrej.



1. Dojrzałe płciowo meduzy wytwarzają gamety, które są wyrzucane do wody przez otwór gębowy.
2. Gamety łączą się ze sobą podczas zapłodnienia – w ten sposób tworzy się **zygota**. Zapłodnienie ma charakter zewnętrzny, ponieważ odbywa się poza ciałem osobnika rodzicielskiego.
3. Z zygoty rozwija się swobodnie pływająca orzęsiona larwa – **planula**.
4. Po kilku dniach planula opada na dno i przekształca się w **polipa**.
5. Gdy polip osiągnie odpowiedni rozmiar, zaczyna rozmnażać się bezpłciowo przez **strobilizację**.
6. Od strobilizującego polipa odrywają się **efyry** – młode meduzy.
7. Po kilku miesiącach efyry dojrzewają i przekształcają się w **dorosłe meduzy**.

Znaczenie parzydełkowców w przyrodzie i dla człowieka

Ekosystemy raf koralowych

Wśród koralowców wytwarzających szkielet ważną grupę stanowią korale madreporowe. Występują one głównie w wodach strefy międzyzwrotnikowej Oceanu Atlantyckiego, Oceanu Spokojnego i Oceanu Indyjskiego – w miejscach, w których temperatura nie spada poniżej 20°C, a zasolenie jest odpowiednio wysokie. Niektóre gatunki korali madreporowych żyją w symbiozie z fotosyntetyzującymi protistami, od których czerpią część związków organicznych. Korale żyją w olbrzymich koloniach i tworzą rafy koralowe – jedne z najbogatszych ekosystemów świata. Rafy koralowe wpływają na zmniejszenie falowania wód oceanicznych, a utworzone przez nie laguny są miejscem życia licznych gatunków zwierząt. W dawnych epokach geologicznych wskutek wypiętrzania się raf koralowych powstały niektóre masywy górskie, m.in. Dolomity w Alpach.





Kolonie koralowców stanowią podłoże dla licznych zwierząt osiadłych, np. dla żachw, które należą do strunowców.



Korona cierniowa to gatunek rozgwiazdy, która odżywia się koralowcami. Jej masowe pojawy niszczą duże obszary raf koralowych, co zagraża biocenozie tego ekosystemu.



Kolonie koralowców dają schronienie wielu zwierzętom wodnym, np. pławikonikowi *Hippocampus bargibanti*. Ryba ta przypomina wyglądem fragment kolonii koralowców.



Medycyna i biologia molekularna

Z meduzy *Aequorea victoria* izoluje się białko GFP, które wykazuje zieloną fluorescencję pod wpływem naświetlania światłem o odpowiedniej długości fali. Białko GFP wykorzystuje się m.in. w badaniach ekspresji genów, a także podczas lokalizacji i transportu białek w komórce.



Struktura trzeciorzędowa białka GFP.

Materiał jubilerski

Różowy, czerwony i biały koral szlachetny to ceniony przez jubilerów materiał służący do wyrobu ozdób, m.in. biżuterii.



Zagrożenie dla zdrowia człowieka

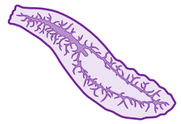
Wiele gatunków parzydełkowców może stanowić zagrożenie dla zdrowia i życia człowieka. Szczególnie niebezpieczne są kubopławy, które wytwarzają bardzo silny jad.



Polecenia kontrolne

1. Scharakteryzuj ogólną budowę polipa i meduzy.
2. Przedstaw różnice w budowie epidermy i gastrodermy parzydełkowców.
3. Opisz sposoby poruszania się parzydełkowców.
4. Przedstaw cykl rozwojowy chełbi modrej. Określ, które stadium rozmnaża się płciowo, a które – bezpłciowo.

4.6. Płazińce – zwierzęta spłaszczone grzbieto-brzusznie



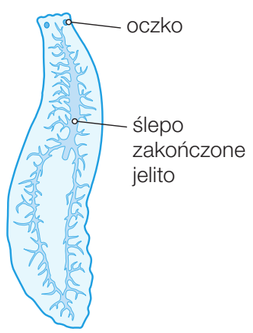
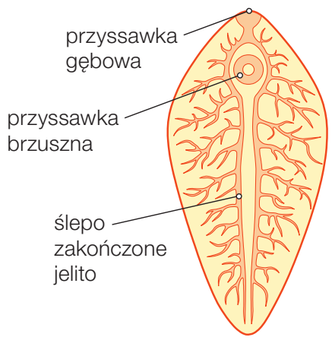
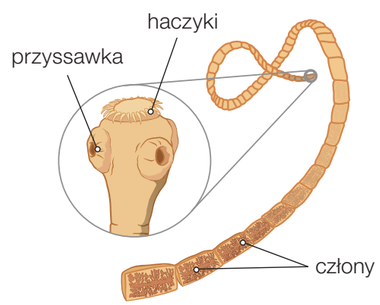
Ważne w tym temacie!
- cechy charakterystyczne płazińców
- przystosowania płazińców do pasożytnictwa

Płazińce to zwierzęta o wydłużonym i spłaszczonym grzbieto-brzusznie ciele. Kształtem przypominają liść lub kawałek taśmy, dlatego nazywa się je również robakami płaskimi. Do płazińców należą m.in. wolno żyjące **wirkokształtne**, które zasiedlają głównie środowiska wodne, a także **przywry** i **tasiemce**, które pasożytują na zwierzętach.

Ogólna budowa ciała płazińców

Płazińce należą do zwierząt **trójwarstwowych**. W ich rozwoju zarodkowym, oprócz endodermy i ektodermy, pojawia się **mezoderma**. Ciało płazińców jest dwubocznie symetryczne – z tego względu wyróżnia się u nich stronę prawą i stronę lewą. Płazińce to także zwierzęta **acelomatyczne** – nie mają one celomy, a pierwotną jamę ich ciała wypełnia **parenchyma**. Tkanka ta rozwija się z mezodermy i składa się z różnokształtnych komórek zanurzonych w substancji międzykomórkowej. Funkcją parenchymy jest m.in. rozprowadzanie substancji odżywczych do innych tkanek i magazynowanie substancji zapasowych. Przez parenchymę przebiegają też mięśnie grzbietobrzuszne, które spłaszczają ciało płazińców.

Porównanie budowy ciała płazińców wolno żyjących i pasożytniczych

Wolno żyjące wirkokształtne	Pasożytnicze przywry	Pasożytnicze tasiemce
• ciało zbudowane z odcinka głowowego i tułowia • brak przyssawek i haczyków • występowanie licznych narządów zmysłów (m.in. oczka) i rozgałęzionego jelita	• u większości ciało niepodzielone na odcinki • występowanie przyssawek – gębowej i brzusznej • zredukowane narządy zmysłów i uproszczony układ pokarmowy	• ciało zbudowane z główki, szyjki i członów • występowanie przyssawek i/lub haczyków na główce • zredukowane narządy zmysłów i brak układu pokarmowego
		
Wypławek biały.	**Motylica wątrobowa.**	**Tasiemiec uzbrojony.**

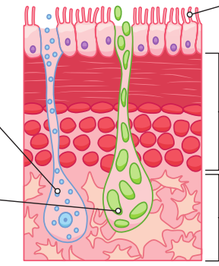
Pokrycie ciała płazińców

Ciało płazińców pokrywa wór powłokowo-mięśniowy. Budowa tej warstwy ciała jest związana z trybem życia.

- **Ciało wolno żyjących wirkokształtnych** jest pokryte jednowarstwowym nabłonkiem, pod którym znajdują się mięśnie okrężne i podłużne.

Gruczoły śluzowe produkują śluz, który m.in. ułatwia poruszanie się i wspomaga wymianę gazową.

Rabdity to struktury, które mogą być wyrzucane na zewnątrz ciała. Zawierają substancje, które w kontakcie z wodą pęcznieją i stają się lepkie. Rabdity pełnią funkcje obronne i ułatwiają zdobywanie pokarmu.



Rzęski na powierzchni nabłonka mają zdolność ruchu i biorą udział w poruszaniu się.

Mięśnie okrężne i podłużne mają zdolność kurczenia się. Razem z rzęskami biorą udział w poruszaniu się.

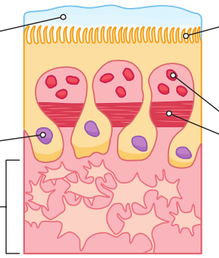
parenchyma

- **U pasożytniczych przywr i tasiemców** ciało pokrywa tzw. **neoderma**, która jest zbudowana z wielojądrowego syncytium. Pod neodermą znajdują się mięśnie okrężne i podłużne.

Glikokaliks to osłonka zbudowana z polisacharydów i białek, która m.in. chroni ciało pasożyta przed enzymami trawiennymi gospodarza.

jądro komórkowe

parenchyma



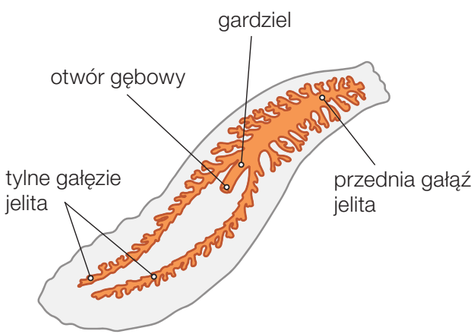
Wyrostki na powierzchni neodermy zwiększają powierzchnię wchłaniania pobieranych od żywiciela substancji odżywczych.

Mięśnie okrężne i podłużne biorą udział w poruszaniu się. Mięśnie te są mniej rozbudowane niż mięśnie wolno żyjących płazińców.

Układ pokarmowy płazińców

Gatunki wolno żyjące są zwykle drapieżnikami. W ich układzie pokarmowym po stronie brzusznej znajduje się **otwór gębowy**, który prowadzi do umięśnionej **gardzieli**. Gardziel może być wysuwana na zewnątrz ciała i służyć do chwytania pokarmu. Za gardzielą znajduje się jelito, w którym zachodzi trawienie. Jelito jest silnie rozgałęzione, co pozwala na rozprowadzanie substancji pokarmowych po całym ciele. Płazińce charakteryzują się **brakiem otworu odbytowego**. Niestrawione resztki pokarmu są usuwane na zewnątrz ciała przez otwór gębowy. W związku z tym kolejna porcja pożywienia może być pobrana dopiero po strawieniu wcześniejszej.

Niektóre płazińce pasożytnicze, m.in. tasiemce, nie mają układu pokarmowego – wchłaniają substancje odżywcze całą powierzchnią ciała.



Budowa układu pokarmowego wirkokształtnych.

Wymiana gazowa u płazińców

U płazińców **nie występuje układ oddechowy**.

Gatunki wolno żyjące oddychają tlenowo. Duży stosunek powierzchni ciała do jego objętości sprawia, że wymiana gazowa może zachodzić całą powierzchnią ciała.

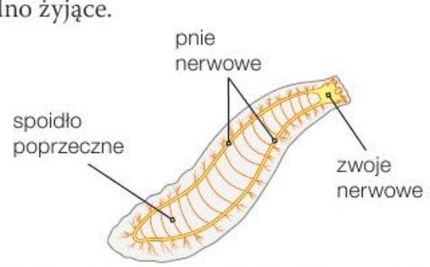
Pasożyty wewnętrzne uzyskują energię dzięki fermentacji. Fermentacja zaspokaja potrzeby energetyczne płazińców ze względu na ich niewielką aktywność ruchową.

Transport substancji u płazińców

Płazińce **nie mają układu krwionośnego**. Transport substancji w obrębie ciała odbywa się za pośrednictwem parenchymy oraz za pośrednictwem rozgałęzionego jelita (u niektórych gatunków).

Układ nerwowy płazińców

Płazińce mają **układ nerwowy typu pasmowego**. Składa się on z dwóch zwojów nerwowych, z pni nerwowych i ze spoideł poprzecznych. Gatunki pasożytnicze mają mniej rozbudowany układ nerwowy niż płazińce wolno żyjące.



Budowa układu nerwowego wirkokształtnych.

Narządy zmysłów

Wolno żyjące wirkokształtne mają dobrze wykształcone narządy zmysłów, które odbierają różne rodzaje bodźców:

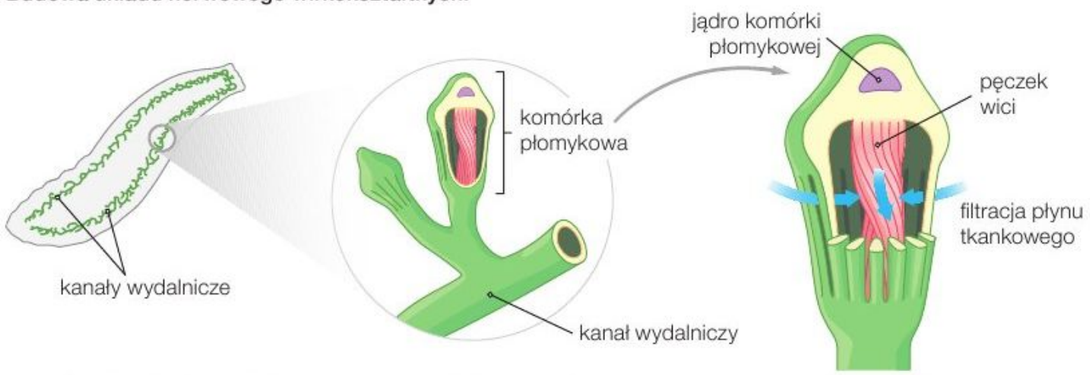
- oczka – bodźce świetlne,
- chemoreceptory – bodźce chemiczne,
- mechanoreceptory – bodźce dotykowe,
- statocysty – bodźce świadczące o zmianie położenia ciała.

U płazińców pasożytniczych narządy zmysłów są słabo rozwinięte – tasiemce mają jedynie komórki czuciowe, które znajdują się głównie na główce.

Układ wydalniczy płazińców

Płazińce mają układ wydalniczy typu **protonefrydialnego**. Składa się on z systemu rozgałęzionych **kanałów wydalniczych**, które biegną wzdłuż ciała, oraz z zaopatrzonych w pęczek wici **komórek płomykowych**. Komórki płomykowe filtrują płyn tkankowy wypełniający parenchymę. Z kolei kanały wydalnicze wyprowadzają usuwane związki na zewnątrz ciała.

Układ wydalniczy jest dobrze rozwinięty u płazińców słodkowodnych, które muszą stale usuwać nadmiar wody napływającej osmotycznie do wnętrza ich ciała. Natomiast płazińce pasożytnicze żyją w środowisku izotonicznym – z tego względu nie mają one skomplikowanych mechanizmów osmoregulacji.



W protonefrydiach komórki płomykowe absorbują z parenchymy nadmiar wody i zbędne produkty przemiany materii. Ruch wici komórek płomykowych powoduje przemieszczanie się usuwanych z organizmu związków – najpierw w głąb kanałów wydalniczych, a następnie na zewnątrz ciała przez otwory wydalnicze.

Rozmnażanie się i rozwój płazińców

Płazińce rozmnażają się głównie płciowo, ale może też dochodzić u nich do rozmnażania bezpłciowego lub partenogenezy (→s. 262).

Rozmnażanie bezpłciowe

Rozmnażanie bezpłciowe występuje m.in. u wirkokształtnych. Polega ono zazwyczaj na poprzecznym podziale ciała na części, z których następnie mogą rozwinąć się dorosłe osobniki. Ponadto rozmnażanie przez podział umożliwia wirkom regenerację ciała w razie jego uszkodzenia.

Rozmnażanie płciowe

Płazińce są na ogół obojnakami (hermafrodytami), co oznacza, że zawierają zarówno żeński, jak i męski układ rozrodczy. Zapłodnienie płazińców jest wewnętrzne.

U gatunków obojnaczych może dochodzić do:

- **samozapłodnienia** – jeśli gamety pochodzą od tego samego osobnika lub członu (tasiemce),
- **zapłodnienia krzyżowego** – jeśli gamety pochodzą od różnych osobników lub członów.

Rozwój

Wirkokształtne przechodzą zwykle **rozwój prosty**. Z jaj złożonych bezpośrednio do wody lub przyczepionych do roślin rozwijają się młode osobniki, które są podobne do osobników dorosłych.

U **pasożytniczych przywr** i **tasiemców** zachodzi skomplikowany **rozwój złożony**, w którym występuje zwykle więcej niż jeden rodzaj larw. Rozwój przywr i tasiemców jest często połączony ze zmianą żywiciela. Wyróżnia się:

- **żywicieli pośrednich**, czyli organizmy, w których przebywa postać larwalna pasożyta (nierozmnażająca się płciowo),
- **żywicieli ostatecznych**, czyli organizmy, w których przebywa postać dorosła pasożyta (rozmnażająca się płciowo).

Konsekwencją skomplikowanego rozwoju złożonego płazińców pasożytniczych jest ich wysoka śmiertelność, szczególnie w okresach oczekiwania na żywiciela. To dlatego zwierzęta te produkują ogromną liczbę jaj, a ich stadia larwalne są często zdolne do partenogenezy.

Dowiedz się więcej

Jak pasożyty zmieniają cechy swoich żywicieli?

Ciekawym przystosowaniem do pasożytnictwa jest wpływ pasożyta na cechy żywiciela. W oddziaływaniu takim pasożyt przejmuje częściową kontrolę nad organizmem żywiciela, co prowadzi do zmian w jego budowie, procesach fizjologicznych lub zachowaniu. Skutkiem tych zmian jest np. zmuszenie żywiciela do nawiązania bezpośredniego kontaktu z następnym żywicielem.



Motyliczka (obraz spod SEM).



Motyliczka – jeden z gatunków przywr – wykorzystuje w cyklu rozwojowym trzech żywicieli: ślimaka lądowego, mrówkę oraz owcę. Larwy tej przywry wydostają się na zewnątrz ciała ślimaka ze śluzem i są zjadane przez mrówki. W organizmie mrówki jedna z larw wędruje do mózgu i tworzy cystę. Cysta umiejscowiona w mózgu zaburza zachowanie mrówki – owad wspina się na pędy traw, a następnie przyczepia się do nich żuwaczkami. Dzięki temu jest łatwiej zjadany przez wypasające się owce.

Mrówka zarażona motyliczką (obraz spod SEM).

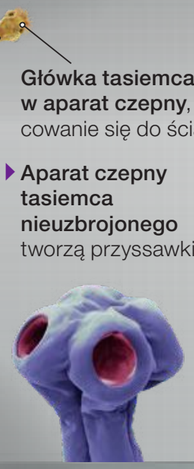
Przystosowania tasiemców do pasożytnictwa

Tasiemce wykształciły wiele cech umożliwiających prowadzenie pasożytniczego trybu życia. Przystosowania te obejmują zarówno budowę zewnętrzną, jak i budowę wewnętrzną.

Komórki występujące w szyjce tasiemca stale się dzielą i różnicują w człony. Zapewnia to ciągłość rozmnażania się, ponieważ każdy dojrzały człon wyprodukuje tysiące jaj.

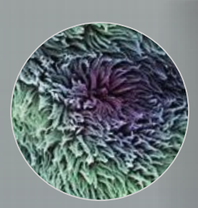
Główka tasiemca jest wyposażona w aparat czepny, który umożliwia przymocowanie się do ściany jelita żywiciela.

- **Aparat czepny tasiemca nieuzbrojonego** tworzą przyssawki.
- **Aparat czepny tasiemca uzbrojonego** tworzą przyssawki i haczyki.





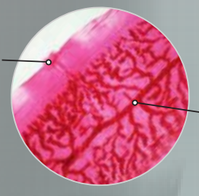
Ciało tasiemca jest pokryte glikokaliksem, który chroni przed strawieniem i reakcją układu odpornościowego żywiciela.



U tasiemca wchłanianie substancji odżywczych zachodzi całą powierzchnią ciała dzięki wyrostkom na powierzchni neodermy (tasiemce nie mają układu pokarmowego).

Tasiemiec uwalnia energię w procesie fermentacji, co umożliwia mu pasożytowanie wewnątrz ciała żywiciela w warunkach beztlenowych.

Ostatnie człony tasiemca są wypełnione jajami. Z czasem człony te odpadają i są wydalane wraz z kałem. W ten sposób tasiemiec rozprzestrzenia się w środowisku zewnętrznym.

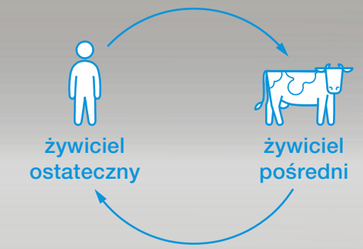


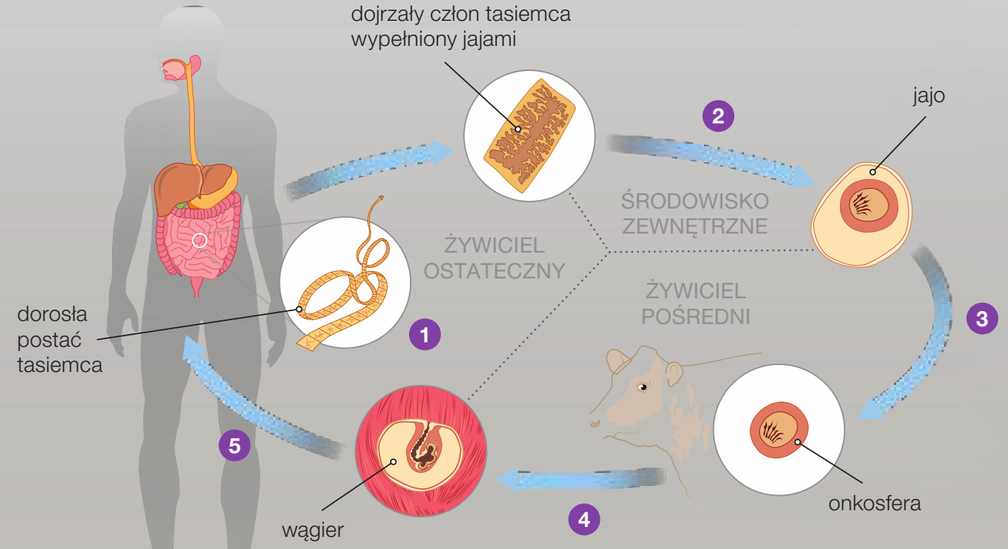
Człony tasiemca zawierają męskie i żeńskie narządy rozrodcze, dzięki czemu pojedynczy osobnik może rozmnażać się płciowo.

Każdy człon rozrodczy tasiemca produkuje ok. 100 tys. jaj – zwiększa to szanse na przedostanie się części potomstwa do ciała kolejnego żywiciela.

Cykl rozwojowy tasiemca nieuzbrojonego

W rozwoju tasiemca nieuzbrojonego występuje jeden żywiciel pośredni – jest nim najczęściej bydło domowe. Żywicielem ostatecznym tasiemca jest zaś człowiek. Do zarażenia człowieka dochodzi wskutek spożywania surowego lub niedogotowanego mięsa wołowego, które zawiera larwy pasożyta.

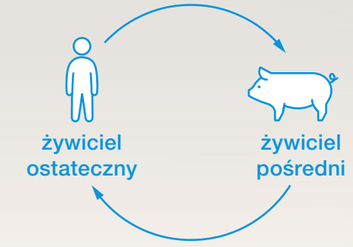




1. Dorosła postać tasiemca występuje w jelicie cienkim człowieka – żywiciela ostatecznego.
2. **Jaja** trafiają do środowiska wraz z odchodami człowieka.
3. Jaja są zjadane przez przeżuwacza (żywiciela pośredniego), w którego przewodzie pokarmowym uwalniają się larwy zwane **onkosferami**.
4. W mięśniach żywiciela pośredniego onkosfery przekształcają się w postacie larwalne – **wągry**.
5. Mięso z wągrami jest zjadane przez żywiciela ostatecznego. Następnie larwy rozwijają się w jelicie cienkim żywiciela w **postacie dorosłe**.

Tasiemiec uzbrojony

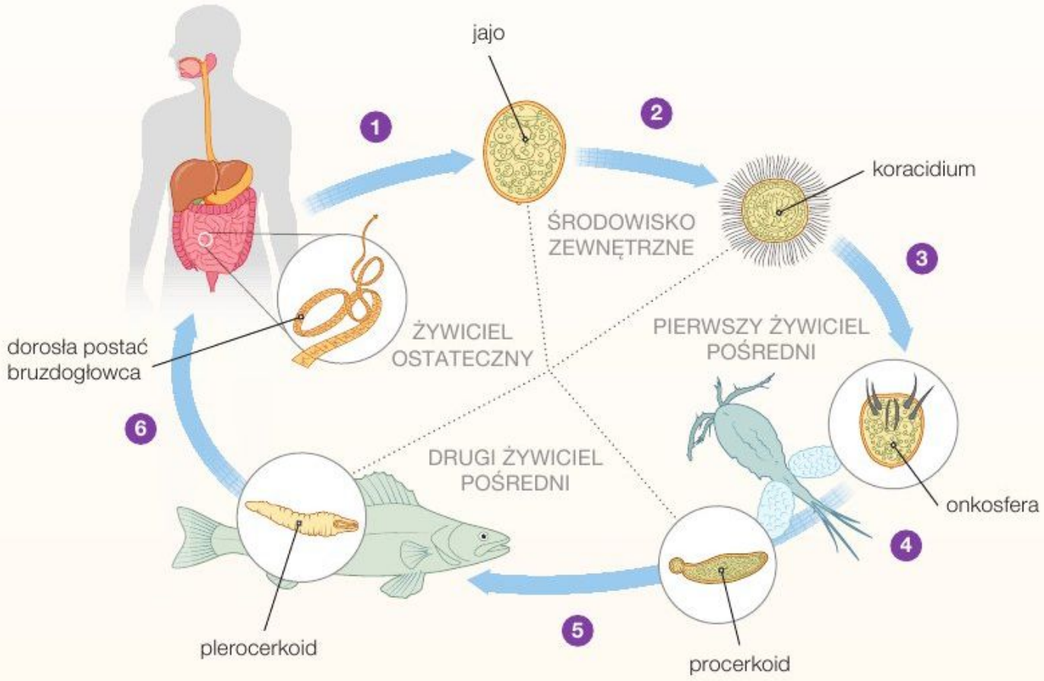
Cykl rozwojowy tasiemca uzbrojonego jest podobny do cyklu tasiemca nieuzbrojonego. Żywicielem pośrednim tego pasożyta jest świnia, natomiast żywicielem ostatecznym – człowiek. Do zarażenia człowieka dochodzi wskutek spożywania surowego lub niedogotowanego mięsa wieprzowego, które zawiera wągry – postacie larwalne tasiemca.



Cykl rozwojowy bruzdogłowca szerokiego

Bruzdogłowiec szeroki to tasiemiec, u którego występuje dwóch żywicieli pośrednich. Pierwszym żywicielem jest widłonóg (drobny skorupiak), a drugim – ryba słodkowodna. Żywicielem ostatecznym są ssaki odżywiające się rybami, np. człowiek. Do zarażenia człowieka dochodzi wskutek spożywania surowych ryb zarażonych larwami pasożyta.

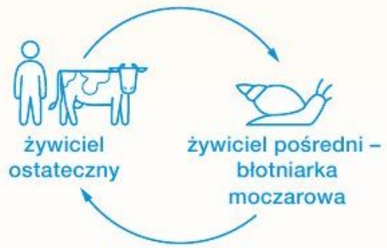


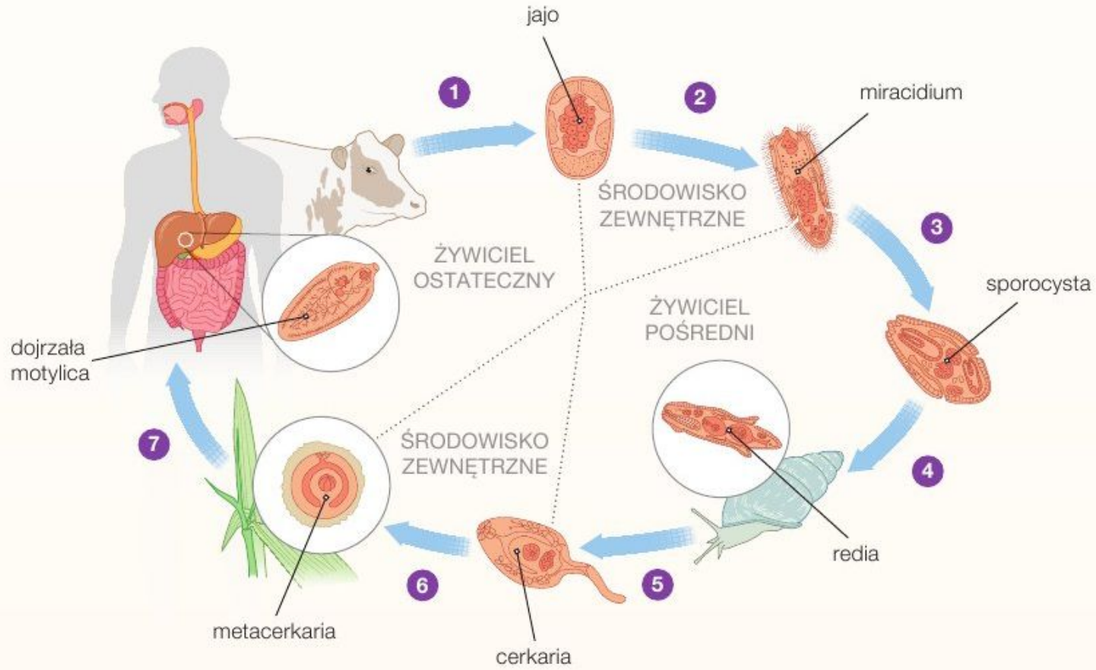


1. Dorosła postać bruzdogłowca pasożytuje w jelicie cienkim ssaków odżywiających się rybami.
2. **Jaja** bruzdogłowca trafiają do wody wraz z odchodami. Tam wylęga się z nich orzęsiona i pływająca larwa – **koracidium**. Jej rozwój jest możliwy tylko wtedy, gdy zostanie ona połknięta przez oczlika – drobnego skorupiaka należącego do widłonogów.
3. W przewodzie pokarmowym pierwszego żywiciela pośredniego koracidium przekształca się w kolejną larwę – **onkosferę**.
4. Onkosfera dociera do jamy ciała oczlika, gdzie przekształca się w następną postać larwalną – **procerkoid**.
5. Jeśli zarażony oczlik zostanie zjedzony przez rybę, to procerkoid przedostanie się do jej mięśni i przekształci się w **plerocerkoid**.
6. Zarażenie żywiciela ostatecznego następuje po zjedzeniu surowych ryb zawierających plerocerkoidy, które w jelicie cienkim rozwijają się w **postać dorosłą**.

Cykl rozwojowy motylicy wątrobowej

Motylica wątrobowa to przywra, której żywicielem pośrednim jest błotniarka moczarowa (ślimak), a żywicielem ostatecznym – bydło domowe, owca lub rzadziej człowiek. Do zarażenia człowieka dochodzi wskutek spożywania surowych i nieumytych roślin, które są zanieczyszczone larwami pasożyta.



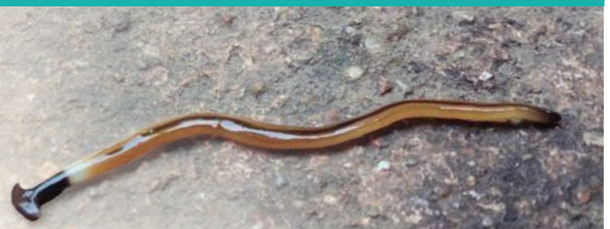


1. Dorosła postać motylicy składa **jaja**, które są usuwane na zewnątrz wraz z kałem żywiciela ostatecznego.
2. Jeśli jaja motylicy trafią do wody, to wylęga się z nich orzęsiona i ruchliwa larwa – **miracidium** (dziwadełko).
3. Miracidium wnika do ciała żywiciela pośredniego (błotniarki moczarowej) i osiada w wątrobie. Tam przekształca się w nieruchliwą **sporocystę**.
4. Sporocysta zawiera komórki jajowe, które partenogenetycznie rozwijają się w kolejne stadium larwalne – **redie**.
5. Po pęknięciu sporocysty uwolnione redie rozmnażają się partenogenetycznie. Powstają wówczas **redie potomne** lub kolejne pokolenie larw – **cerkarie**.
6. Cerkarie opuszczają ciało ślimaka. Przez pewien czas pływają w wodzie dzięki ruchom niewielkiego ogonka, po czym osiadają na liściach roślin. Tracą wtedy ogonek, wytwarzają grubą otoczkę i tworzą kolejne stadium – **metacerkarię**.
7. Metacerkarie trafiają do organizmu żywiciela ostatecznego wraz ze zjedzonymi przez niego roślinami. W żywicielu ostatecznym metacerkaria traci otoczkę i wędruje do wątroby. Następnie osiada w przewodach żółciowych i rozwija się w **postać dorosłą**.

Znaczenie płazińców w przyrodzie i dla człowieka

Ekologiczne znaczenie płazińców

Wolno żyjące płazińce stanowią ważny element sieci troficznych ekosystemów. Są drapieżnikami polującymi na mniejsze organizmy, same zaś stanowią pożywienie niektórych zwierząt. Z kolei płazińce pasożytnicze ograniczają liczebność populacji swoich żywicieli.



Drapieżnym lądowym płazińcem jest *Bipalium kewense*. Gatunek ten pochodzi z Azji. Jego osobniki osiągają ok. 20 cm długości i żywią się głównie dżdżownicami. Swoje ofiary paraliżują za pomocą silnej trucizny – tetrodotoksyny – której używają również do obrony.

Znaczenie płazińców dla człowieka

Płazińce pasożytnicze wywołują wiele poważnych chorób u ludzi i zwierząt hodowlanych, m.in. przywrzyce, tasiemczyce lub bąblowice. Szczególnie niebezpieczne są bąblowice – larwy bąblowców mogą osiedlać się np. w płucach lub w mózgu i w skrajnych przypadkach prowadzić do śmierci żywiciela.



Ciało bąblowców (obraz spod SEM) ma tylko trzy człony.

Płazińce – pasożyty człowieka

Pasożyt	Żywiciel pośredni	Żywiciel ostateczny	Droga zarażenia człowieka	Profilaktyka
Motylica wątrobowa	błotniarka moczarowa	bydło domowe, owce, człowiek	spożywanie surowych i nieumytych roślin zanieczyszczonych larwami	mycie oraz obróbka termiczna pokarmu roślinnego
Tasiemiec uzbrojony	świnia	człowiek	spożywanie surowego lub niedogotowanego mięsa wieprzowego z wągrami	kontrola weterynaryjna mięsa, obróbka termiczna mięsa wieprzowego
Tasiemiec nieuzbrojony	przeżuwacze	człowiek	spożywanie surowego lub niedogotowanego mięsa wołowego z wągrami	kontrola weterynaryjna mięsa, obróbka termiczna mięsa wołowego
Bruzdogłowiec szeroki	widłonóg i ryba słodkowodna	ssaki odżywiające się rybami, w tym człowiek	spożywanie surowych ryb zarażonych larwami	zabezpieczenie zbiorników wodnych przed zanieczyszczeniem, gotowanie, solenie lub mrożenie ryb
Bąblowiec	ssaki roślinożerne, człowiek	ssaki drapieżne	spożywanie nieumytych owoców leśnych, kontakt z zarażonymi zwierzętami	mycie owoców leśnych, stosowanie zasad higieny

Polecenia kontrolne

1. Opisz ogólną budowę ciała płazińców.
2. Podaj wspólne cechy wirkokształtnych, przywr i tasiemców.
3. Podaj cechy świadczące o przystosowaniu przywr i tasiemców do pasożytniczego trybu życia.
4. Opisz cykl rozwojowy tasiemca nieuzbrojonego.

4.7. Nicienie – zwierzęta o obłym i nieczłonowanym ciele

Ważne w tym temacie!

- cechy charakterystyczne nicieni
- przystosowania nicieni do pasożytnictwa

Nicienie to zwierzęta, których ciało przypomina wydłużoną i zwężoną na obu końcach nić. Nicienie zamieszkują różnorodne środowiska, m.in. dna mórz, wody słodkie oraz glebę, gdzie stanowią najliczniejszą grupę bezkręgowców. Około połowy znanych gatunków nicieni to pasożyty.

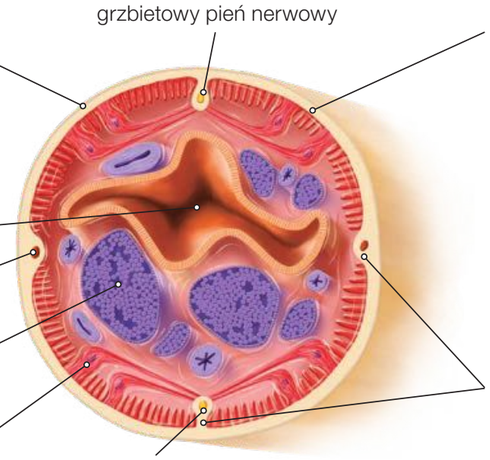
Ogólna budowa ciała nicieni

Nicienie należą do zwierząt **trójwarstwowych**. Występuje u nich **pseudoceloma** – pierwotna jama ciała wypełniona płynem, który znajduje się pod wysokim ciśnieniem (→ s. 235). Pseudoceloma nadaje ciału nicieni sztywność i sprężystość, a także odgrywa rolę **szkieletu hydraulicznego**. Jest to rodzaj szkieletu wewnętrznego, w którym wysokie ciśnienie płynu wypełniającego jamę ciała pozwala na podpieranie mięśni. Płyn pseudocelomatyczny swobodnie krąży wewnątrz organizmu i transportuje substancje odżywcze oraz metabolity.

Ciało nicieni ma symetrię dwuboczną i nie jest podzielone na człony. Charakterystyczną cechą tych zwierząt jest brak komórek zaopatrzonych w wici lub rzęski (nie mają ich nawet plemniki).

Pokrycie ciała i budowa wewnętrzna nicieni

Ścianę ciała nicieni tworzy wór powłokowo-mięśniowy składający się z trzech warstw: oskórka, hipodermy i mięśni.



Hipoderma to jednowarstwowy nabłonek o budowie komórkowej lub syncytialnej. Jej funkcje to m.in. wytwarzanie oskórka i udział w wymianie substancji ze środowiskiem zewnętrznym.

Oskórek jest wytworem hipodermy zbudowanym z białek podobnych do kolagenu i keratyny. Główną funkcją oskórka jest ochrona ciała przed wpływem niekorzystnych czynników środowiska zewnętrznego. Co pewien czas zachodzi zrzucanie oskórka (określane jako linienie), po którym następuje wzrost ciała.

Wałki hipodermalne to zgrubienia hipodermy biegnące wzdłuż ciała. Znajdują się w nich m.in grzbietowy pień nerwowy, brzuszny pień nerwowy, a także kanały wydalnicze.

Mięśnie nicieni mają przebieg podłużny. Składają się z komórek mięśniowych, które łączą się z pniem nerwowym za pomocą specjalnych wyrostków. W ten sposób impulsy nerwowe są przesyłane bezpośrednio do kurczliwej części komórek mięśniowych. Ruch nicieni odbywa się dzięki naprzemiennym skurczom mięśni pasm grzbietowych i brzusznych.

Układ pokarmowy nicieni

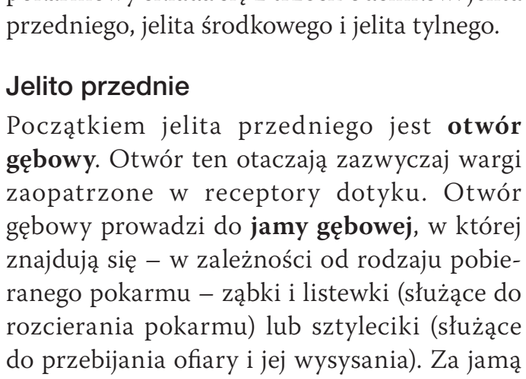
Układ pokarmowy nicieni jest drożny. Ma postać ciągnącego się wzdłuż ciała przewodu, który rozpoczyna się otworem gębowym, a kończy **otworem odbytowym**. Przewód pokarmowy składa się z trzech odcinków: jelita przedniego, jelita środkowego i jelita tylnego.

Jelito przednie

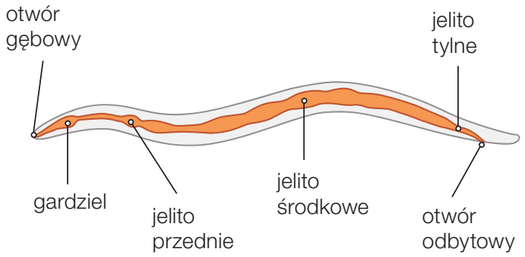
Początkiem jelita przedniego jest **otwór gębowy**. Otwór ten otaczają zazwyczaj wargi zaopatrzone w receptory dotyku. Otwór gębowy prowadzi do **jamy gębowej**, w której znajdują się – w zależności od rodzaju pobieranego pokarmu – ząbki i listewki (służące do rozcierania pokarmu) lub sztyleciki (służące do przebijania ofiary i jej wysysania). Za jamą gębową jest położona silnie umięśniona **gardziel**, która działa jak pompa ssąco-tłocząca. Do jelita przedniego otwierają się ujścia gruczołów trawiennych – to dlatego w tej części układu odbywa się chemiczny rozkład pokarmu.

Jelito środkowe

Ściana jelita środkowego nie ma mięśni – jest zbudowana wyłącznie z jednowarstwowego nabłonka. Przesuwanie się treści pokarmowej zachodzi w wyniku pobrania następnej porcji pożywienia. W jelicie środkowym zachodzi wchłanianie produktów trawienia – z tego względu na powierzchni nabłonka występują mikrokosmki, które zwiększają jego powierzchnię chłonną.



Glista ludzka ma trzy wargi, które ułatwiają jej pobieranie pokarmu (obraz spod SEM, barwiony komputerowo).



Budowa układu pokarmowego nicieni.

Jelito tylne

Jelito tylne to końcowy odcinek przewodu pokarmowego nicieni. Jest ono zakończone odbytem, przez który organizm usuwa niestrawione resztki pokarmu.

Wymiana gazowa u nicieni

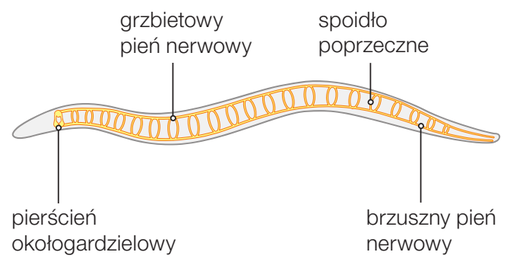
Nicienie **nie mają układu oddechowego**. U gatunków pasożytujących wewnątrz organizmu żywiciela pozyskiwanie energii zachodzi w wyniku fermentacji. Nicienie wolno żyjące oddychają tlenowo, jednak duży stosunek powierzchni ciała do jego objętości sprawia, że wymiana gazowa może zachodzić u nich całą powierzchnią ciała, bez udziału wyspecjalizowanych narządów.

Transport substancji u nicieni

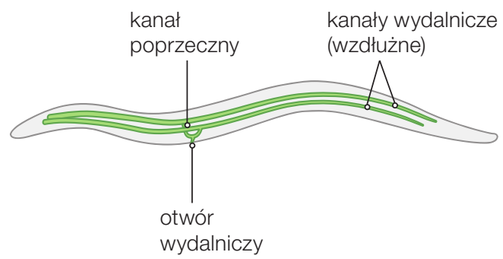
Nicienie **nie mają układu krwionośnego**. Składniki odżywcze i produkty przemiany materii są u nich transportowane za pośrednictwem płynu wypełniającego jamę ciała.



Larwa nicienia z gatunku *Meloidogyne incognita* pasożytuje wewnątrz korzeni roślin, np. pomidora (obraz spod SEM, barwiony komputerowo).



Układ nerwowy glisty ludzkiej.



Układ wydalniczy glisty ludzkiej.

Układ nerwowy nicieni

Układ nerwowy nicieni jest zbudowany z pierścienia okołogardzielowego, w którego skład wchodzi kilka par zwojów nerwowych. Od pierścienia odchodzą pnie nerwowe (grzbietowy i brzuszny) biegnące w wałkach hipodermalnych. Pnie nerwowe łączą się ze sobą spoidłami poprzecznymi.

Narządy zmysłów

Do narządów zmysłów nicieni należą m.in.:

- **mechanoreceptory** – reagują na dotyk. Występują w postaci niewielkich brodawek czuciowych, znajdujących się głównie wokół otworu gębowego;
- **chemoreceptory** – odbierają bodźce chemiczne, np. zawartość tlenu. Często mają kształt szczecinek;
- **termoreceptory** – biorą udział w poszukiwaniu miejsc o optymalnej temperaturze;
- **fotoreceptory** – biorą udział w odbieraniu bodźców świetlnych. Występują u niektórych gatunków wolno żyjących i są skupione w formie oczek.

Układ wydalniczy nicieni

Układ wydalniczy większości gatunków nicieni ma kształt litery H. Składa się on z dwóch kanałów wydalniczych (ciągną się one wzdłuż ciała i są zlokalizowane w bocznych wałkach hipodermalnych), kanału poprzecznego i przewodu wydalniczego (otwiera się on po stronie brzusznej). Produkty przemiany materii przedostają się kanałami wydalniczymi do kanału poprzecznego, a następnie są usuwane na zewnątrz ciała przewodem wydalniczym. Nicienie mają też komórki fagocytarne, które zatrzymują i gromadzą nierozpuszczalne w wodzie produkty przemiany materii.

Rozmnażanie się i rozwój nicieni

Nicienie rozmnażają się **płciowo**. U wielu przedstawicieli tej grupy występuje partenogeneza (→s. 262).

Rozmnażanie płciowe

Nicienie są na ogół rozdzielnopłciowe i zwykle wykazują **dymorfizm płciowy** – oznacza to, że samce i samice różnią się wyglądem. U samców tylna część ciała jest zagięta lub spiralnie zwinięta. Samice są najczęściej wrzecionowate i większe od samców.

U nicieni dochodzi do zapłodnienia wewnętrznego. Większość nicieni jest przeważnie jajorodna (np. glista ludzka), choć spotyka się też gatunki żyworodne (np. włosień kręty).

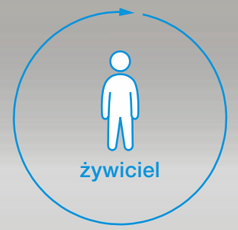
Rozwój

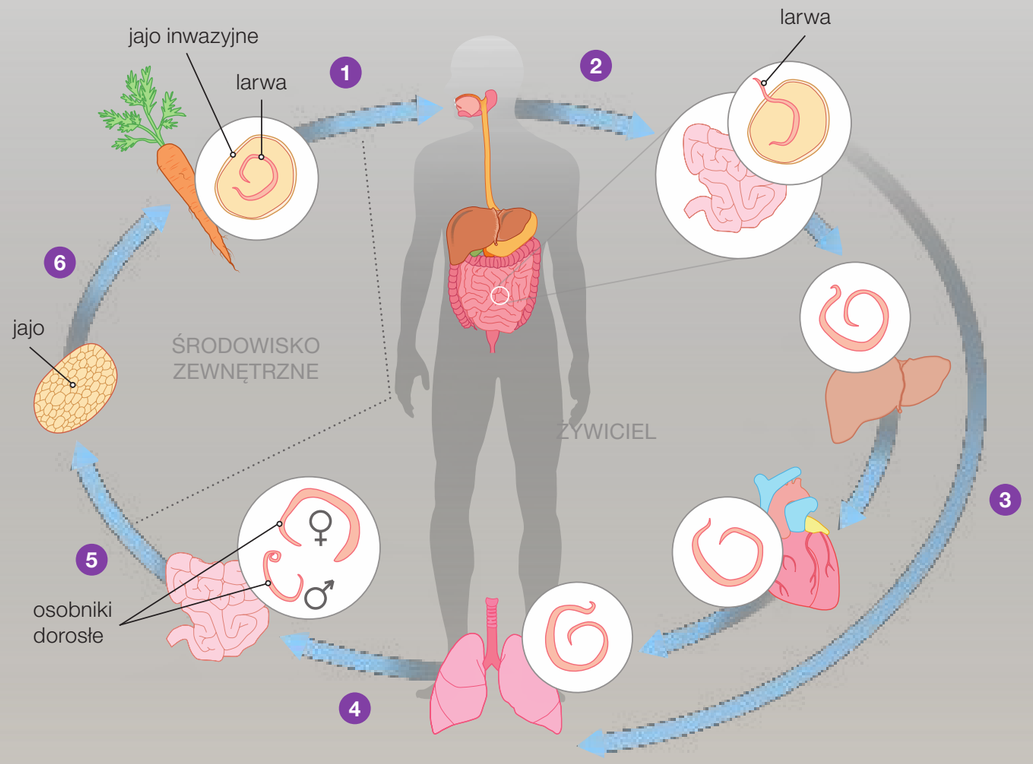
W rozwoju nicieni występują larwy podobne do formy dorosłej. Podczas ich wzrostu dochodzi do **linienia**, czyli zrzucenia starego oskórka i wytworzenia nowego.

Cykle rozwojowe nicieni pasożytniczych są zwykle mniej złożone niż cykle rozwojowe płazińców. Często nie występuje w nich żywiciel pośredni. Przebieg całego cyklu rozwojowego w ciele jednego żywiciela zwiększa szanse na przeżycie potomstwa, eliminuje bowiem straty związane z poszukiwaniem kolejnych żywicieli koniecznych do kontynuowania rozwoju.

Cykl rozwojowy glisty ludzkiej

W cyklu rozwojowym glisty ludzkiej występuje jeden żywiciel, którym jest człowiek. Do zarażenia tym pasożytem dochodzi wskutek spożywania surowych, nieumytych warzyw i owoców zanieczyszczonych jajami glisty ludzkiej.

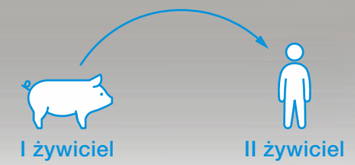


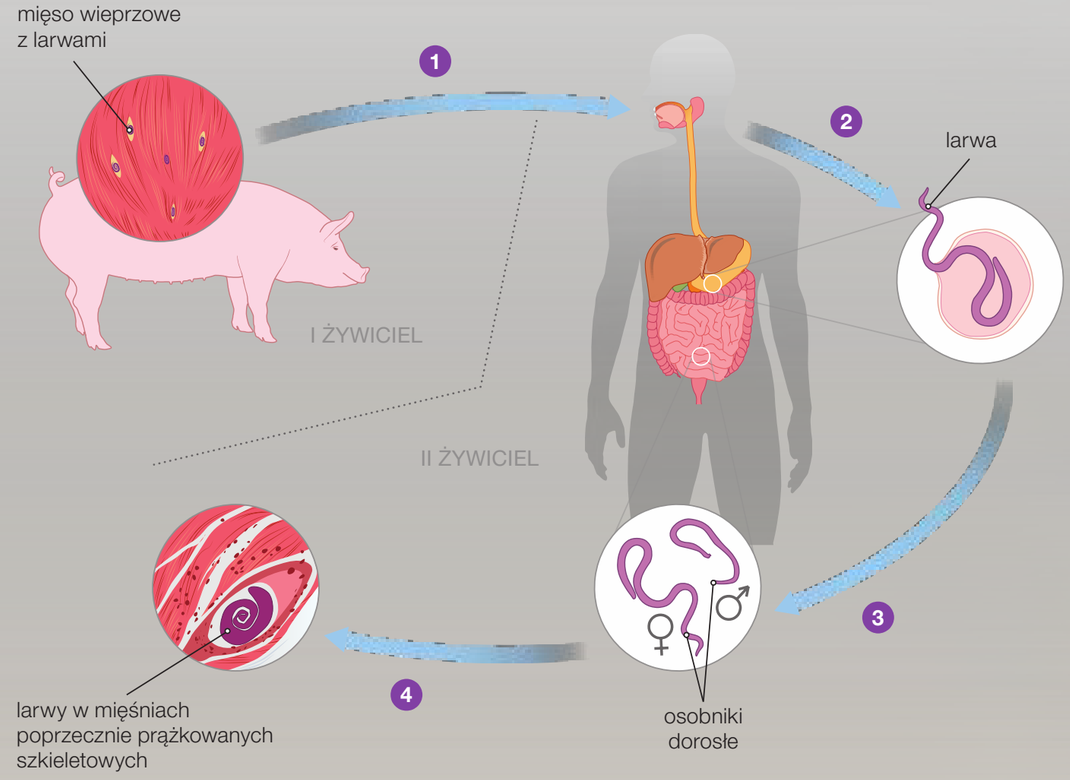


1. Zarażenie następuje po spożyciu **jaj inwazyjnych** glisty występujących w wodzie lub pokarmie.
2. W jelicie cienkim z jaj wylęgają się **larwy**, które przedostają się do naczyń krwionośnych krwiobiegu dużego.
3. Larwy wraz z krwią trafiają kolejno do wątroby, serca i płuc. Następnie przenoszą się do wnętrza pęcherzyków płucnych, w których rosną i dwukrotnie linieją.
4. Larwy wędrują przez oskrzela, tchawicę, krtań i gardło. W gardle są odruchowo połykane i trafiają do jelita cienkiego, w którym odżywiają się treścią pokarmową. Wkrótce osiągają **dojrzałość płciową**.
5. Po kopulacji samice składają zapłodnione **jaja**, które wydostają się wraz z kałem na zewnątrz.
6. W odpowiednich warunkach środowiska wewnątrz jaj rozwiną się larwy (tzw. jaja inwazyjne), które są zdolne do zarażenia kolejnego żywiciela.

Cykl rozwojowy włośnia krętego

W cyklu rozwojowym włośnia krętego występuje dwóch żywicieli. Pierwszym jest świnia (lub dzik), a drugim – człowiek. Do zarażenia dochodzi wskutek spożywania mięsa zawierającego larwy pasożyta. W związku z tym żadne ze stadiów rozwojowych włośnia krętego nie występuje w środowisku zewnętrznym – pasożyt ten nigdy nie opuszcza organizmu żywiciela.





1. Zarażenie następuje po zjedzeniu surowego lub niedogotowanego mięsa zawierającego **larwy włośnia**.
2. W przewodzie pokarmowym żywiciela (w wyniku działania enzymów trawiennych) larwy tracą otoczkę, po czym rozwijają się w dojrzałe płciowo **osobniki dorosłe**.
3. Po kopulacji samce giną, natomiast samice rodzą larwy, które przedostają się z jelita cienkiego do naczyń limfatycznych, a później – do naczyń krwionośnych.
4. Larwy przemieszczają się wraz z krwią do różnych narządów wewnętrznych, głównie do **mięśni poprzecznie prążkowanych szkieletowych**. Tam szybko rosną i zwijają się spiralnie.
   Po pewnym czasie wokół larw powstają łącznotkankowe torebki, które izolują pasożyta od tkanek żywiciela.

Znaczenie nicieni w przyrodzie i dla człowieka

Ekologiczne znaczenie nicieni

Wolno żyjące nicienie stanowią ważny element sieci troficznych ekosystemów. Są drapieżnikami polującymi na mniejsze organizmy, same zaś stanowią pożywienie niektórych zwierząt. Gatunki glebowe mają duże znaczenie w obiegu pierwiastków w przyrodzie. Z kolei nicienie pasożytnicze ograniczają liczebność populacji swoich żywicieli.



Caenorhabditis elegans (obraz spod SEM) jest wolno żyjącym glebowym nicieniem, który odżywia się mikroorganizmami, np. bakteriami.

Znaczenie nicieni dla człowieka

Nicienie pasożytnicze wywołują wiele poważnych chorób u ludzi, zwierząt hodowlanych oraz roślin uprawnych.



Mątwik ziemniaczany (obraz spod mikroskopu optycznego) jest groźnym pasożytem ziemniaka i innych roślin z rodziny psiankowatych.

Nicienie – pasożyty człowieka

Pasożyt	Żywiciel	Droga zarażenia człowieka	Profilaktyka
Glista ludzka	człowiek	spożywanie nieumytych warzyw i owoców	mycie lub obróbka termiczna warzyw i owoców
Owsik ludzki	człowiek	przypadkowe przeniesienie jaj na skórę rąk, a następnie do ust	przestrzeganie zasad higieny, m.in. staranne mycie rąk po korzystaniu z toalety oraz przed jedzeniem
Włosień kręty	ssaki, np. świnia, dzik, wilk, szczur, człowiek	spożywanie mięsa wieprzowego i dziczyzny (lub ich przetworów) zawierających cysty	kontrola weterynaryjna mięsa, unikanie spożywania surowego lub niedogotowanego mięsa, które pochodzi z niewiadomego źródła

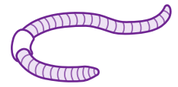
Polecenia kontrolne

1. Porównaj płazińca z nicieniem pod względem budowy morfologicznej i budowy anatomicznej. Podaj podobieństwa i różnice w budowie tych zwierząt.
2. Przedstaw przystosowania glisty ludzkiej do pasożytniczego trybu życia.
3. Podaj trzy sposoby zapobiegania zarażeniom nicieniami pasożytniczymi.
4. Ustal, czy larwa włośnia krętego, która trafiła do ciała człowieka, ma szansę na dalszy rozwój. Uzasadnij swoje stanowisko.
5. Uzasadnij, że w przypadku stwierdzenia zarażenia nicieniem jednej osoby w rodzinie leczeniu powinni podlegać wszyscy jej członkowie.

4.8. Pierścienice – bezkręgowce o wyraźnej metamerii

Ważne w tym temacie!

- cechy charakterystyczne pierścienic
- przystosowania pijawek do pasożytnictwa



Pierścienice zasiedlają wody słone, rzadziej słodkie. Część gatunków przystosowała się do życia na lądzie (głównie w glebie). Ciało pierścienic jest zwykle wydłużone, obłe lub spłaszczone grzbieto-brzusznie.

Pierścienice tradycyjnie dzieli się na wieloszczety, skąposzczety i pijawki.

Ogólna budowa ciała pierścienic

Pierścienice to zwierzęta trójwarstwowe, które mają wykształconą wtórną jamę ciała – **celomę** (→ s. 235). Celoma jest wypełniona płynem i otoczona własnym nabłonkiem. Wraz z worem powłokowo-mięśniowym pełni ona funkcję szkieletu hydraulicznego (→ s. 275).

Najbardziej charakterystyczną cechą ciała pierścienic jest **segmentacja** (metameria), czyli podział na odcinki zwane segmentami (metamerami). Segmenty są ułożone szeregowo (jeden za drugim) i oddzielone od siebie poprzecznymi przegrodami.

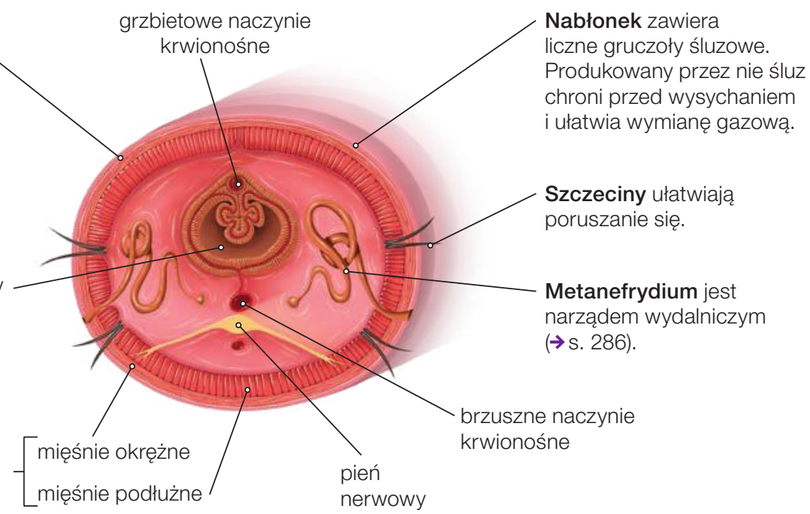
Wyróżnia się:

- **segmentację homonomiczną** – gdy segmenty są do siebie bardzo podobne,
- **segmentację heteronomiczną** – gdy segmenty różnią się od siebie.

Niezależnie od rodzaju segmentacji segmenty pierwszy (przedgębowy), drugi (gębowy) i ostatni (analny) różnią się budową od pozostałych segmentów (→ s. 282–283).

Pokrycie ciała i budowa wewnętrzna pierścienic na przykładzie dżdżownicy

Ścianę ciała pierścienic tworzy wór powłokowo-mięśniowy składający się z trzech warstw: oskórka, nabłonka i mięśni.



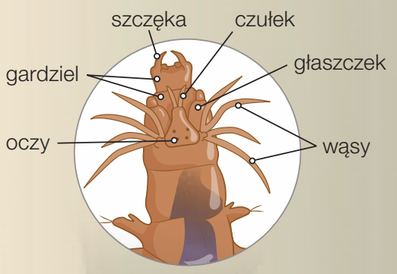
Budowa i przystosowania pierścienic do trybu życia

Budowa pierścienic zależy od środowiska i trybu życia danej grupy organizmów.

Wieloszczety

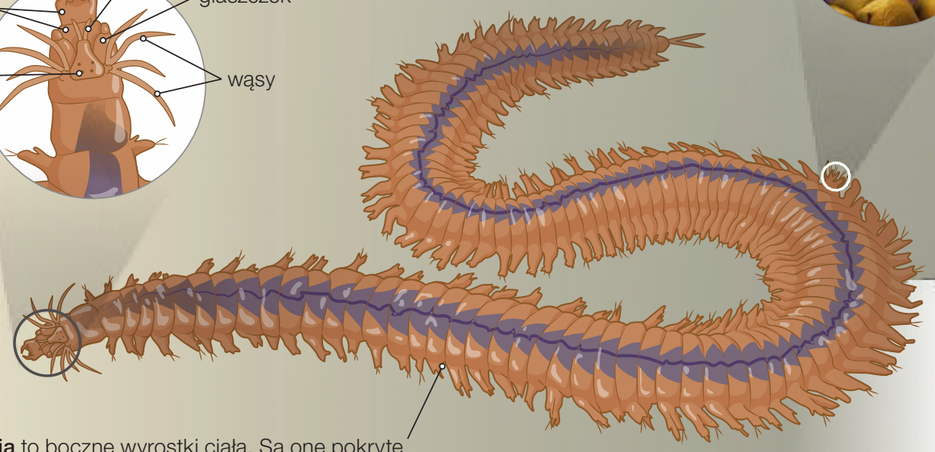
Wieloszczety żyją głównie w morzach (tylko nieliczne gatunki zasiedlają wody słodkie). Większość wieloszczetów prowadzi drapieżny tryb życia.

Odcinek głowowy zawiera liczne narządy zmysłów, m.in. czułki, głaszczki, wąsy i oczy. Ostre szczęki na wysuwanej gardzieli umożliwiają polowanie i zdobywanie pokarmu.





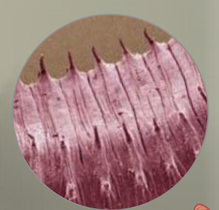
Parapodium.



Parapodia to boczne wyrostki ciała. Są one pokryte szczecinami i wąsami, a u wielu gatunków także bogato unaczynionymi wyrostkami, które odgrywają rolę skrzeli. Parapodia pełnią różnorodne funkcje, m.in. czuciowe, lokomotoryczne i oddechowe.

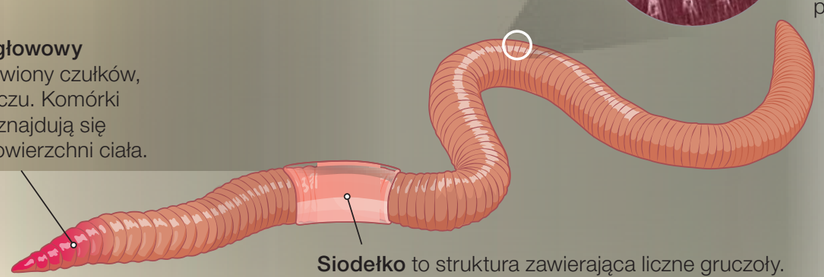
Skąposzczety

Skąposzczety żyją najczęściej w glebie, w ściółce lub w wodach słodkich. Większość skąposzczetów odżywia się martwą materią organiczną.



Szczeciny ułatwiają odpychanie się od podłoża. U skąposzczetów nie występują parapodia.

Odcinek głowowy jest pozbawiony czułków, wąsów i oczu. Komórki czuciowe znajdują się na całej powierzchni ciała.



Siodełko to struktura zawierająca liczne gruczoły. Umożliwiają one m.in. połączenie się osobników podczas kopulacji i tworzenie kokonów, w których rozwijają się młode osobniki.

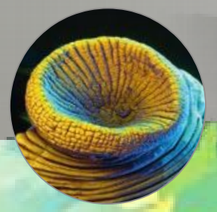
Pijawki

Pijawki żyją przede wszystkim w wodach słodkich (tylko nieliczne gatunki żyją w morzach oraz na lądzie). Większość pijawek prowadzi pasożytniczy tryb życia i zazwyczaj odżywia się krwią kręgowców. Wśród pijawek są też gatunki drapieżne, które polują na drobne organizmy bezkręgowe.

Siodełko to struktura zawierająca liczne gruczoły. Ich wydzielina służy do tworzenia kokonów, w których rozwijają się jaja.

Segmenty nie mają parapodiów i szczecin. Pijawki poruszają się na dwa sposoby: albo przyczepiają przyssawki do podłoża, a następnie je odczepiają, albo pływają, wyginając ciało na boki.



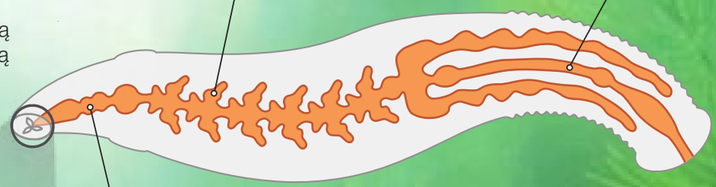


Przyssawki służą do przytwierdzania się do ciała żywiciela.

Przystosowania układu pokarmowego pijawki do pasożytnictwa

Jama gębowa jest zaopatrzona w trzy fałdy zwane szczękami. Na ich powierzchni znajdują się ząbki, które służą do nacinania ciała żywiciela.

Uchyłki wola służą do magazynowania krwi. W ten sposób pijawki gromadzą pokarm do czasu znalezienia kolejnego żywiciela.





Umięśniona gardziel umożliwia zasysanie krwi z ciała żywiciela.

Układ pokarmowy pierścienic

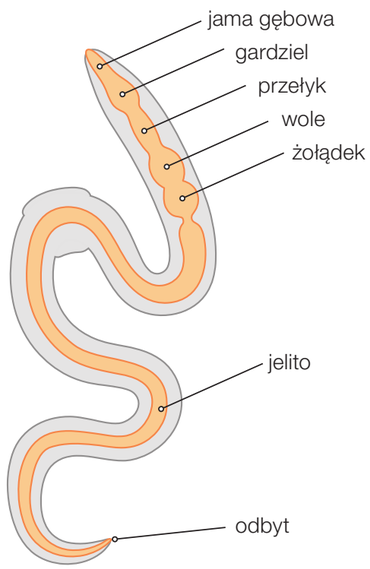
Pierścienice mają drożny układ pokarmowy, który składa się z jelita przedniego, jelita środkowego i jelita tylnego. Ma on postać umięśnionej rury, która ciągnie się przez całe ciało zwierzęcia. Treść pokarmowa jest w niej przesuwana dzięki **ruchom perystaltycznym**.

Jelito przednie

Jelito przednie rozpoczyna się **otworem gębowym**, który prowadzi do **jamy gębowej**. Jama gębowa przechodzi w umięśnioną **gardziel**. U form drapieżnych gardziel bywa uzbrojona w wytwory oskórka (np. zęby lub płytki szczękowe). Gardziel może być wysuwana na zewnątrz i służyć do chwytania zdobyczy. Za gardzielą znajduje się **przełyk**. U skąposzczetów i pijawek tylna część przełyku tworzy **wole**.

Gatunki glebożerne, np. dżdżownica, mają przełyk, do którego uchodzą gruczoły wapienne – ich wydzielina neutralizuje wapń występujący w pokarmie. Nadmiar wapnia jest wytrącany w postaci węglanu wapnia i usuwany z organizmu wraz z odchodami.

Kolejny odcinek jelita przedniego to **żołądek**. Jego funkcją jest mechaniczne rozdrabnianie pokarmu.



Budowa układu pokarmowego dżdżownicy.

Jelito środkowe

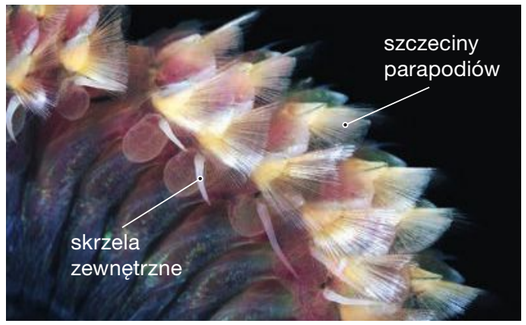
Jelito środkowe pierścienic często ma kształt prostej rurki. Zachodzi w nim trawienie pokarmu i wchłanianie produktów trawienia.

Jelito tylne

Jelito tylne jest krótkie i kończy się otworem odbytowym. Przez otwór odbytowy pierścienice usuwają niestrawione resztki pokarmowe.

Wymiana gazowa pierścienic

Wymiana gazowa u pierścienic lądowych i słodkowodnych odbywa się całą powierzchnią ciała. Zachodzi ona dzięki gęstej sieci włosowatych naczyń krwionośnych, które znajdują się w powłoce ciała. Dyfuzję gazów oddechowych dodatkowo ułatwia pokrycie ciała śluzem. Większość morskich pierścienic ma skrzela zewnętrzne umiejscowione na parapodiach.



U słonowodnego wieloszczeta *Nereis pelagica* wymiana gazowa zachodzi przez skrzela zewnętrzne znajdujące się na parapodiach.



U dżdżownic, które żyją w glebie, wymiana gazowa zachodzi przez powłokę ciała. To dlatego w trakcie deszczu dżdżownice wychodzą na powierzchnię – chronią się w ten sposób przed uduszeniem w zbyt mokrej glebie. Jednak często padają wówczas ofiarą drapieżników, np. kosów.

Układ krwionośny pierścienic

Układ krwionośny pierścienic umożliwia transport substancji między wszystkimi segmentami ciała. Układ ten jest **zamknięty**, co oznacza, że krew płynie w naczyniach i nie wylewa się do jamy ciała. Z reguły tworzą go dwa główne **naczynia krwionośne** – **grzbietowe i brzuszne** – które biegną wzdłuż ciała. W każdym segmencie naczynia są ze sobą połączone cieńszymi od nich **naczyniami okrężnymi**. W skład układu krwionośnego wchodzą też sieć naczyń włosowatych oraz zatoki oplatające ścianę jelita.

W układzie krwionośnym pierścienic **nie występuje serce**. Krążenie krwi jest uwarunkowane rytmicznym pulsowaniem naczynia grzbietowego, a niekiedy również naczyń okrężnych przedniej części ciała.

Układ nerwowy pierścienic

Układ nerwowy pierścienic składa się z **mózgu** i **brzusznego pnia nerwowego**, który biegnie wzdłuż ciała i obejmuje zwoje segmentalne oraz odchodzące od nich nerwy.

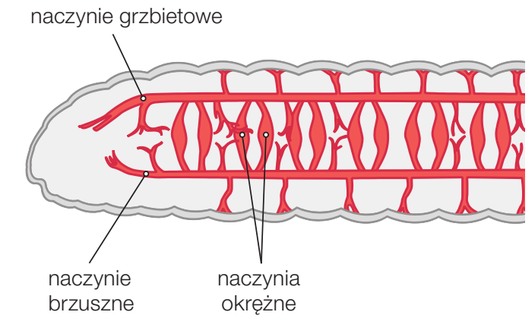
U gatunków niżej uorganizowanych brzuszny pień nerwowy ma postać **drabinki nerwowej**. Składa się ona z dwóch pni nerwowych, wzdłuż których są rozmieszczone parzyste zwoje segmentalne, połączone poprzecznymi spoidłami.

U większości pierścienic pnie nerwowe zlewają się ze sobą i tworzą brzuszny łańcuszek nerwowy.

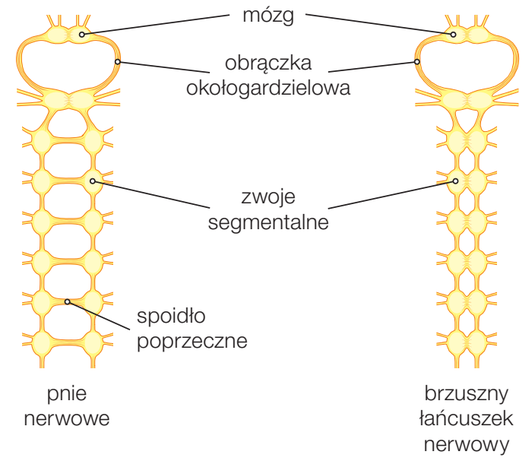
Narządy zmysłów

Narządami zmysłów pierścienic są m.in.:

- **mechanoreceptory** – odbierają bodźce dotykowe. Występują na całej powierzchni ciała, jednak najwięcej jest ich na czułkach, głaszczkach i wąsach;
- **chemoreceptory** – reagują na bodźce chemiczne (np. komórki czuciowe zlokalizowane wokół otworu gębowego);
- **fotoreceptory** – odbierają bodźce świetlne. Mogą występować w postaci parzystych oczu (u większości wieloszczetów i pijawek) lub komórek światłoczułych w powłoce ciała (u skąposzczetów).



Budowa układu krwionośnego dżdżownicy.



Budowa układu nerwowego pierścienic – forma bardziej pierwotna, która występuje u części gatunków (po lewej), i forma typowa dla większości gatunków (po prawej).

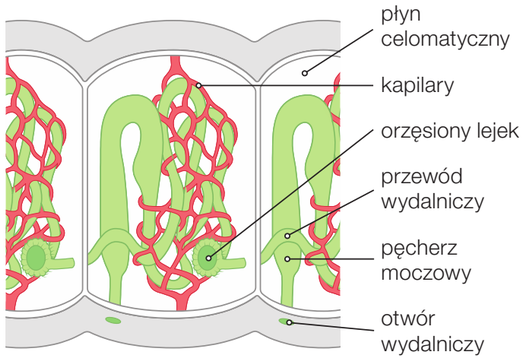


Oczy występują m.in. u wolno żyjących wieloszczetów. Dzięki oczom wieloszczety mogą orientować się w przestrzeni i aktywnie zdobywać pokarm.

Układ wydalniczy pierścienic

U większości pierścienic funkcje wydalnicze i osmoregulacyjne pełnią **metanefrydia**. Pojedyncze metanefrydium rozpoczyna się **orzęsionym lejkiem**, którego rolą jest odfiltrowywanie zbędnych produktów metabolizmu z płynu celomatycznego. Powstały płyn trafia do **przewodu wydalniczego** zlokalizowanego w sąsiednim segmencie. Tam zachodzi zwrotne wchłanianie potrzebnych substancji (np. wody), a także filtracja zbędnych produktów metabolizmu z krwi, czyli z kapilar oplatających przewód wydalniczy. W wyniku tych procesów powstaje mocz, który jest magazynowany w **pęcherzu moczowym**, a następnie jest usuwany na zewnątrz ciała przez **otwór wydalniczy**.

W każdym segmencie znajduje się zazwyczaj jedna para metanefrydiów.



Metanefrydium u skąposzczetów.



U wieloszczetów (np. u bałtyckiej nereidy różnokolorowej) zbędne produkty przemiany materii są odfiltrowywane dwuetapowo – najpierw z krwi do celomy, a następnie z celomy do układu wydalniczego.

U form wodnych ostatecznym produktem azotowej przemiany materii jest amoniak, a u form lądowych – mocznik.

Rozmnażanie się i rozwój pierścienic

Pierścienice rozmnażają się głównie płciowo. Niektóre wieloszczety i skąposzczety są zdolne do rozmnażania bezpłciowego i partenogenezy (→ s. 262).

Rozmnażanie bezpłciowe

Rozmnażanie bezpłciowe polega na poprzecznym podziale ciała (zwykle na dwie części) i regeneracji brakującego fragmentu.

Rozmnażanie płciowe

Wieloszczety są z reguły rozdzielnopłciowe. Zachodzi u nich **zapłodnienie zewnętrzne** – gamety są uwalniane do wody, gdzie dochodzi do ich połączenia.

Skąposzczety i **pijawki** są zwykle obojnakami. Występuje u nich **zapłodnienie krzyżowe** – komórki jajowe jednego osobnika łączą się z plemnikami pozyskanymi w trakcie kopulacji od drugiego osobnika. U skąposzczetów dochodzi do **zapłodnienia zewnętrznego** w obrębie kokonu – struktury powstałej z wydzieliny gruczołów siodełka. U pijawek występuje **zapłodnienie wewnętrzne** – do kokonu trafiają zapłodnione komórki jajowe.



Podczas kopulacji dżdżownice łączą się przednimi odcinkami ciała, w których są zlokalizowane narządy rozrodcze. Segmenty zawierające narządy płciowe nazywa się segmentami płciowymi.

Rozwój

Rozwój wieloszczetów zazwyczaj jest **złożony**. Z zapłodnionego jaja rozwija się planktoniczna orzęsiona larwa – **trochofora**. Larwa po pewnym czasie opada na dno i przeobraża się w postać dojrzałą.

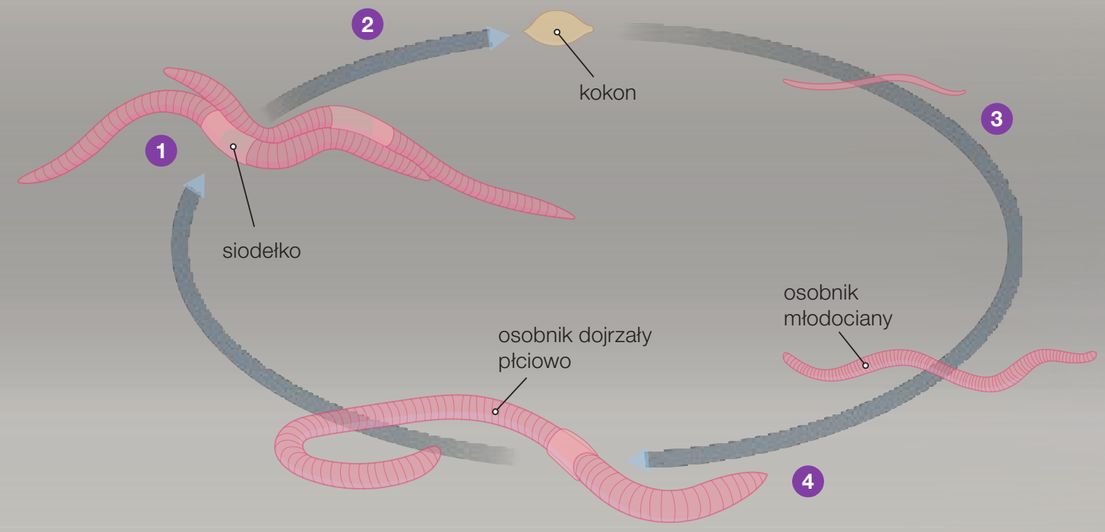
Skąposzczety i **pijawki** przechodzą **rozwój prosty** – młode osobniki po opuszczeniu kokonów są podobne do osobników dorosłych.



Młode pijawki opuszczające kokon.

Cykl rozwojowy dżdżownicy ziemnej

Dżdżownice ziemne są obojnakami, u których występuje zapłodnienie krzyżowe. Zwierzęta te przechodzą rozwój prosty – w ich cyklu rozwojowym nie występują larwy.



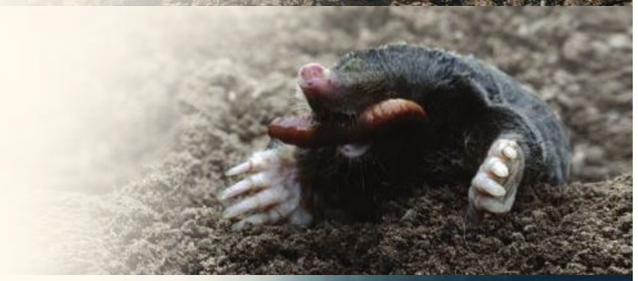
1. Dojrzałe płciowo osobniki łączą się i przekazują sobie nasienie (zaplemnienie krzyżowe). Nasienie jest gromadzone w **zbiornikach nasiennych**. Po kopulacji (nawet po kilku dniach) z wydzieliny gruczołów siodełka powstaje śluzowa otoczka, która przekształca się w **kokon**. Kokon stopniowo przesuwa się ku przodowi ciała. Następnie do kokonu składane są komórki jajowe i plemniki, które pochodzą od drugiego osobnika. Po pewnym czasie w kokonie dochodzi do **zapłodnienia** (zapłodnienie zewnętrzne).
2. Kokon zsuwa się z ciała dżdżownicy i zamyka się z obu stron. Zapłodnione jaja rozwijają się w **zarodki**, a następnie w **osobniki potomne**.
3. Osobnik potomny opuszcza kokon, rośnie i dojrzewa płciowo.
4. **Dojrzały płciowo osobnik** z wykształconym siodełkiem jest zdolny do rozmnażania płciowego.

Znaczenie pierścienic w przyrodzie i dla człowieka



Źródło pokarmu

Pierścienice są pożywieniem licznych gatunków zwierząt. Dżdżownicami żywią się m.in. krety, jeże, niektóre ptaki i płazy.



Pasożyty zewnętrzne

Pijawki są zewnętrznymi pasożytami zwierząt. Osłabiają organizm swoich żywicieli, co niekiedy prowadzi do ich śmierci. Masowe pojawy pijawek powodują straty gospodarcze, np. w hodowlach ryb. Niektóre gatunki pijawek mogą być niebezpieczne dla ludzi.



Zastosowanie w medycynie

Pijawka lekarska jest stosowana w medycynie od tysiącleci. Za pomocą pijawek leczy się m.in. nadciśnienie tętnicze i zwyrodnienia stawów. Pijawki są też źródłem hirudyny stosowanej do produkcji leków przeciwzakrzepowych.



Gatunki jadowite

Pewne gatunki wieloszczetów wytwarzają silny jad, który może stanowić zagrożenie dla zdrowia człowieka, np. jad wieloszczeta wędrującego występującego w Morzu Śródziemnym powoduje oparzenia skóry.



Polecenia kontrolne

1. Podaj rodzaj metamerii występujący w budowie pierścienic.
2. Podaj cechy budowy odróżniające pijawki od innych pierścienic.
3. Opisz budowę układów krwionośnego i wydalniczego pierścienic.
4. Porównaj sposoby rozmnażania się wieloszczetów, skąposzczetów i pijawek.

4.9. Stawonogi – zwierzęta o członowanych odnóżach



Ważne w tym temacie!

- cechy charakterystyczne stawonogów

Stawonogi są najliczniej reprezentowanym typem zwierząt (do tej pory opisano ponad 1,3 mln gatunków). Organizmy te rozprzestrzeniły się na całej kuli ziemskiej i opanowały niemal wszystkie środowiska. Do stawonogów zalicza się m.in. skorupiaki, pajęczaki i owady.

Ogólna budowa ciała stawonogów

Stawonogi są zwierzętami **trójwarstwowymi** o symetrii dwubocznej. Przestrzeń między ich narządami wewnętrznymi zajmuje jama ciała – **miksocel** – która powstała w wyniku połączenia jamy pierwotnej z jamą wtórną. Jamę ciała wypełnia hemolimfa (→ s. 250).

Ciało stawonogów jest podzielone na segmenty, których zespoły tworzą zwykle wyraźnie wyodrębnione odcinki – tzw. **tagmy** (→ s. 290–291). Taki typ metamerii określa się mianem **metamerii heteronomicznej**.

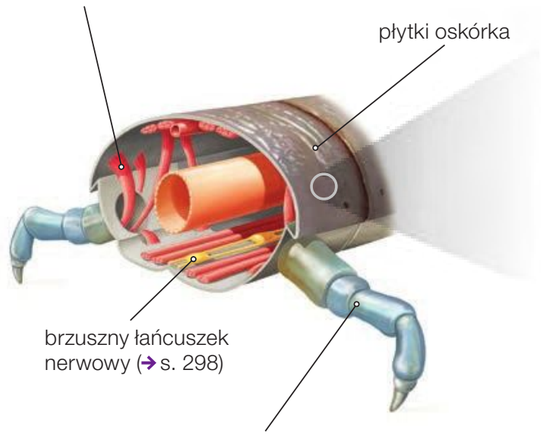
Odnóża stawonogów są zbudowane z odcinków połączonych **stawami** (stąd nazwa typu – stawonogi).

Pokrycie ciała i budowa wewnętrzna stawonogów

Stawonogi nie mają wora powłokowo-mięśniowego. Ich ciało pokrywają chitynowy oskórek i jednowarstwowy nabłonek.

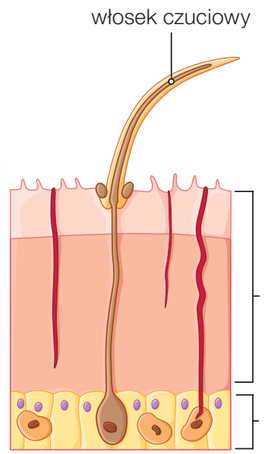
Budowa wewnętrzna stawonogów

Mięśnie nie tworzą regularnej warstwy. Dzielą się one na grupy pełniące określone funkcje. Mięśnie stawonogów w odróżnieniu od mięśni większości bezkręgowców są zbudowane z tkanki mięśniowej poprzecznie prążkowanej.



Odnóża składają się z członów połączonych stawami – taka budowa pozwala na wykonywanie precyzyjnych ruchów.

Budowa pokrycia ciała stawonogów



Chitynowy oskórek (kutykula) chroni przed utratą wody, urazami mechanicznymi oraz działaniem wielu substancji chemicznych. Pełni on funkcję **szkieletu zewnętrznego**, ponieważ jest miejscem przyczepu mięśni. Aby zwierzę mogło rosnąć, oskórek musi być okresowo zrzucany w procesie **linienia**.

Jednowarstwowy nabłonek (hipoderma) odpowiada m.in. za wytwarzanie oskórka.

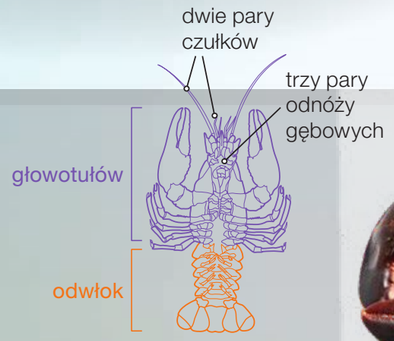
Budowa morfologiczna stawonogów

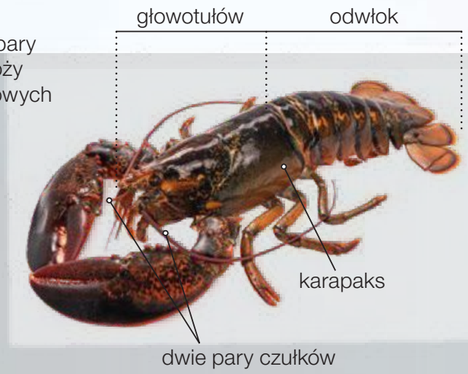
Stawonogi mają wspólny plan budowy – ich ciało jest podzielone na tagmy, a odnóża są członowane. Mimo to każda z trzech grup stawonogów ma pewne cechy charakterystyczne, które pozwalają je rozróżniać.

CECHY CHARAKTERYSTYCZNE

Skorupiaki

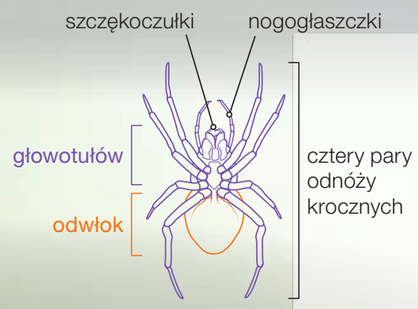
- **ciało zbudowane z trzech tagm** – z głowy, z tułowia i z odwłoka; u części skorupiaków głowa i tułów zlewają się (całkowicie lub częściowo) w głowotułów – jest on najczęściej pokryty karapaksem, czyli fałdem oskórka wysyconym solami wapnia, który pełni funkcje ochronne
- **dwie pary czułków**
- zwykle **pięć par odnóży krocznych**





Pajęczaki

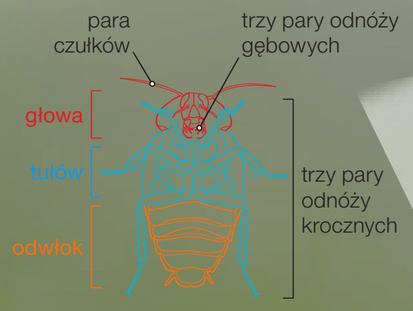
- **ciało zbudowane z dwóch tagm** – z głowotułowia i z odwłoka
- **brak czułków**
- **cztery pary odnóży krocznych**

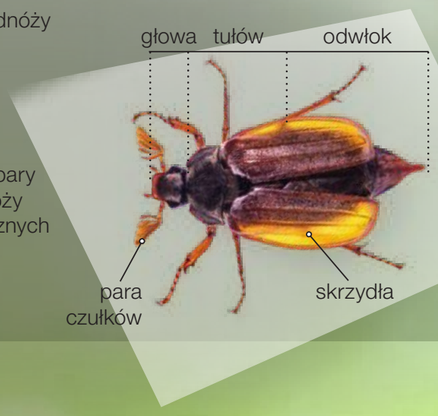




Owady

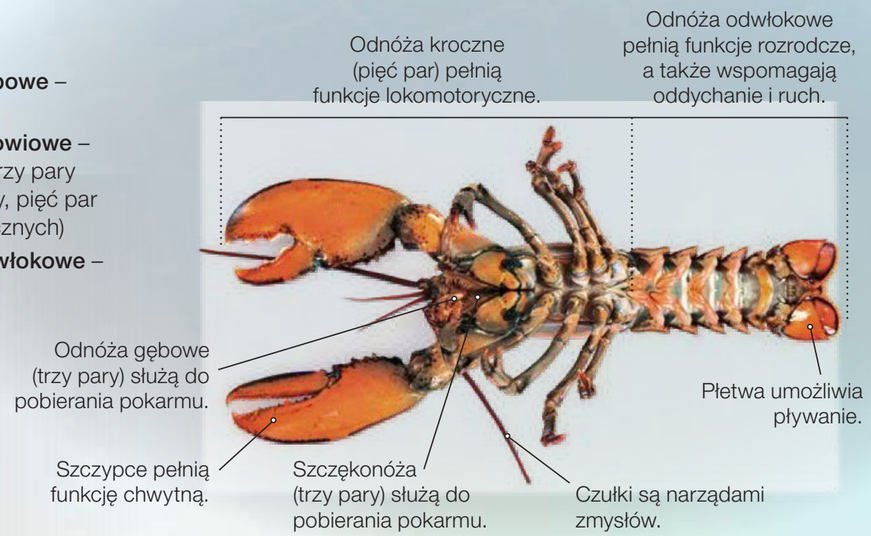
- **ciało zbudowane z trzech tagm** – z głowy, z tułowia i z odwłoka
- **trzy pary odnóży krocznych**
- **jedna para czułków**
- u większości występują **skrzydła**





RODZAJE ODNÓŻY

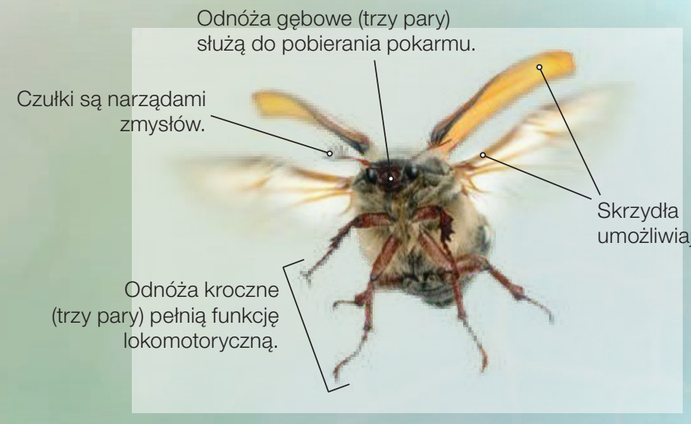
- **odnóża gębowe** – trzy pary
- **odnóża tułowiowe** – osiem par (trzy pary szczękonóży, pięć par odnóży krocznych)
- **odnóża odwłokowe** – sześć par



- **odnóża głowotułowia** – dwie pary przysadek gębowych (szczękoczułki, nogogłaszczki) i cztery pary odnóży krocznych
- **odnóża odwłokowe** – nie występują lub są przekształcone w kądziołki przędne, które służą do wytwarzania nici pajęczej



- **odnóża gębowe** – trzy pary
- **odnóża tułowiowe** – trzy pary odnóży krocznych
- **odnóża odwłokowe** – nie występują

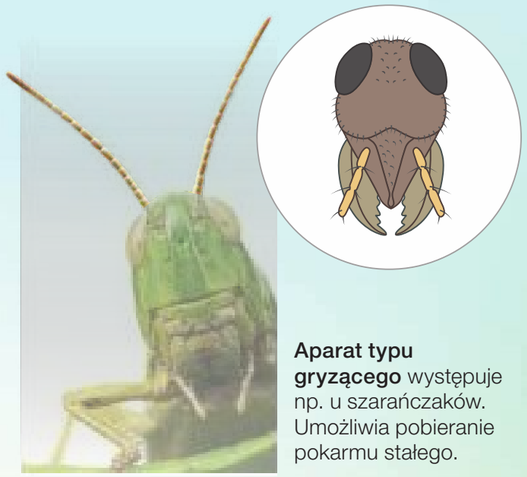


Modyfikacje odnóży u owadów

Budowa odnóży poszczególnych grup stawonogów wiąże się ściśle z prowadzonym przez nie trybem życia i rodzajem pobieranego pokarmu. Największym modyfikacjom uległy odnóża gębowe owadów (przekształciły się w aparaty gębowe) oraz odnóża tułowiowe.

Aparaty gębowe

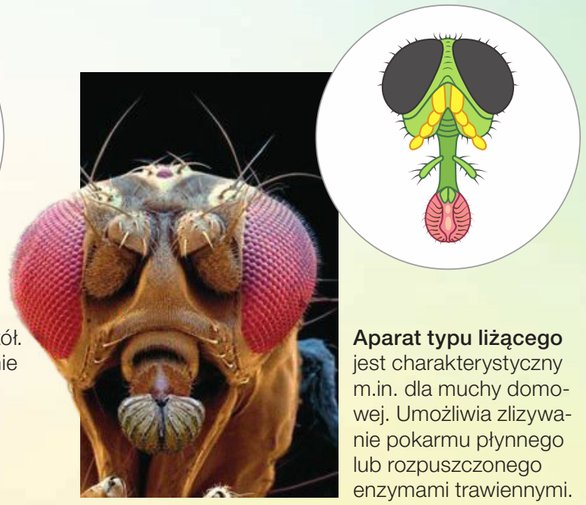
Pierwotnym aparatem gębowym owadów jest aparat typu gryzącego, zbudowany z pary żuwaczek i dwóch par szczęk. Aparaty gębowe pozostałych typów składają się z tych samych, lecz silnie przekształconych elementów.



Aparat typu gryzącego występuje np. u szarańczaków. Umożliwia pobieranie pokarmu stałego.



Aparat typu gryząco-liżącego występuje m.in. u pszczół. Pozwala na rozdrabnianie pyłku kwiatowego, urabianie wosku i wysysanie płynnego pokarmu, np. nektaru.



Aparat typu liżącego jest charakterystyczny m.in. dla muchy domowej. Umożliwia zlizywanie pokarmu płynnego lub rozpuszczonego enzymami trawiennymi.



Aparat typu kłująco-ssącego występuje np. u komarów. Pozwala na przebicie powłok ciała, a następnie na pobieranie soków roślin lub płynów ciała zwierząt.



Aparat typu ssącego występuje u motyli. Umożliwia wysysanie nektaru kwiatów.

Odnóża tułowiowe

Odnóża tułowiowe owadów składają się z członów połączonych stawami. Człony te mogą ulegać różnym modyfikacjom – w zależności od pełnionych funkcji. Wyróżnia się m.in. odnóża kroczne, skoczne, grzebne, chwytne, pływne i czepne.



Odnóża kroczne są pierwotnym typem odnóży. Umożliwiają ruch kroczny, w tym bieganie. U chrząszczy z rodziny biegaczowatych wszystkie odnóża tułowiowe są typu krocznego.



Odnóża skoczne są długie i silnie umięśnione. Umożliwiają skoki na duże odległości. Występują np. u pasikoników.



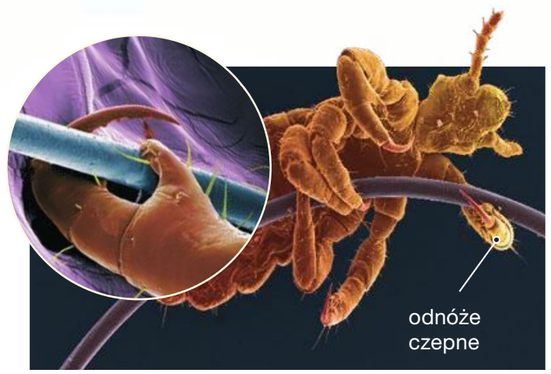
Odnóża chwytne przypominają szczypce i są zaopatrzone w liczne kolce. Umożliwiają chwytanie i przytrzymywanie ofiary. Występują u owadów drapieżnych, np. u modliszek.



Odnóża grzebne są grube i spłaszczone, a swoim kształtem przypominają łopatki. Umożliwiają drążenie korytarzy w glebie. Występują m.in. u turkucia podjadka.



Odnóża pływne są spłaszczone i mają kształt wioseł. Umożliwiają pływanie. Występują m.in. u pływaka żółtobrzeżka.



Odnóża czepne mają wyrostek i ruchomy pazurek. Umożliwiają utrzymywanie się na włosach lub sierści. Występują m.in. u wszy ludzkiej.

Poruszanie się stawonogów

Stawonogi opanowały praktycznie wszystkie środowiska i przystosowały się do sprawnego poruszania się w każdym z nich.

Stawonogi wodne



Planktonowe skorupiaki często pływają za pomocą ruchów wiosłowych. U rozwielitek narządem lokomotorycznym są zmodyfikowane czułki drugiej pary, które działają jak wiosła.



Krewetki należące do skorupiaków kroczą po dnie za pomocą odnóży tułowiowych lub pływają w toni wodnej dzięki płetwie na odwłoku.



Nartniki to owady, które do poruszania się wykorzystują zjawisko napięcia powierzchniowego wody. Ruch nartników jest nazywany ruchem ślizgowym.

Stawonogi lądowe



Biegacz złocisty szybko biega – dzięki niezwykle sprawnym odnóżom kroczny skutecznie poluje na ofiary i ucieka przed drapieżnikami.



Konik brunatny ma odnóża skoczne i rozbudowane mięśnie, dlatego przemieszcza się skokami.

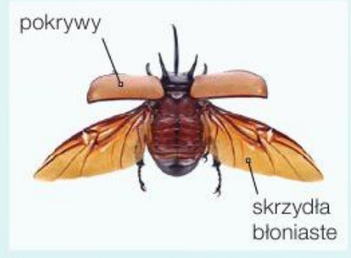
Większość owadów przemieszcza za pomocą aktywnego lotu, co jest możliwe dzięki obecności skrzydeł. Skrzydła to wytwory powłoki ciała, które znajdują się na tułowiu.



Owady takie jak ważki, pszczoły czy motyle mają dwie pary błoniastych skrzydeł.



Komary i muchy mają jedną parę błoniastych skrzydeł. Druga para przekształciła się w przezmianki, które są narządami równowagi.



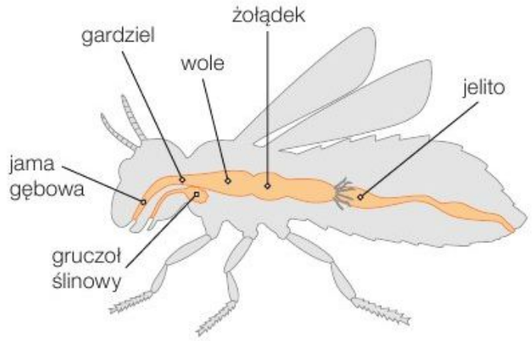
U chrząszczy pierwsza para skrzydeł przekształciła się w pokrywy o funkcji ochronnej. Z kolei druga para (błotniasta) umożliwia latanie.

Układ pokarmowy stawonogów

Przewód pokarmowy stawonogów składa się z trzech odcinków:

- **jelita przedniego**,
- **jelita środkowego**,
- **jelita tylnego**.

Pierwszy i ostatni odcinek wyścieła chitynowy oskórek. W jelicie przednim występują zwykle **jama gębowa**, **gardziel**, **przełyk**, a czasami także **wole** oraz **żołądek**. Przy otworze gębowym znajdują się odnóża gębowe umożliwiające pobieranie pokarmu. Oprócz przewodu pokarmowego w skład układu pokarmowego wchodzą gruczoły wytwarzające enzymy trawienne. Szczegóły budowy układu pokarmowego różnią się w obrębie poszczególnych grup stawonogów.



Budowa układu pokarmowego owada.

Skorupiaki

Skorupiaki mają **żołądek żujący**, którego przednia część jest wysłana chitynowymi listewkami umożliwiającymi rozcieranie pokarmu, a tylna jest często zaopatrzona w szczeliny filtrujące. Enzymatyczne trawienie pokarmu zachodzi w jelicie środkowym, do którego otwiera się gruczoł wątrobowo-trzustkowy.

Pajęczaki

Pajęczaki odznaczają się silnie umięśnioną gardzielą pełniącą funkcję pompy ssącej. U pająków wstępne trawienie odbywa się poza przewodem pokarmowym. Zwierzęta te wprowadzają do ciała ofiar wydzielinę gruczołów ślinowych i jadowych, która przekształca je w płynną masę zasysaną za pomocą gardzieli. Dalszy rozkład i wchłanianie pokarmu zachodzą w jelicie środkowym, do którego uchodzą enzymy trawienne gruczołu wątrobowo-trzustkowego.

Owady

U owadów pokarm jest rozkładany za pomocą enzymów wytwarzanych przez gruczoły ślinowe. Gruczoły otwierają się do gardzieli. Czasem pełnią też one inne funkcje, np. u gąsienic motyli przekształcają się w gruczoły przędne wytwarzające nici do budowy kokonu. Ponadto u owadów występuje zazwyczaj wole, w którym zachodzą magazynowanie i wstępne trawienie pokarmu.



Pierwsza para odnóży tułowiowych skorupiaków, np. krabów, jest przekształcona w szczypce. Dzięki temu kraby mogą łatwo chwytać ofiary.



Wiele gatunków pająków tworzy lepkie pajęczyny, które służą do chwytania ofiar. Jest to możliwe dzięki obecności kądziołków przędnych w ich odwłoku.

Układ oddechowy stawonogów

Oskórek pokrywający ciało stawonogów jest nieprzepuszczalny dla gazów, dlatego zwierzęta te wykształciły różnorodne narządy umożliwiające wymianę gazową.

Narządami wymiany gazowej stawonogów są m.in.:

- **skrzela** (u większości skorupiaków),
- **płucotchawki** (u niektórych pajęczaków),
- **tchawki** (u owadów i części pajęczaków).

Larwy niektórych owadów, m.in. ważek, mają **skrzelotchawki**. Są to wyrostki znajdujące się na odwłoku lub tułowiu, które zawierają gęstą sieć zamkniętych tchawek. Tlen przenika z wody do systemu tchawek na drodze dyfuzji, a następnie jest doprowadzany do tkanek.

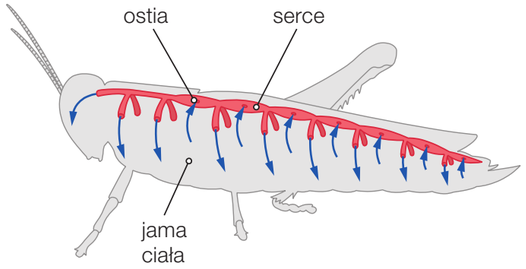


Skrzelotchawki u larwy ważki.

Układ krwionośny stawonogów

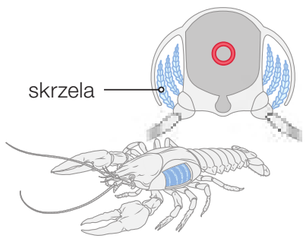
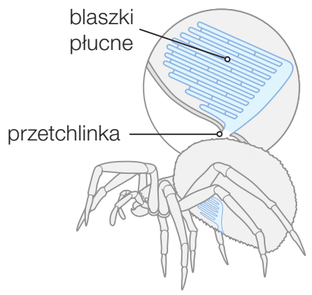
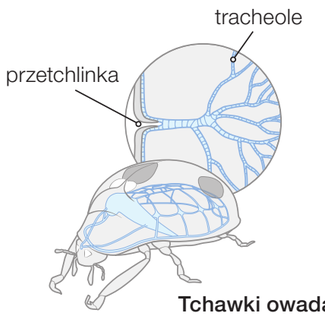
Stawonogi mają otwarty układ krwionośny – krążąca w nim hemolimfa wylewa się z naczyń do jamy ciała. Przepływ hemolimfy zapewniają rytmiczne skurcze serca, które znajduje się po grzbietowej stronie ciała. Hemolimfa jest zasysana do wnętrza serca przez otwory w jego ścianach – tzw. ostia.

U owadów hemolimfa nie zawiera barwników oddechowych (tlen dociera do tkanek systemem tchawek). Do funkcji ich układu krwionośnego należą głównie transport substancji pokarmowych oraz hormonów. U innych stawonogów hemolimfa ma barwniki oddechowe – niebieską hemocyjaninę lub czerwoną hemoglobinę.



Układ krwionośny owadów.

Narządy wymiany gazowej stawonogów

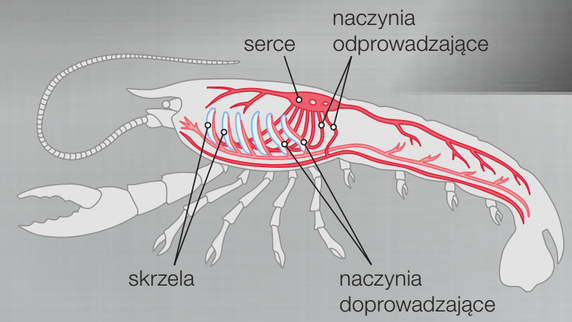
Skrzela	Płucotchawki	Tchawki
 **Skrzela wewnętrzne raka.**	 **Płucotchawki pająka.**	 **Tchawki owada.**
• Cienkościenne, silnie ukrwione wyrostki, które znajdują się na tułowiu, odnóżach lub odwłoku. • Wyróżnia się skrzela zewnętrzne (np. u rozwielitki) oraz skrzela wewnętrzne, umiejscowione wewnątrz komór skrzelowych i osłonięte bocznymi częściami pancerza (np. u raka).	• Umiejscowione w odwłoku komory, które zawierają cienkie, ułożone równolegle blaszki płucne. Między blaszkami przepływa powietrze. Prowadzą do nich otwory – tzw. przetchlinki.	• Silnie rozgałęzione rurki zbudowane z chityny, do których prowadzą parzyste otworki znajdujące się po bokach ciała (przetchlinki). Najcieńsze rozgałęzienia – tracheole – wypełnia płyn, w którym rozpuszczają się gazy oddechowe.

Wymiana gazowa i transport gazów oddechowych u stawonogów

Narządami oddechowymi stawonogów są skrzela, płucotchawki i tchawki. Skrzela i płucotchawki ściśle współpracują z układem krwionośnym, który rozprowadza po ciele gazy oddechowe. Z kolei tchawki są narządami niezależnymi od układu krwionośnego.

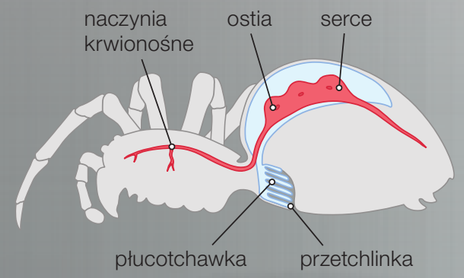
Skorupiaki

- Hemolimfa dostaje się do **skrzeli** naczyniami doprowadzającymi.
- Przez cienkie ściany tych narządów zachodzi dyfuzja tlenu z wody do hemolimfy oraz dyfuzja dwutlenku węgla w kierunku przeciwnym.
- Bogata w tlen hemolimfa przepływa naczyniami odprowadzającymi do worka osierdziowego i do serca, skąd jest rozprowadzana po całym ciele.



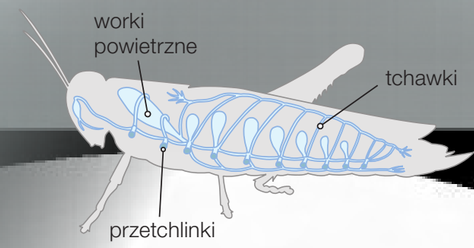
Pajęczaki

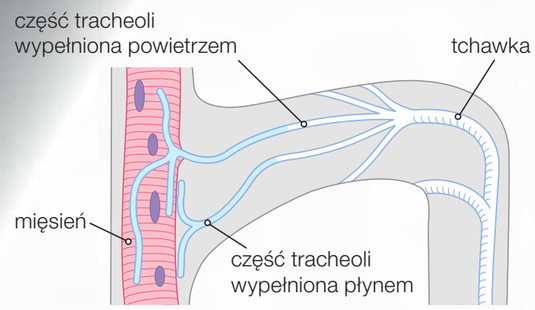
- Hemolimfa napływa z jamy ciała do wnętrza blaszek **płucotchawek**.
- Powietrze dociera do wnętrza płucotchawek przez **przetchlinki**.
- W blaszkach płucotchawek zachodzą dyfuzja tlenu z powietrza do hemolimfy oraz dyfuzja dwutlenku węgla w kierunku przeciwnym.
- Bogata w tlen hemolimfa wpływa ostiami do serca, skąd jest rozprowadzana po całym ciele.



Owady

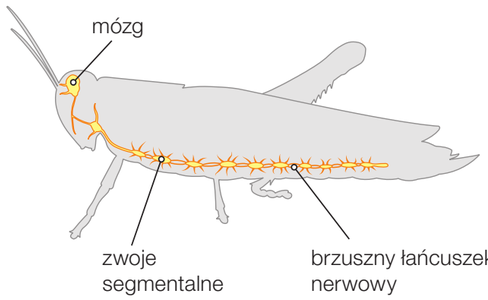
- Zarówno wymiana gazowa, jak i transport gazów oddechowych zachodzą dzięki tchawkom – bez udziału układu krwionośnego.
- Powietrze dociera do wnętrza tchawek przez przetchlinki.
- Na końcu tchawek znajdują się **tracheole**, które doprowadzają tlen bezpośrednio do każdej komórki ciała. Zakończenia tracheoli są wypełnione płynem, co ułatwia dyfuzję gazów oddechowych.
- W sąsiedztwie narządów wymagających dużej ilości tlenu tchawki dodatkowo rozszerzają się i tworzą cienkościenne **worki powietrzne**.





Układ nerwowy stawonogów

Najprostszy układ nerwowy stawonogów składa się ze zwojów nadprzełykowego i podprzełykowego oraz z obrączki okołoprzełykowej. Od zwoju podprzełykowego odchodzą dwa pnie nerwowe, które u większości gatunków zlewają się ze sobą w brzuszny **łańcuszek nerwowy**. Łańcuszek ten tworzy we wszystkich segmentach zwoje segmentalne, połączone zazwyczaj spoidłami poprzecznymi. Wiele stawonogów ma bardziej scentralizowany układ nerwowy, np. u owadów z połączenia zwoju nadprzełykowego z kilkoma pierwszymi zwojami segmentalnymi powstaje **mózg**.



Układ nerwowy owada.

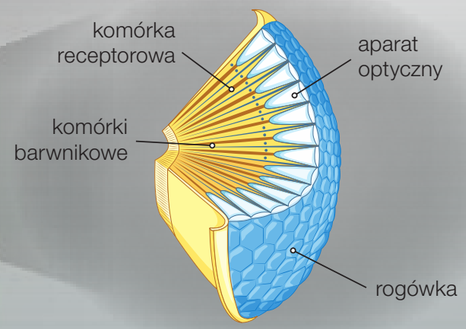
Narządy zmysłów

Narządy zmysłów stawonogów są na ogół bardzo dobrze rozwinięte i niezwykle zróżnicowane. Funkcję **fotoreceptorów** pełnią **oczy proste** reagujące na natężenie światła oraz **oczy złożone** wytwarzające obraz. Oczy złożone składają się z dużej liczby ommatidiów – jednakowych, ciasno upakowanych elementów. Wytwarzają one obraz mozaikowy, będący sumą obrazów powstałych w poszczególnych ommatidiach. Stawonogi mają **chemoreceptory** w postaci **narządów smaku i węchu**, często niezwykle czułych. Znajdują się one głównie na czułkach oraz na odnóżach leżących blisko otworu gębowego. W miejscach tych są zlokalizowane również większe skupienia **mechanoreceptorów**, m.in. w postaci włosków czuciowych. Reagują one na **dotyk,** a także na **ciśnienie wody lub powietrza**. Narządem dotyku wielu gatunków są czułki. Do mechanoreceptorów należą również narządy słuchu, zwane narządami tympanalnymi, oraz narządy równowagi w postaci statocyst.

Przykłady narządów zmysłów stawonogów

Większość stawonogów charakteryzuje się dobrze wykształconymi narządami zmysłów, których budowa jest często skomplikowana.





Oko złożone występuje u większości dorosłych owadów. Odróżnia ono kolory i zmiany natężenia światła, a także umożliwia rozpoznawanie kształtów. Ponadto jest wrażliwe na ruch obiektów i bardzo szybko reaguje na bodźce wzrokowe, dzięki czemu owady mogą sprawnie unikać zagrożeń.

W skład oka złożonego może wchodzić od kilku do nawet 30 tys. ommatidiów. Każde z nich jest zbudowane z aparatu optycznego załamującego światło, a także z komórek receptorowych i barwnikowych. Jakość otrzymanego obrazu zależy m.in. od liczby ommatidiów.

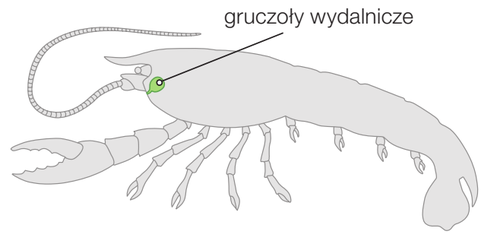
Układ wydalniczy stawonogów

Narządami wydalania i osmoregulacji u części stawonogów są przekształcone **metanefrydia**. Składają się one z pęcherzyka i z kanału wydalniczego, zakończonego otworem wydalniczym. Nazwy tych narządów zależą od miejsca, w którym znajdują się ich ujścia.

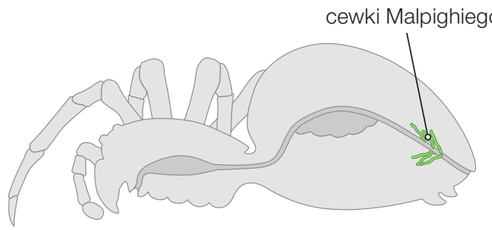
U skorupiaków metanefrydia uchodzą u podstawy czułków **(gruczoły czułkowe)** lub w okolicach szczęk **(gruczoły szczękowe)**. U większości pajęczaków występują **gruczoły biodrowe**, które uchodzą przy nasadach odnóży krocznych.

Narządami wydalniczymi owadów i niektórych pajęczaków są **cewki Malpighiego** [wym. malpigiego]. Mają one postać ślepo zakończonych, rurkowatych uwypukleń przewodu pokarmowego, wyrastających na granicy jelita środkowego i jelita tylnego w liczbie od jednej do kilkuset par. Cewki Malpighiego zbierają zbędne produkty przemiany materii z jamy ciała, a następnie przekazują je do wnętrza przewodu pokarmowego. Stamtąd są usuwane przez otwór odbytowy wraz z niestrawionymi resztkami pokarmu.

Stawonogi żyjące w środowisku wodnym wydalają głównie amoniak. Z kolei formy lądowe, zmuszone do oszczędnej gospodarki wodnej, wydalają związki, które nie wymagają rozcieńczenia i są znacznie mniej toksyczne, np. kwas moczowy.



U skorupiaków narządem wydalniczym są gruczoły czułkowe lub gruczoły szczękowe.



U owadów i niektórych pajęczaków narządem wydalniczym są cewki Malpighiego.



Narządy tympanalne są narządami słuchowymi, dzięki którym owady mogą rejestrować dźwięki. Znajdują się one zazwyczaj na odnóżach. Mają postać oskórkowych błon, rozpiętych w specjalnych jamkach pancerza i połączonych z tchawkami.



U kleszczy na pierwszej parze odnóży krocznych znajdują się liczne receptory, dzięki którym kleszcze są w stanie wykryć i zlokalizować żywiciela.

Czułki są m.in. narządem węchu. U samców wielu owadów, np. motyli nocnych, wychwytują one z powietrza cząsteczki feromonów płciowych – substancji zapachowych produkowanych przez samice.



Rozmnażanie się i rozwój stawonogów

Stawonogi rozmnażają się płciowo. Wśród stawonogów (np. u mszyc) spotyka się również zwierzęta rozmnażające się na drodze partenogenezy (→s. 262). U niektórych gatunków (np. u rozwielitek) występuje **heterogonia**, która polega na następowaniu po sobie pokoleń rozmnażających się dwupłciowo (z udziałem samca i samicy) oraz pokoleń rozmnażających się partenogenetycznie (tylko z udziałem samic; rozwój jaj odbywa się bez zapłodnienia).

Rozmnażanie płciowe

Stawonogi są z reguły zwierzętami rozdzielnopłciowymi, obojnactwo występuje u nich bardzo rzadko. U wielu gatunków obserwuje się wyraźny **dymorfizm płciowy**, polegający m.in. na różnicy w wielkości – samice są zwykle większe od samców.

Gonady stawonogów mogą być parzyste lub nieparzyste. Odchodzą od nich przewody wyprowadzające, które są zakończone otworami płciowymi lub – w przypadku samców niektórych gatunków – narządem kopulacyjnym. W okolicy otworu płciowego u samic wielu owadów znajduje się **pokładełko** – specjalny narząd w postaci rurki, umożliwiający składanie jaj, np. w glebie, pod korą drzew, a nawet we wnętrzu ciała innych zwierząt. Dzięki temu jaja są zabezpieczone przed wpływem środowiska, a larwy po wykluciu mają zapewnione pożywienie. U stawonogów najczęściej dochodzi do **zapłodnienia wewnętrznego**.

Rozwój

Rozwój stawonogów może przebiegać w różny sposób. W **rozwoju prostym** z jaj wylęgają się osobniki podobne do postaci dorosłych, natomiast w **rozwoju złożonym** występuje larwa. W rozwoju złożonym wielu owadów obserwuje się też przeobrażenie (metamorfozę). Wyróżnia się dwa typy przeobrażenia:

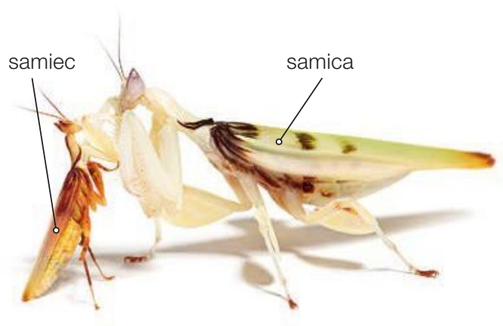
- **przeobrażenie niezupełne** – gdy stadium poczwarki nie występuje,
- **przeobrażenie zupełne** – gdy stadium poczwarki występuje.

Określanie typu rozwoju stawonogów





Kłowacznik władczy składa jaja w ciele larw chrząszczy żerujących w drewnie. Jest to możliwe dzięki długiemu pokładełku, za pomocą którego kłowacznik przebija się przez korę drewna.



U modliszek występuje dymorfizm płciowy – samica jest większa od samca. Zdarza się, że po zakończonej kopulacji (lub w jej trakcie) samica odgryza i zjada głowę partnera.

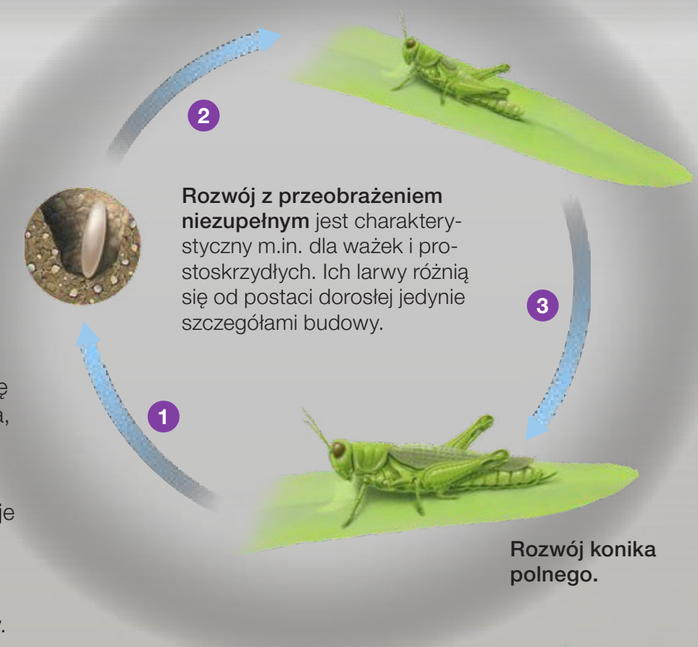
Przeobrażenie niezupełne i zupełne

U stawonogów rozwój złożony może zachodzić z przeobrażeniem niezupełnym lub zupełnym.

Przeobrażenie niezupełne

W rozwoju złożonym z przeobrażeniem niezupełnym występują dwa podobne do siebie stadia rozwojowe: **larwa** oraz postać dorosła – **imago**. Larwy różnią się od postaci dorosłej jedynie szczegółami budowy. Rozwój z przeobrażeniem niezupełnym jest charakterystyczny m.in. dla konika polnego (należącego do prostoskrzydłych).

1. Postać dorosła (imago) składa jaja w środowisku, w którym żyje.
2. Z jaja wykluwa się larwa, która różni się od imago wielkością, proporcjami ciała, niedojrzałością narządów rozrodczych i brakiem skrzydeł.
3. Z każdym kolejnym linieniem larwa staje się coraz bardziej podobna do postaci dorosłej. Larwy poszczególnych gatunków owadów mogą linieć od kilku do kilkunastu razy.



Rozwój konika polnego.

Przeobrażenie zupełne

W rozwoju złożonym z przeobrażeniem zupełnym występują trzy stadia rozwojowe: **larwa**, **poczwarka** i postać dorosła – **imago**. Larwa znacznie różni się od postaci dorosłej wyglądem i trybem życia. Przebudowa organizmu do postaci dorosłej odbywa się w stadium poczwarki. Rozwój z przeobrażeniem zupełnym jest charakterystyczny m.in. dla motyli, np. dla niepylaka apollo.

1. Dorosły owad składa jaja w środowisku odpowiednim dla rozwoju larwy.
2. Larwa prowadzi inny tryb życia niż postać dorosła i odżywia się innym rodzajem pokarmu.
3. Larwa kilkakrotnie linieje – do momentu, w którym przekształci się w poczwarkę. W tym stadium następuje przebudowa wszystkich układów narządów.
4. Po zakończonym przeobrażeniu powłoki poczwarki pękają i wychodzi z nich dorosły, zdolny do rozrodu owad.



Rozwój niepylaka apollo.

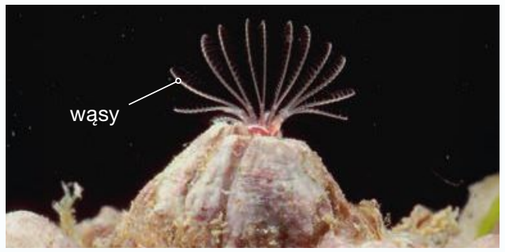
Różnorodność stawonogów

Stawonogi są dominującą grupą bezkręgowców i najbardziej zróżnicowaną grupą zwierząt. W obrębie typu stawonogów wyróżnia się m.in. skorupiaki, pajęczaki i owady.

Przedstawiciele skorupiaków



Kryle to grupa gatunków, które masowo występują w oceanach. Stanowią kluczowe ogniwo sieci pokarmowych. Odżywiają się fitoplanktonem i są podstawą diety wielu ryb, ptaków i ssaków.



Pąkle to osiadłe zwierzęta wodne. Ich ciało ma niewyraźną segmentację, a głowa i odwłok są zwykle zredukowane. Odnóża kroczne są przekształcone w wąsy – za ich pomocą pąkle odcedzają z wody cząstki pokarmowe.

Kraby to zwierzęta wodne o wyraźnej segmentacji ciała. Ich cechą charakterystyczną jest zredukowany i podwinięty odwłok. Wiele krabów może okresowo przebywać na lądzie, ponieważ ich skrzela są ukryte głęboko pod pancerzem i wysychają powoli.



Przedstawiciele pajęczaków



Kleszcze to pasożyty zewnętrzne wielu gatunków zwierząt. Ich głowotułów i odwłok są zrośnięte, natomiast szczękoczułki przekształciły się w aparat kłująco-ssący. Aparatem tym przebijają skórę żywiciela i odżywiają się jego krwią.



Pająki prowadzą zwykle drapieżny tryb życia. W ich szczękoczułkach znajdują się gruczoły jadowe. Nogogłaszczki są zarówno narządem chwytnym, jak i narządem dotyku. Na odwłoku występują kądziołki przędne, wytwarzające nici do budowy np. sieci łownych.

Skorpiony występują na obszarach o klimacie gorącym i suchym. Zwierzęta te prowadzą drapieżny tryb życia. Ich nogogłaszczki są zakończone szczypcami, a na końcu dwuczęściowego odwłoka znajduje się gruczoł jadowy.



Przedstawiciele owadów



Ważki to owady drapieżne o rozłożystych, błoniastych skrzydłach. Mają gryzący aparat gębowy i duże oczy złożone.



Motyle to owady z aparatem gębowym typu ssącego. Skrzydła obu par są u nich błoniaste, duże i pokryte drobnymi łuskami.



Pluskwiaki to owady roślinożerne lub drapieżne oraz pasożyty z kłująco-ssącym aparatem gębowym. Ich skrzydła są w całości błoniaste lub fragment skrzydeł pierwszej pary tworzy skórzaste pokrywy.



Muchówki mają najczęściej aparat gębowy typu liżącego, kłująco-ssącego lub gryzącego. Skrzydła drugiej pary są przekształcone w przezmianki, a odnóża tułowiowe są zaopatrzone w przyssawki lub przylgi.



Błonkoskrzydłe mają zwykle gryząco-liżący aparat gębowy. Ich skrzydła są błoniaste, przy czym pierwsza para jest większa od drugiej. Odnóża tułowiowe są często przystosowane do grzebania w ziemi lub do zbierania pyłku. Przedstawiciele tej grupy tworzą niekiedy złożone struktury społeczne (np. pszczoły).

Chrząszcze to najbogatsza w gatunki grupa owadów. Mają gryzący aparat gębowy. Skrzydła pierwszej pary tworzą grube, skórzaste pokrywy. Owady te, w zależności od środowiska, w którym żyją, mają odnóża różnego typu.



Znaczenie stawonogów w przyrodzie i dla człowieka

Składnik sieci troficznych ekosystemów

Stawonogi stanowią ważny element sieci troficznych ekosystemów. Są zarówno konsumentami, jak i bazą pokarmową dla innych organizmów, głównie zwierząt. Na przykład kryl antarktyczny żywi się fitoplanktonem, a sam stanowi pożywienie jednego z największych ssaków – płetwala błękitnego.



Zapylacze

Liczne gatunki owadów uczestniczą w zapylaniu roślin. Szczególnie efektywne są pszczoły, które zapylają ponad 70% gatunków roślin owadopylnych.



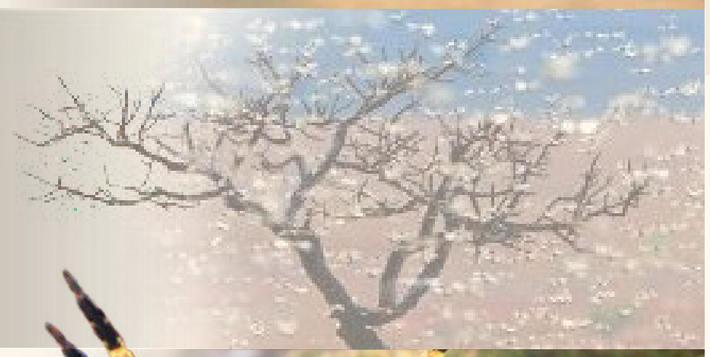
Udział w rozkładzie martwej materii organicznej

Niektóre owady przyczyniają się do rozkładu martwej materii organicznej. Na przykład żuk gnojowy żywi się głównie odchodami zwierząt. Przyspiesza w ten sposób procesy glebotwórcze i obieg materii w przyrodzie.



Szkodniki upraw

Masowe pojawy niektórych owadów, np. szarańczy wędrownej, powodują ogromne szkody w uprawach roślin, głównie zbóż.



Gatunki jadowite

Wiele gatunków stawonogów, zwłaszcza pajęczaków, wytwarza silne jady. Mogą one stanowić zagrożenie dla zdrowia, a nawet życia człowieka. Jednym z najbardziej jadowitych pająków jest wałęsak brazylijski.





Alergeny

Niektóre roztocze – tzw. roztocze kurzu domowego – wywołują alergie.



Zastosowanie w przemyśle spożywczym

Niektóre gatunki stawonogów są wykorzystywane w przemyśle spożywczym. Dotyczy to głównie jadalnych skorupiaków oraz pszczoły miodnej wytwarzającej miód.

Zastosowanie w przemyśle tekstylnym

Jedwabniki są hodowane w celu uzyskiwania jedwabnych nici służących do produkcji jedwabiu naturalnego.



Niszczenie żywności i przedmiotów użytkowych

Wiele stawonogów, zwłaszcza owadów, niszczy produkty żywnościowe oraz przedmioty użytkowe człowieka. Na przykład kołatek wrężyk niszczy przedmioty drewniane, głównie meble.



Polecenia kontrolne

1. Podaj cechy wspólne poznanych grup stawonogów.
2. Podaj dwie funkcje, jakie pełni oskórek owadów.
3. Scharakteryzuj narządy wymiany gazowej stawonogów.
4. Porównaj rozwój z przeobrażeniem niezupełnym z rozwojem z przeobrażeniem zupełnym.

4.10. Mięczaki – zwierzęta o miękkim, niesegmentowanym ciele



Ważne w tym temacie!

- cechy charakterystyczne mięczaków

Mięczaki są zróżnicowanym typem zwierząt, który pod względem liczby opisanych gatunków ustępuje jedynie stawonogom. Główne grupy mięczaków to **ślimaki**, **małże** i **głowonogi**. Większość mięczaków żyje w morzach i oceanach, nieliczne gatunki bytują w wodach słodkich. Niektóre ślimaki występują na lądzie.

Ogólna budowa ciała mięczaków

Mięczaki to **trójwarstwowe** zwierzęta **celomatyczne** (→s. 235). Mają one **symetrię dwuboczną** lub są **wtórnie asymetryczne**. Zachowała się u nich **pierwotna jama ciała** – jest ona ukształtowana w zatoki, do których wylewa się krew. Ciało mięczaków jest **niesegmentowane**, zwykle miękkie i – w zależności od gatunku – nagie bądź okryte **muszlą**. Najczęściej ciało mięczaków dzieli się na trzy części:

- **głowę** – mieszczą się w niej otwór gębowy oraz narządy zmysłów (np. oczy i czułki);
- **worek trzewiowy** – zawiera większość narządów wewnętrznych. Jest okryty płaszczem, czyli fałdem ściany ciała, który wytwarza muszlę. Przestrzeń między płaszczem a workiem trzewiowym to tzw. **jama płaszczowa**. Znajdują się w niej narządy wymiany gazowej oraz ujścia układów: wydalniczego, pokarmowego i rozrodczego;
- **nogę** – czyli umięśniony narząd ruchu.

Pokrycie ciała mięczaków

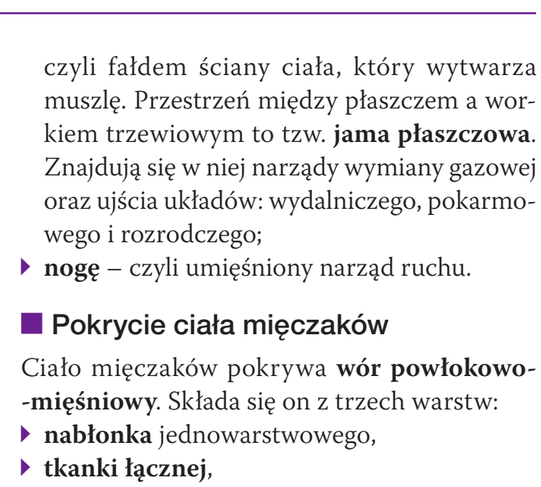
Ciało mięczaków pokrywa **wór powłokowo-mięśniowy**. Składa się on z trzech warstw:

- **nabłonka** jednowarstwowego,
- **tkanki łącznej**,
- **mięśni**.

Nabłonek mięczaków zawiera liczne gruczoły wydzielające śluz. Ponadto na brzegu płaszcza znajdują się gruczoły wytwarzające muszlę. Muszla pełni funkcję ochronną. U ślimaków i małży jest miejscem przyczepu mięśni, a więc odgrywa rolę szkieletu zewnętrznego. Muszla mięczaków jest zbudowana z węglanu wapnia oraz z substancji organicznej zwanej konchiolinią.

Jak powstają perły?

Perły są wytworem płaszcza małży. Powstają w wyniku wniknięcia ciała obcego (np. drobnych kamieni lub pasożytów) między płaszcz a warstwę perłową muszli. W wyniku reakcji obronnej małża wokół ciała obcego odkładają się liczne warstwy substancji perłowej, które z czasem przekształcają się w perłę.



Perły są wykorzystywane m.in. do produkcji wyrobów jubilerskich.

Budowa mięczaków

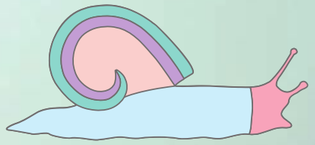
Mięczaki mają wspólny plan budowy, który w toku ewolucji podlegał licznym modyfikacjom – w zależności od trybu życia i zajmowanego środowiska.

Elementy budowy ciała mięczaków:

muszla · płaszcz · worek trzewiowy · noga · głowa

Ślimaki

- Ciało składa się z głowy, nogi i worka trzewiowego.
- Wiele gatunków wytwarza szkielet zewnętrzny w postaci jednoczęściowej i najczęściej spiralnie skręconej muszli.

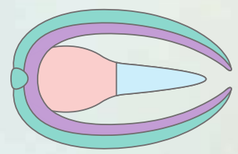


Budowa ślimaka.

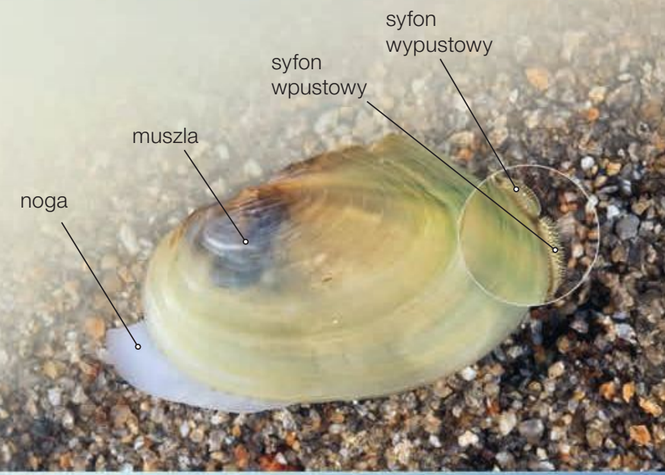


Małże

- Ciało jest zbudowane z **nogi** i **worka trzewiowego** (małże nie mają głowy).
- Muszla składa się z dwóch części.
- W tylnej części ciała płaty płaszcza zrastają się w syfony – woda wnika do jamy płaszczowej przez **syfon wpustowy**, a wypływa przez **syfon wyrzutowy**.

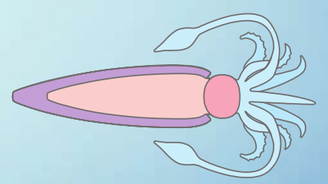


Budowa małża.

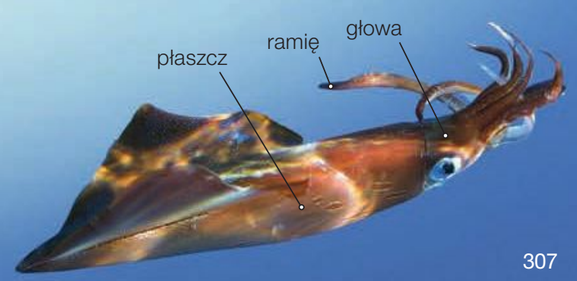


Głowonogi

- Ciało składa się z **głowy**, **nogi** i **worka trzewiowego**. W rozwoju zarodkowym noga przekształca się w ramiona i lejek.
  - **Ramiona** to narządy chwytne, które są wyposażone w okrągłe przyssawki. Uczestniczą w poruszaniu się.
  - **Lejek** pełni funkcje lokomotoryczne: pod dużym ciśnieniem wyrzuca wodę z jamy płaszczowej (ruch odrzutowy).
- Większość nie ma muszli zewnętrznej – w zamian głowonogi wytwarzają **chrzęstny bądź mineralny szkielet wewnętrzny**. Wyjątek stanowią łodziki – głowonogi o dobrze rozwiniętej spiralnej muszli.

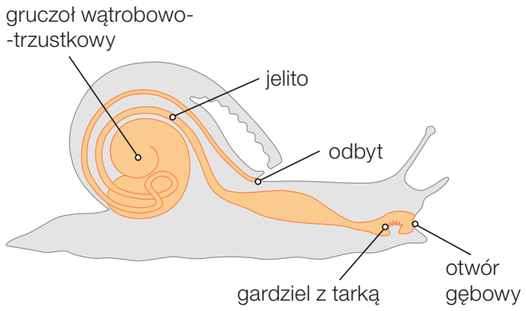


Budowa głowonoga.



Układ pokarmowy mięczaków

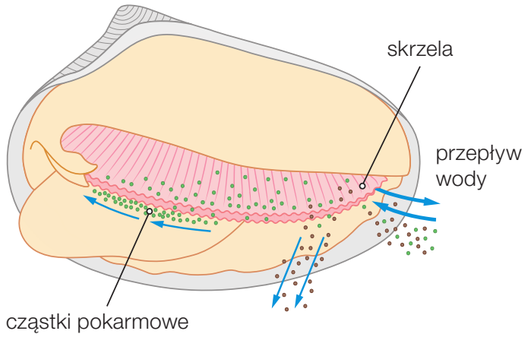
Przewód pokarmowy mięczaków jest zróżnicowany na trzy odcinki: jelito przednie, jelito środkowe i jelito tylne. **Jelito przednie** rozpoczyna się otworem gębowym prowadzącym do gardzieli, do której uchodzą przewody gruczołów ślinowych. U większości mięczaków w gardzieli znajduje się tarka służąca do zeskrobywania i rozdrabniania pokarmu. Pokarm z gardzieli trafia do żołądka zawierającego enzymy trawienne. Są one wytwarzane i wydzielane przez duży gruczoł wątrobowo-trzustkowy. **Jelito środkowe** tworzy zwykle kilka pętli, po czym przechodzi w **jelito tylne**, zakończone otworem odbytowym otwierającym się do jamy płaszczowej.



Budowa układu pokarmowego ślimaków.

Ślimaki

Wśród ślimaków wyróżnia się gatunki roślinożerne, mięsożerne i wszystkożerne (tylko nieliczne ślimaki są pasożytami). Do ścierania pokarmu na drobne i lekkostrawne fragmenty służy im tarka, która u form drapieżnych i jadowitych ulega silnym modyfikacjom.



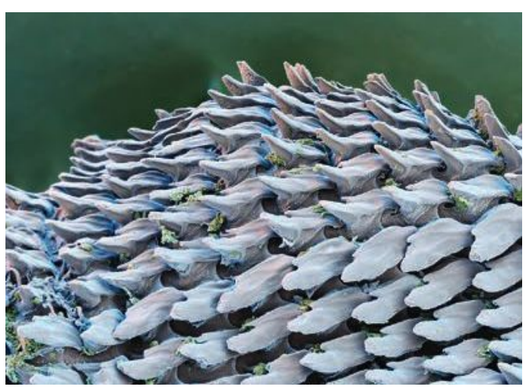
U małży cząstki pokarmowe są wyłapywane przez rzęski, które znajdują się na powierzchni nabłonka wyścielającego skrzela.

Małże

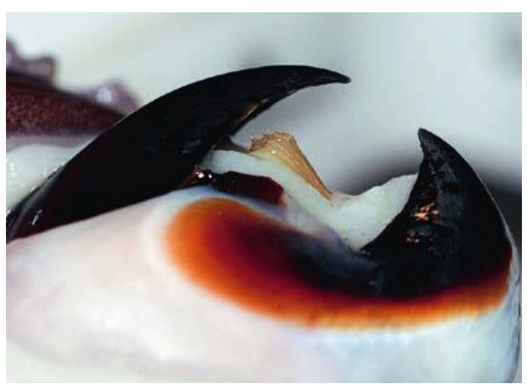
Większość małży należy do filtratorów. Ich pokarm stanowią drobne cząstki organiczne, które wraz z wodą dostają się do jamy płaszczowej, a następnie osiadają na dużych orzęsionych skrzelach. Ruch rzęsek sprawia, że pokarm trafia do otworu gębowego.

Głowonogi

Wszystkie głowonogi są drapieżnikami. W zdobywaniu i rozdrabnianiu pokarmu najważniejszą rolę odgrywa u nich silny **chitynowy dziób**. Głowonogi chwytają ofiarę ramionami zaopatrzonymi w przyssawki, po czym rozdrabniają ją dziobem.



Tarka jest pokryta ząbkami, które – w miarę ścierania się – odrastają (obraz spod SEM, barwiony komputerowo).



Chitynowy dziób występuje u głowonogów. Pełni on funkcję szczęki i służy do rozdrabniania pokarmu.

Układ oddechowy mięczaków

Budowa narządów wymiany gazowej mięczaków jest zróżnicowana – zależy ona od tego, skąd zwierzęta pozyskują tlen.

Wymiana gazowa u mięczaków, które oddychają **tlenem rozpuszczonym w wodzie**, zachodzi na dwa sposoby:

- za pomocą skrzeli umiejscowionych w jamie płaszczowej (np. małże i głowonogi),
- za pomocą **skrzeli wtórnych** zlokalizowanych na rozgałęzionych wyrostkach ciała (np. ślimaki nagoskrzelne).

U gatunków, które oddychają **tlenem atmosferycznym** (np. ślimaki lądowe), wymiana gazowa zachodzi za pomocą **płuca**, czyli sieci naczyń krwionośnych, które są rozmieszczone w ścianie jamy płaszczowej.

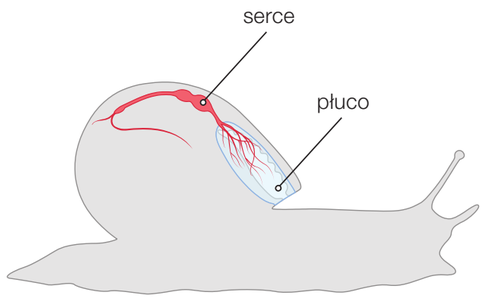


U ślimaków nagoskrzelnych wymiana gazowa zachodzi dzięki skrzelom wtórnym.

Układ krwionośny mięczaków

Mięczaki mają **otwarty układ krwionośny**. Krąży w nim **hemolimfa**, która jest pompowana przez serce. Serce składa się z komory i z różnej liczby przedsionków. Jest ono otoczone workiem osierdziowym i u większości gatunków znajduje się w grzbietowej części worka trzewiowego. Hemolimfa wypływa z niego aortą rozgałęziającą się na wiele mniejszych naczyń tętniczych. Ostatecznie hemolimfa wylewa się do szczelin i zatok pierwotnej jamy ciała, gdzie oddaje tlen. Stamtąd jest zbierana przez naczynia żylne, którymi płynie do narządów wymiany gazowej. Następnie wraca żyłami do serca.

Barwnikiem oddechowym mięczaków jest najczęściej niebieska hemocyjanina, a rzadziej – czerwona hemoglobina.

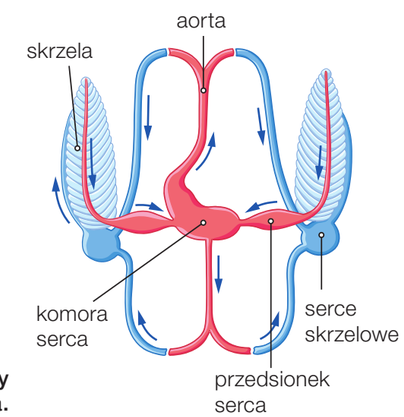


Układ krwionośny ślimaków jest otwarty – natleniona w płucu krew wylewa się do jam ciała.

Układ krwionośny głowonogów

Głowonogi mają najbardziej skomplikowany układ krwionośny spośród wszystkich bezkręgowców.

- W wielu miejscach krew nie wylewa się do zatok jamy ciała (układ jest prawie zamknięty).
- Serce składa się z komory i z dwóch lub czterech przedsionków (w zależności od liczby skrzeli).
- W układzie krwionośnym występują też **serca skrzelowe** – są to umięśnione odcinki naczyń, których skurcze przyspieszają przepływ krwi do skrzeli.

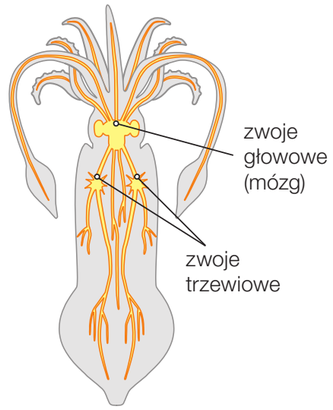


Układ krwionośny głowonoga.

Układ nerwowy mięczaków

Układ nerwowy niżej uorganizowanych mięczaków składa się z obrączki okołoprzełykowej i z kilku podłużnych pni nerwowych, które są połączone spoidłami.

U form wyżej uorganizowanych na pniach powstają **zwoje nerwowe**. Najwyższy stopień rozwoju osiągnął układ nerwowy głowonogów. Występują w nim zwoje głowowe (mózg) zlokalizowane w **chrzęstnej puszce mózgowej**, która chroni je przed urazami. Oprócz mózgu w ciele głowonogów znajdują się liczne zwoje ramieniowe oraz zwoje płaszczowe i trzewiowe.



Budowa układu nerwowego głowonoga.

Narządy zmysłów

Stopień zaawansowania narządów zmysłów zależy od trybu życia prowadzonego przez daną grupę mięczaków. Małże, które są filtratorami, mają mniej skomplikowane narządy zmysłów niż głowonogi, które aktywnie polują na swoje ofiary.

Wokół otworu gębowego (na czułkach oraz na brzegach płaszcza i nogi) znajdują się **receptory dotyku**. Jama płaszczowa jest często zaopatrzona w **chemoreceptory**. Z kolei narządy równowagi występują w postaci **statocyst**. **Oczy** ślimaków są osadzone na drugiej parze czułków. Najwyższy stopień rozwoju osiągnęły oczy głowonogów. Wykazują one duże podobieństwo do oczu kręgowców, mimo że mają inne pochodzenie ewolucyjne (są to narządy analogiczne → s. 16). Oczy głowonogów są zdolne do akomodacji dzięki zmianom położenia soczewki względem siatkówki. Siatkówka oka cechuje się dużym zagęszczeniem komórek receptorowych, a jakość powstającego na niej obrazu jest bardzo wysoka.



U małży oczy są rozmieszczone na brzegu płaszcza. Służą do wykrywania nagłych zmian oświetlenia, które mogą świadczyć np. o przepływającym drapieżniku.



Ośmiornice są bardzo inteligentne. Aby uniknąć ataku drapieżnika, chowają się wewnątrz znalezionych muszli.

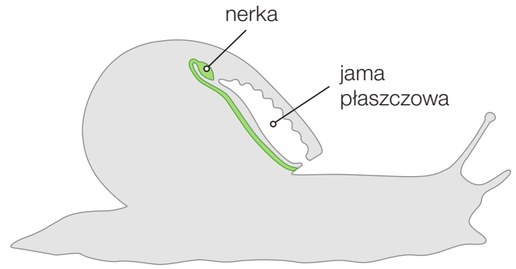


Oczy głowonogów powstają jako wpuklenia powłoki ciała. Są umieszczone w puszce mózgowej i pozwalają na ostre przestrzenne widzenie.

Układ wydalniczy mięczaków

Układ wydalniczy mięczaków składa się najczęściej z parzystych nefrydiów zwanych nerkami. Każde nefrydium rozpoczyna się parą orzęsionych lejków uchodzących do worka osierdziowego. Lejki odbierają z krwi zbędne produkty przemiany materii i przekazują je do worków nefrydialnych. Powstały mocz przepływa do moczowodów, a następnie uchodzi do jamy płaszczowej.

Mięczaki wodne wydalają głównie amoniak i mocznik, a mięczaki lądowe – kwas moczowy.



Układ wydalniczy ślimaka.

Rozmnażanie się i rozwój mięczaków

Mięczaki rozmnażają się wyłącznie płciowo. Ich rozwój może być prosty lub złożony.

Rozmnażanie płciowe

Wśród mięczaków wyróżnia się formy rozdzielnopłciowe (głowonogi, większość małży i ślimaków) i obojnacze (część małży oraz ślimaków). Niektóre mięczaki rozdzielnopłciowe wykazują wyraźny dymorfizm płciowy, widoczny m.in. w budowie muszli. Niżej uorganizowane gatunki mają gonady parzyste, a gatunki wyżej uorganizowane – gonady nieparzyste.

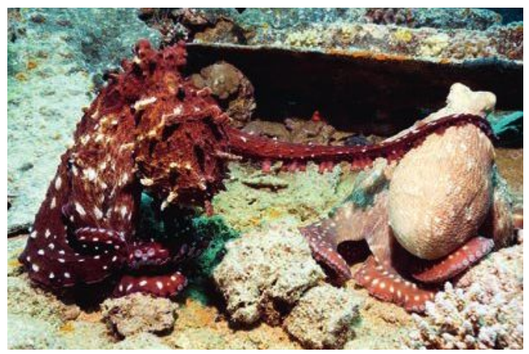
U wielu mięczaków morskich zachodzi zapłodnienie zewnętrzne (u niektórych gatunków zapłodnienie odbywa się w jamie płaszczowej). Zapłodnieniem wewnętrznym cechują się głowonogi oraz gatunki lądowe. U gatunków lądowych, które są obojnakami, występuje zapłodnienie krzyżowe (→ s. 286).

Rozwój

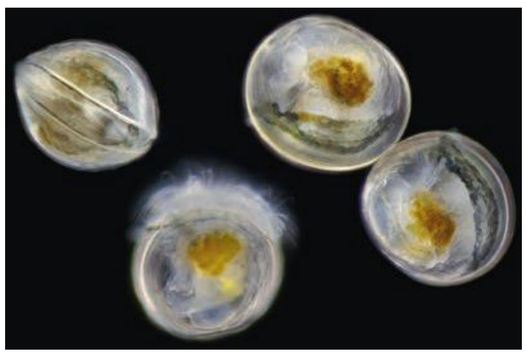
Głowonogi i prawie wszystkie ślimaki płucodyszne cechuje rozwój prosty. W rozwoju pozostałych mięczaków pojawia się larwa, z której rozwija się postać dorosła lub kolejna larwa (żeglarek).



Ślimak śródziemnomorski to przykład gatunku obojnaczego, u którego występuje zapłodnienie krzyżowe.



Samce ośmiornic przekazują samicom spermatofory z plemnikami za pośrednictwem przekształconego ramienia.



U małży, np. u ostrygi jadalnej, występuje rozwój złożony. Larwy małży unoszą się w toni wodnej i stanowią składnik planktonu.

Znaczenie mięczaków w przyrodzie i dla człowieka

Składnik sieci troficznych ekosystemów

Mięczaki stanowią ważny element sieci troficznych ekosystemów. Są zarówno konsumentami, jak i bazą pokarmową dla innych organizmów, w tym ryb, ptaków oraz ssaków.



Udział w oczyszczaniu wód

Małże, np. omułek jadalny, uczestniczą w procesie samooczyszczania się wód, odfiltrowując z wody mikroorganizmy i szczątki organiczne, którymi się żywią.



Udział w rozprzestrzenianiu się pasożytów

Niektóre mięczaki są żywicielami pośrednimi pasożytów. Na przykład błotniarka stawowa i błotniarka moczarowa są żywicielami pośrednimi motylicy wątrobowej.



Gatunki jadowite

Pewne gatunki mięczaków wytwarzają silny jad, który może stanowić zagrożenie dla zdrowia człowieka. Jednym z najbardziej jadowitych ślimaków jest stożek geograficzny, występujący m.in. w tropikalnych wodach Indopacyfiku.



Zastosowanie w przemyśle

Niektóre gatunki mięczaków są wykorzystywane w przemyśle spożywczym i kosmetycznym. Ślimaki z rodzaju *Helix* nie tylko stanowią przysmak, lecz także dostarczają bogatego w cenne substancje śluzu, który jest stosowany do produkcji kosmetyków. Z kolei atrament pozyskiwany z mątwy jest używany jako barwnik spożywczy – dodaje się go np. do makaronu.



Skamieniałości przewodnie

Muszle niektórych mięczaków, np. amonitów, są skamieniałościami przewodnimi – używa się ich do oznaczania wieku warstw skalnych.



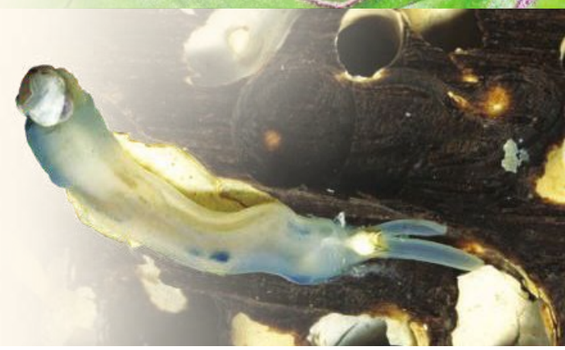
Szkodniki roślin uprawnych

Niektóre roślinożerne mięczaki, głównie ślimaki bezmuszlowe, przyczyniają się do poważnych strat gospodarczych, gdyż żerują na roślinach uprawnych.



Straty gospodarcze spowodowane małżami

Masowo występujące małże zakłócają funkcjonowanie urządzeń portowych, elektrowni wodnych czy jednostek pływających. Małż świdrak okrętowiec uszkadza drewniane elementy konstrukcji, które są zanurzone w wodzie.



Polecenia kontrolne

1. Podaj dwie korzyści, jakie czerpią małże z przepływu wody przez ich skrzela.
2. Podaj funkcję, jaką u mięczaków pełni muszla.
3. Omów sposoby wymiany gazowej, które występują u mięczaków.
4. Wybierz dowolny gatunek małża, a następnie podaj cechy, które pozwalają zaklasyfikować go do tej grupy mięczaków.

4.11. Szkarłupnie – bezkręgowce z układem wodnym

Ważne w tym temacie!

- cechy charakterystyczne szkarłupni

Szkarłupnie to zwierzęta wyłącznie morskie, zasiedlające wody zarówno przybrzeżne, jak i głębinowe. Większość gatunków wymaga środowiska o ściśle określonej temperaturze i dużym zasoleniu.

Wśród szkarłupni można wyróżnić formy osiadłe, pływające i pełzające po dnie. Do szkarłupni zalicza się: **liliowce**, **rozgwiazdy**, **wężowidła**, **jeżowce** i **strzykwy**.

Ogólna budowa ciała szkarłupni

Szkarłupnie należą do zwierząt **trójwarstwowych** i **celomatycznych** (→ s. 235). Celoma jest u nich bardzo dobrze rozwinięta.

Cechą budowy większości szkarłupni jest **symetria promienista**. Ma ona charakter wtórny, o czym świadczy fakt, że stadia larwalne tych zwierząt są dwubocznie symetryczne. Charakterystyczną cechą szkarłupni jest także obecność **układu wodnego** (→ s. 316).

Pokrycie ciała szkarłupni

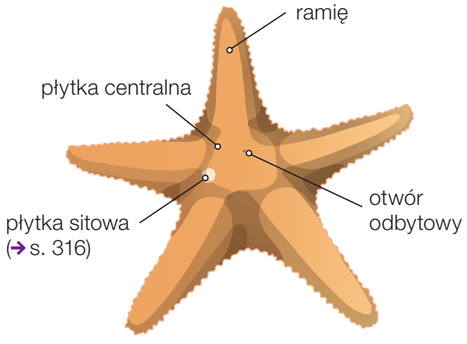
Ciało szkarłupni jest pokryte **nabłonkiem**. Pod nabłonkiem znajduje się warstwa **tkanki łącznej**, która produkuje elementy szkieletu wewnętrznego, zbudowanego z wapiennych płytek. Kolejnymi warstwami są słabo rozwinięte **mięśnie** oraz orzęsiony **nabłonek celomatyczny**.



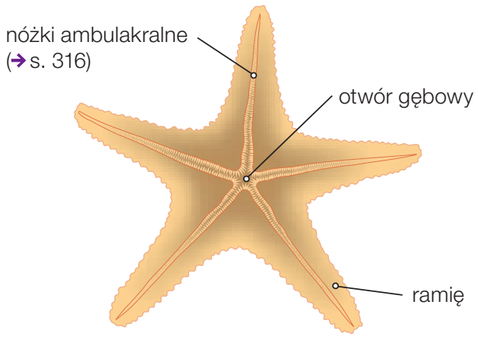
Szkielet jeżowców ma postać puszki, a szkielet rozgwiazd składa się z połączonych ruchomo wapiennych płytek.

Budowa morfologiczna szkarłupni na przykładzie rozgwiazdy

Szkarłupnie nie mają głowy – w ich ciele wyróżnia się **stronę oralną** (gębową), gdzie leży otwór gębowy, i **stronę aboralną**, gdzie u przeważającej liczby gatunków znajduje się otwór odbytowy. W budowie morfologicznej większości szkarłupni wyodrębnia się **tarczę centralną**, od której odchodzi pięć lub więcej **ramion**.



Budowa rozgwiazdy – strona aboralna.



Budowa rozgwiazdy – strona oralna.

Dowiedz się więcej

Różnorodność szkarłupni

Liliowce

Liliowce są zwierzętami osiadłymi. Ich tarcza centralna ma kształt kielicha, na którego brzegu znajduje się pięć ramion – pojedynczych lub rozdzielonych na kilka, a nawet kilkaset gałęzi. Kielich jest osadzony na łodyżce przytwierdzającej zwierzę do podłoża.



Rozgwiazdy

Rozgwiazdy mają tarczę centralną oraz stosunkowo grube ramiona (najczęściej pięć). Poruszają się za pomocą nóżek ambulakralnych (→ s. 316). Odznaczają się dużymi zdolnościami regeneracyjnymi.



Wężowidła

Wężowidła charakteryzują się niewielką tarczą centralną oraz wyraźnie odgraniczonymi, cienkimi ramionami. Ich nóżki ambulakralne (→ s. 316) nie pełnią funkcji lokomotorycznych – wężowidła przemieszczają się za pomocą ruchów ramion. Nie mają otworu odbytowego.



Jeżowce

Ciało jeżowców jest kuliste i pokryte kolcami, które są połączone ruchomo z płytkami szkieletu wewnętrznego. Część jeżowców ma gruczoły jadowe u nasady kolców, a produkowana przez nie toksyna może być niebezpieczna dla człowieka.



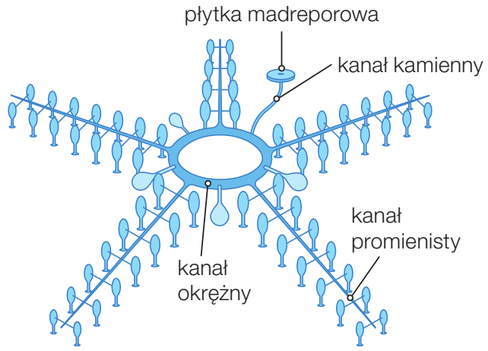
Strzykwy

Strzykwy są dwubocznie symetryczne. Z przodu ich ciała znajduje się otwór gębowy otoczony wieńcem czułków. W sytuacji zagrożenia strzykwy wyrzucają przez odbyt (dzięki skurczom kloaki) część swoich narządów wraz z toksyczną substancją, która paraliżuje napastnika. Utracone narządy szybko się regenerują.



Układ wodny szkarłupni

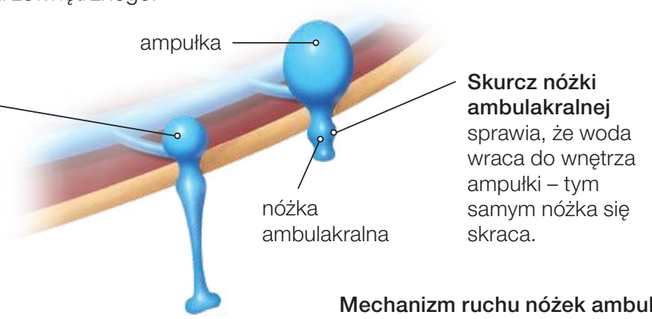
Układ wodny (ambulakralny) to system kanałów wypełnionych płynem, który jest częścią celomy. Układ ten rozpoczyna się leżącą po stronie aboralnej **płytką madreporową** (sitową), przez którą woda dostaje do **kanału kamiennego**. Następnie woda przepływa do **kanału okrężnego** i do **kanałów promienistych** zakończonych ampułkami, które wnikają do **nóżek ambulakralnych**.



Budowa układu wodnego rozgwiazdy.

Funkcje układu wodnego szkarłupni

- Umożliwia ruch.
- Uczestniczy w wymianie gazowej, zdobywaniu pokarmu i transporcie substancji.
- Bierze udział w wydalaniu zbędnych lub szkodliwych produktów przemiany materii.
- Odbiera bodźce ze środowiska zewnętrznego.

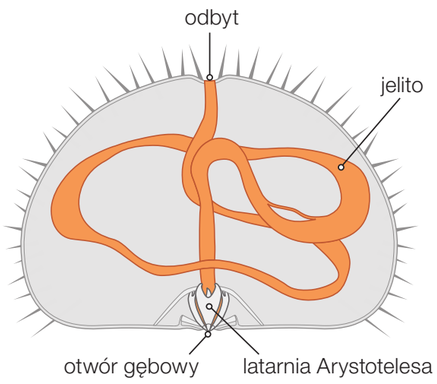


Mechanizm ruchu nóżek ambulakralnych.

Układ pokarmowy szkarłupni

Układ pokarmowy większości szkarłupni składa się z **jelita przedniego**, zbudowanego z przełyku i obszernego żołądka, **jelita środkowego** oraz **jelita tylnego**, zakończonego odbytem.

Szkarłupnie odżywiają się bardzo różnorodnym pokarmem. Głównym pożywieniem **liliowców** jest plankton. **Rozgwiazdy** są drapieżne – drobne ofiary połykają w całości. Gdy napadają na większą zdobycz, wysuwają żołądek na zewnątrz przez otwór gębowy. Następnie otaczają nim ofiarę i rozpoczynają trawienie na zewnątrz swojego ciała. Większość **wężowideł** to również drapieżniki, chociaż spotyka się wśród nich formy roślinożerne. Przedstawiciele tej grupy cechują się brakiem jelita tylnego i otworu odbytowego. **Jeżowce** mają aparat szczękowy, zwany latarnią Arystotelesa, który jest zbudowany z płytek i pięciu ostrych, ruchomych, wapiennych zębów. Odżywiają m.in. mułem dennym, protistami i drobnymi zwierzętami. Z kolei **strzykwy** żywią się mułem oraz drobnymi cząstkami organicznymi, które najpierw przyklejają się do ich czułków, a następnie są kierowane do otworu gębowego.

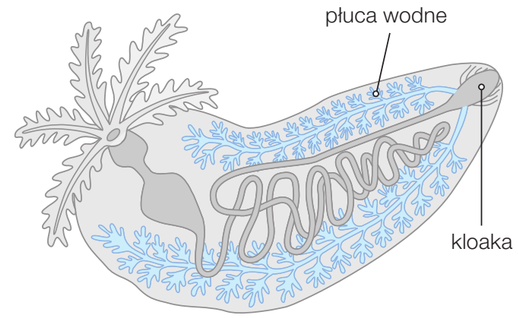


Układ pokarmowy jeżowca.

Wymiana gazowa u szkarłupni

Większość szkarłupni nie ma układu oddechowego (wymiana gazowa zachodzi u nich przez ścianę ciała lub przez nóżki ambulakralne). U pozostałych gatunków układ ten jest zwykle słabo wykształcony.

U liliowców funkcje oddechowe pełnią **nóżki ambulakralne**. U jeżowców, wężowideł i rozgwiazd występują dodatkowo **skrzela powłokowe**, czyli cienkościenne wyrostki ściany ciała. Strzykwy są wyposażone w **płuca wodne** zlokalizowane w jamie ciała.



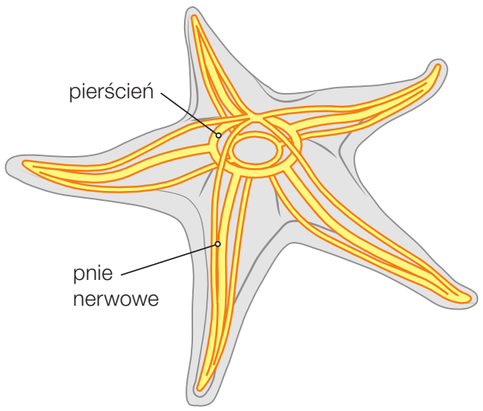
Płuca wodne strzykw to dwa cienkościenne, silnie rozgałęzione worki. Łączą się one z jelitem tylnym i wypełniają się wodą dzięki skurczom umięśnionej kloaki.

Transport substancji u szkarłupni

Transport substancji w organizmie szkarłupni odbywa się za pomocą układów krwionośnego i wodnego. **Układ krwionośny**, zwany układem hemalnym, jest **otwarty**. Składa się z kanału okrężnego oraz z systemu zatok i kanałów, które rozgałęziają się do pozostałych narządów ciała. W układzie krwionośnym szkarłupni nie występuje serce, a ich krew nie zawiera barwników oddechowych.

Układ nerwowy szkarłupni

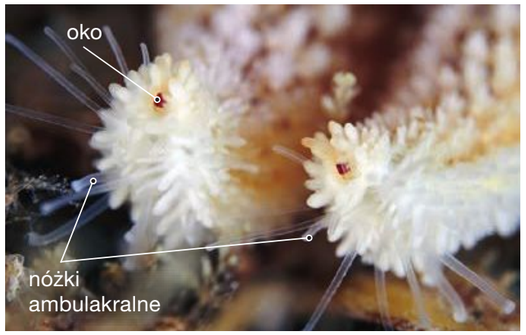
Układ nerwowy szkarłupni cechuje się symetrią promienistą i jest dość słabo uorganizowany. Składa się zwykle z **pierścienia** i odchodzących od niego promieniście **pni nerwowych**. Układ nerwowy szkarłupni jest rozproszony – nie występują w nim ośrodki centralne.



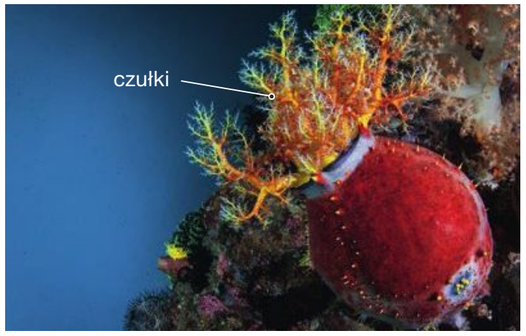
Układ nerwowy rozgwiazdy.

Narządy zmysłów

Narządy zmysłów szkarłupni są słabo rozwinięte. Bodźce nerwowe są odbierane przez nóżki **ambulakralne**, a u niektórych gatunków – również przez **czułki**. Rozgwiazdy i jeżowce mają fotoreceptory w postaci **oczu** o prostej budowie, które umożliwiają rozróżnianie zmian w natężeniu światła. U strzykw i jeżowców występują narządy równowagi – **statocysty**.



Oczy rozgwiazd znajdują się na szczycie ramion.



Czułki strzykw są narządem zmysłu dotyku.

Wydalanie i osmoregulacja szkarłupni

Szkarłupnie **nie mają układu wydalniczego**. W wydalaniu uczestniczą **amebocyty**, które znajdują się w płynie wypełniającym jamę ciała. Wychwytują i gromadzą one zbędne produkty przemiany materii, a kiedy są już całkowicie wypełnione, zwierzę wydala je na zewnątrz ciała przez układ wodny.

Szkarłupnie nie mają zdolności osmoregulacji, czyli nie potrafią regulować stężenia płynów ustrojowych w organizmie. Wnętrze ich ciała jest izotoniczne w stosunku do środowiska życia. Brak zdolności do osmoregulacji sprawia, że siedliskiem szkarłupni są morza o stałym i wysokim poziomie zasolenia.

Rozmnażanie się i rozwój szkarłupni

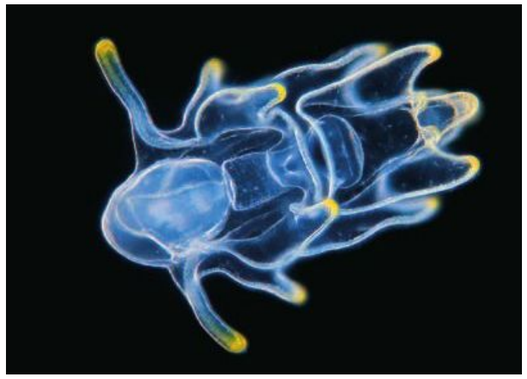
Zdecydowana większość szkarłupni rozmnaża się płciowo, jednak u niektórych gatunków może dochodzić do rozmnażania bezpłciowego przez podział lub regenerację (np. rozgwiazdy).

Rozmnażanie płciowe

Szkarłupnie są głównie zwierzętami **rozdzielnopłciowymi**. Ich gonady mają zwykle postać woreczków, z których gamety są uwalniane krótkimi kanałami do wody. U większości gatunków występuje **zapłodnienie zewnętrzne**.

Rozwój

Szkarłupnie przechodzą rozwój złożony. **Larwy** charakteryzują się symetrią dwuboczną i są formami wolno żyjącymi. Po pewnym czasie opadają na dno i przeobrażają się w postać dorosłą.



Planktonowa, dwubocznie symetryczna larwa rozgwiazdy (zdjęcie spod mikroskopu optycznego).

Szkarłupnie – nietypowe bezkręgowce

Szkarłupnie są nietypowymi organizmami. W porównaniu z omawianymi wcześniej grupami zwierząt bezkręgowych pewne elementy ich budowy i rozwoju uwsteczniły się (cechy regresywne), a pewne – rozwinęły (cechy progresywne).

Szkielet szkarłupni jest wytworem tkanki łącznej, a nie tkanki nabłonkowej (jak u innych bezkręgowców). Odmiennie przebiega u nich również rozwój zarodkowy. U szkarłupni, podobnie jak u kręgowców, pragęba przekształca się w otwór odbytowy, a otwór gębowy powstaje wtórnie po przeciwnej stronie ciała zarodka. Dowodzi to, że szkarłupnie i kręgowce miały prawdopodobnie wspólnego przodka, a także – że są bliżej spokrewnione z kręgowcami niż z innymi bezkręgowcami.

Cechy szkarłupni

Cechy charakterystyczne tylko dla szkarłupni	Cechy regresywne	Cechy progresywne
• występuje układ wodny • szkielet wewnętrzny jest zbudowany z wapiennych płytek	• występuje symetria promienista • brak głowy • układ nerwowy nie jest scentralizowany • brak układów oddechowego i wydalniczego	• podczas rozwoju zarodkowego pragęba przekształca się w otwór odbytowy • szkielet wewnętrzny ma pochodzenie mezodermalne (jest wytworzony przez tkankę łączną) i pokrywa go ektodermalny nabłonek

Znaczenie szkarłupni w przyrodzie i dla człowieka



Źródło pokarmu dla człowieka

W wielu krajach szkarłupnie poławia się w celach konsumpcyjnych. Jadalne są niektóre gatunki rozgwiazd, jeżowców i strzykw.



Źródło cennych substancji

Z niektórych gatunków strzykw otrzymuje się związki chemiczne do produkcji leków, m.in. przeciwzapalnych i przeciwzakrzepowych.



Gatunki jadowite

Pewne gatunki szkarłupni wytwarzają silny jad, który może stanowić zagrożenie dla zdrowia człowieka. Jednym z najbardziej jadowitych jeżowców jest *Toxopneustes pileolus*, występujący w tropikalnych wodach Indopacyfiku.

Polecenia kontrolne

1. Określ środowisko i tryb życia szkarłupni.
2. Opisz budowę i funkcje układu wodnego szkarłupni.
3. Podaj cechy odróżniające poszczególne grupy szkarłupni.

Podsumowanie

1 Podział zwierząt ze względu na przebieg rozwoju zarodkowego i budowę ciała

Zwierzęta	dwuwarstwowe	• parzydełkowce	
	trójwarstwowe	acelomatyczne	• płazińce
		pseudocelomatyczne	• nicienie
		celomatyczne	• pierścienice • stawonogi • mięczaki • szkarłupnie • strunowce

2 Podział zwierząt ze względu na symetrię ciała

Zwierzęta	
o symetrii promienistej	o symetrii dwubocznej
• parzydełkowce • większość dorosłych szkarłupni	• płazińce • nicienie • mięczaki • pierścienice • stawonogi • strunowce

3 Podział zwierząt ze względu na ostateczny produkt azotowej przemiany materii

Zwierzęta		
amonioteliczne	ureoteliczne	urykoteliczne
• wydalają amoniak rozpuszczony w dużej ilości rozcieńczonego moczu • przykłady: wiele bezkręgowców wodnych, ryby o kostnym szkielecie i żółwie wodne	• wydalają mocznik rozpuszczony w niewielkiej ilości stężonego moczu • przykłady: dorosłe płazy, ssaki, ryby chrzęstnoszkieletowe	• wydalają kwas moczowy w postaci gęstej zawiesiny lub kryształów • przykłady: organizmy lądowe, głównie owady, ptaki i pustynne gady

4 Hierarchiczna budowa organizmów

komórka → tkanka → narząd → układ narządów → organizm

5 Pochodzenie tkanek zwierzęcych

Rodzaj tkanki	Pochodzenie tkanki
Tkanka nabłonkowa	ektoderma, mezoderma, endoderma
Tkanka łączna	mezoderma
Tkanka nerwowa	ektoderma
Tkanka mięśniowa	mezoderma

6 Tkanka nabłonkowa

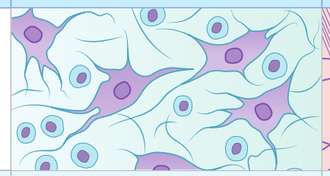
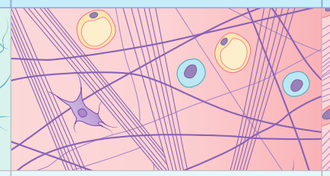
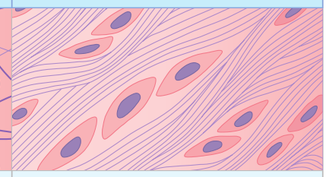
Tkanka nabłonkowa			
rodzaj tkanki	budowa	funkcje	przykłady występowania
Nabłonek jednowarstwowy płaski	• jest zbudowany z silnie spłaszczonych komórek, których jądra komórkowe są położone centralnie	• umożliwia transport różnych substancji (np. gazów oddechowych) między organizmem a środowiskiem	• występuje na powierzchni skrzeli • buduje ściany pęcherzyków płucnych • buduje wyściółkę naczyń krwionośnych
Nabłonek jednowarstwowy sześcienny	• jest zbudowany z sześciennych komórek, których jądra komórkowe są położone centralnie • komórki zawierają liczne mitochondria, aparaty Golgiego oraz silnie rozbudowaną siateczkę śródplazmatyczną	• wchłania i wydziela różne substancje	• występuje w częściach wydzielniczych wielu gruczołów • występuje w ścianach kanalików nerkowych (jego komórki są zaopatrzone w mikrokosmki)
Nabłonek jednowarstwowy walcowaty	• jest zbudowany z wysokich komórek w kształcie walca, których jądra komórkowe są zlokalizowane blisko błony podstawnej • komórki zawierają liczne aparaty Golgiego oraz silnie rozbudowaną siateczkę śródplazmatyczną	• wchłania i wydziela różne substancje	• występuje m.in. w przewodzie pokarmowym (od żołądka do odbytu) • stanowi pokrycie ciała niektórych bezkręgowców, np. pierścienic i mięczaków
Nabłonek jednowarstwowy wielorzędowy	• jest zbudowany z komórek o różnej wysokości, przez co ich jądra komórkowe tworzą kilka rzędów • jego powierzchnię często pokrywają rzęski	• zatrzymuje i usuwa zanieczyszczenia powietrza	• wyściela drogi oddechowe
Nabłonek wielowarstwowy płaski	• jest zbudowany z wielu warstw komórek, które spłaszczają się w miarę zwiększania odległości od błony podstawnej	• tworzy warstwę ochronną, która chroni tkanki położone poniżej tej warstwy przed uszkodzeniami mechanicznymi i niekorzystnym wpływem czynników zewnętrznych	• nabłonek wielowarstwowy płaski rogowaciejący pokrywa ciało większości kręgowców • nabłonek wielowarstwowy płaski nierogowaciejący występuje m.in. w przełyku, odbycie i pochwie
Nabłonek wielowarstwowy sześcienny	• jest zbudowany z komórek, które zawierają liczne substancje hydrofobowe i połączenia zamykające	• chroni przed przepuszczaniem wody (np. napływem wody z tkanek do pęcherza)	• wyściela pęcherz moczowy i przewody wyprowadzające mocz

7 Tkanka łączna

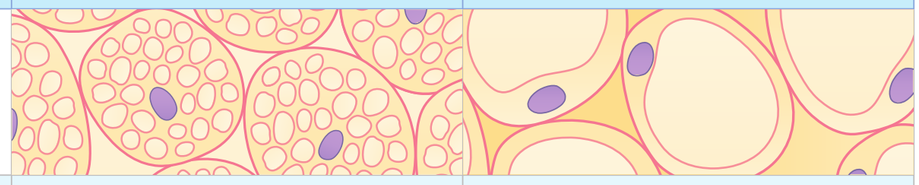
Rodzaje tkanki łącznej

tkanka łączna właściwa	tkanka tłuszczowa	tkanka łączna podporowa	tkanka łączna płynna
• siateczkowa • włóknista • tłuszczowa	• żółta • brunatna	• chrzęstna • kostna	• krew • limfa • hemolimfa

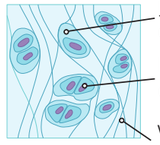
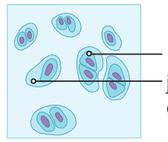
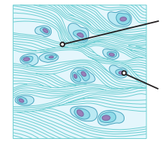
Rodzaje tkanki łącznej właściwej

Rodzaj	Tkanka łączna właściwa		
	tkanka siateczkowa	tkanka włóknista luźna (wiotka)	tkanka włóknista zbita (zwarta)
Schemat budowy			
Budowa	• jest zbudowana głównie z fibroblastów i substancji podstawowej, w skład której wchodzą m.in. delikatne włókna kolagenowe	• jest zbudowana m.in. z fibroblastów i substancji podstawowej, w skład której wchodzą włókna kolagenowe i włókna sprężyste	• jest zbudowana z niewielkiej liczby komórek, małej ilości substancji podstawowej i pęczków włókien kolagenowych
Funkcje	• jest elementem budowy szpiku kostnego, węzłów limfatycznych i śledziony	• tworzy zrąb narządów • wypełnia wolne przestrzenie między narządami	• buduje ścięgna i więzadła • buduje skórę właściwą kręgowców

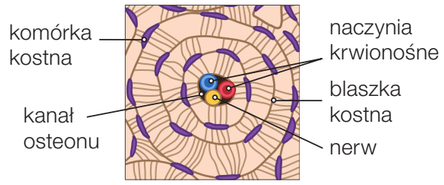
Rodzaje tkanki tłuszczowej

Cecha	Tkanka tłuszczowa	
	tkanka tłuszczowa brunatna	tkanka tłuszczowa żółta
Schemat budowy		
Budowa	• komórki tej tkanki zawierają wiele drobnych kropli tłuszczu i liczne mitochondria	• komórki tej tkanki zawierają jedną dużą kroplę tłuszczu
Występowanie	• u zwierząt zapadających w sen zimowy • u niewielkich ssaków, które szybko tracą ciepło • u człowieka – głównie u niemowląt	• pod skórą zwierząt • wokół narządów wewnętrznych zwierząt
Funkcje	• termoregulacyjna	• termoizolacyjna • amortyzująca • zapasowa

Rodzaje tkanki chrzęstnej

Cecha	Tkanka chrzęstna		
	tkanka chrzęstna sprężysta	tkanka chrzęstna szklista	tkanka chrzęstna włóknista
Schemat budowy			
Budowa i właściwości	• zawiera komórki chrzęstne i liczne włókna sprężyste • jest elastyczna i podatna na zginanie	• zawiera komórki chrzęstne i włókna kolagenowe • jest wytrzymała na ścieranie	• zawiera komórki chrzęstne i liczne pęczki włókien kolagenowych • jest wytrzymała na rozerwanie
Występowanie	• buduje m.in. część chrzęstną nosa, małżowinę uszną i elementy krtani	• buduje m.in. powierzchnie stawowe kości, połączenia żeber oraz mostka	• buduje m.in. krążki międzykręgowe i spojenie łonowe

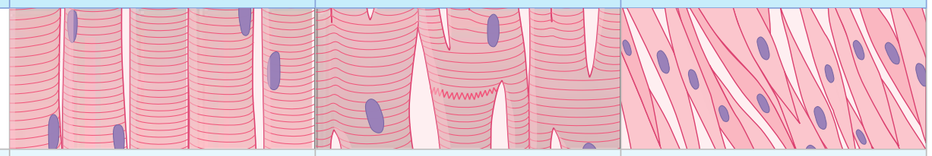
Rodzaje tkanki kostnej

Cecha	Tkanka kostna	
	tkanka kostna zbita	tkanka kostna gąbczasta
Schemat budowy		
Budowa	• jest zbudowana z osteonów, które składają się z blaszek kostnych ułożonych koncentrycznie wokół kanału osteonu	• blaszki kostne tworzą beleczki kostne • w wolnych przestrzeniach znajduje się szpik kostny
Występowanie	• buduje m.in. trzony kości długich i zewnętrzne warstwy kości płaskich	• występuje w nasadach kości długich i wewnątrz kości płaskich
Funkcje	• pełni funkcję podporową • jest magazynem soli mineralnych	• pełni funkcję podporową • jest magazynem soli mineralnych

Rodzaje tkanki płynnej

Tkanka płynna		
krew	limfa	hemolimfa
• jest zbudowana z elementów morfotycznych i osocza • transportuje substancje odżywcze, produkty przemiany materii i gazy oddechowe, a także bierze udział w reakcjach odpornościowych organizmu	• ma skład podobny do osocza krwi – jest zbudowana z wody, z innych związków nieorganicznych i ze związków organicznych; zawiera też dużo limfocytów • bierze udział w reakcjach odpornościowych i pełni funkcje transportowe	• występuje u niektórych zwierząt bezkręgowych o otwartym układzie krwionośnym • w jej skład wchodzą komórki pełzakowate, a także barwniki przenoszące tlen i dwutlenek węgla • pełni analogiczne funkcje do krwi i limfy, które występują u kręgowców

8 Tkanka mięśniowa

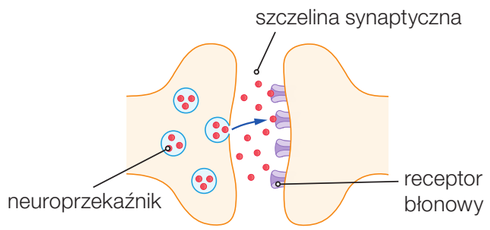
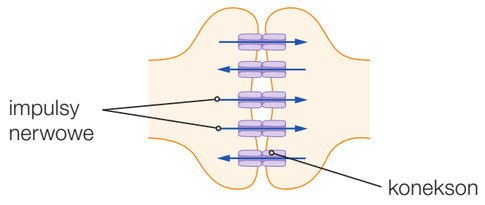
Cecha	Tkanka mięśniowa		
	poprzecznie prążkowana szkieletowa	poprzecznie prążkowana serca	gładka
Schemat budowy			
Liczba i ułożenie jąder komórkowych	• duża liczba jąder komórkowych, ułożonych peryferycznie pod błoną komórkową	• jedno lub dwa jądra komórkowe położone centralnie	• zwykle jedno jądro komórkowe położone centralnie
Kształt komórek	• cylindryczny	• cylindryczny o widlasto rozgałęzionych końcach	• wrzecionowaty
Występowanie wstawek	• nie występują	• występują	• nie występują
Ułożenie filamentów i prążkowanie	• filamenty cienkie i grube ułożone naprzemiennie – poprzeczne prążkowanie	• filamenty cienkie i grube ułożone naprzemiennie – poprzeczne prążkowanie	• filamenty cienkie i grube ułożone nieregularnie – brak prążkowania
Charakterystyka skurczów	• szybkie i silne • zwykle zależne od woli	• szybkie i słabsze niż skurcze mięśni szkieletowych • niezależne od woli	• długotrwałe i powolne • niezależne od woli

9 Tkanka nerwowa

Porównanie funkcji neuronów z funkcjami komórek glejowych

Cecha	Neurony	Komórki glejowe
Funkcje	• odbierają bodźce pochodzące ze środowiska zewnętrznego i wewnętrznego organizmu • przetwarzają i przesyłają informacje w postaci impulsów nerwowych • koordynują wszystkie funkcje życiowe	• odżywiają neurony i izolują je od innych tkanek i narządów • uczestniczą w procesach regeneracji tkanki nerwowej • tworzą osłonki mielinowe

Rodzaje synaps – połączeń między neuronami

Synapsy chemiczne	Synapsy elektryczne
Impuls nerwowy jest przekazywany za pomocą związku chemicznego – neuroprzekaźnika. 	Impuls nerwowy jest przekazywany bezpośrednio z jednej komórki do drugiej przez kanały koneksonów. 

10 Porównanie wybranych cech niektórych zwierząt bezkręgowych

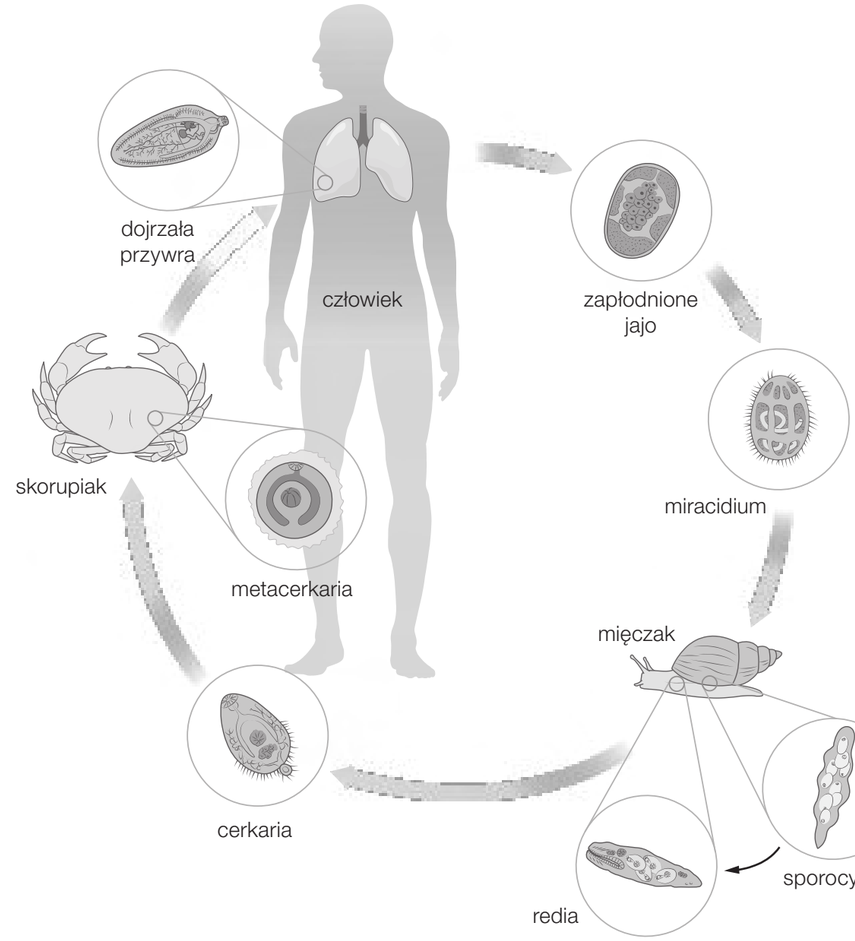
Grupa zwierząt	Ściana ciała	Szkielet	Układ pokarmowy	Układ oddechowy
Parzydełkowce 	• zbudowana z epidermy, gastrodermy i mezoglei	• brak (u niektórych gatunków występuje szkielet zewnętrzny lub wewnętrzny)	• zbudowany z otworu gębowego i jamy gastralnej (brak odbytu)	• brak (wymiana gazowa zachodzi całą powierzchnią ciała)
Płazińce 	• zbudowana z wora powłokowo-mięśniowego, który składa się z nabłonka i kilku warstw mięśni	• brak (funkcje podporowe pełni parenchyma)	• zbudowany z otworu gębowego, gardzieli i jelita (brak odbytu) • u tasiemców – brak	• brak (wymiana gazowa zachodzi całą powierzchnią ciała) • u pasożytów wewnętrznych zachodzi oddychanie bez udziału tlenu
Nicienie 	• zbudowana z wora powłokowo-mięśniowego, który składa się z oskórka, hipodermy (nabłonka) i mięśni	• wewnętrzny hydrauliczny	• zbudowany z otworu gębowego, jamy gębowej, gardzieli, jelita środkowego, jelita tylnego i odbytu	• brak (wymiana gazowa zachodzi całą powierzchnią ciała) • u pasożytów wewnętrznych zachodzi oddychanie bez udziału tlenu
Pierścienice 	• zbudowana z wora powłokowo-mięśniowego, który składa się z oskórka, nabłonka i mięśni	• wewnętrzny hydrauliczny	• zbudowany z otworu gębowego, jamy gębowej, gardzieli, przełyku, wola (u skąposzczetów i pijawek), żołądka, jelita środkowego, jelita tylnego i odbytu	• u pijawek i skąposzczetów – brak (wymiana gazowa zachodzi całą powierzchnią ciała) • u wieloszczetów – skrzela zewnętrzne
Stawonogi 	• zbudowana z twardego oskórka i nabłonka • mięśnie nie wchodzą w skład powłoki ciała, lecz dzielą się na odrębne grupy	• zewnętrzny, zbudowany głównie z chityny; u skorupiaków wysycony solami wapnia	• zbudowany z otworu gębowego, przełyku, wola (u owadów), żołądka, jelita środkowego, jelita tylnego i odbytu	• u skorupiaków – skrzela • u owadów i części pajęczaków – tchawki • u pozostałych pajęczaków – płucotchawki
Mięczaki 	• zbudowana z wora powłokowego, który składa się z nabłonka, warstwy tkanki łącznej i mięśni	• zewnętrzny – muszla (u niektórych nie występuje)	• zbudowany z otworu gębowego, gardzieli, żołądka, jelita środkowego, jelita tylnego i odbytu	• u małży, głowonogów i niektórych ślimaków – skrzela • u ślimaków płucodysznych – płuca
Szkarłupnie 	• zbudowana z nabłonka, warstwy tkanki łącznej wytwarzającej szkielet wewnętrzny, mięśni i nabłonka celomatycznego	• wewnętrzny, zbudowany z wapiennych płytek	• zbudowany z otworu gębowego, przełyku, żołądka, jelita środkowego, jelita tylnego i odbytu (u wężowideł nie występuje)	• u niektórych – brak (wymiana gazowa zachodzi przez ścianę ciała lub przez nóżki ambulakralne) • u jeżowców, wężowideł i rozgwiazd – skrzela • u strzykw – płuca wodne

Grupa zwierząt	Układ krwionośny	Układ nerwowy	Układ wydalniczy	Rozmnażanie i rozwój
Parzydełkowce 	• brak	• zbudowany z sieci komórek nerwowych (układ rozproszony)	• brak – zbędne produkty przemiany materii są wydalane do jamy gastralnej, a następnie na zewnątrz ciała	• u wielu występuje przemiana pokoleń (metageneza)
Płazińce 	• brak	• zwykle zbudowany z dwóch zwojów nerwowych i podłużnych pni nerwowych	• protonefrydialny (komórki płomykowe i kanały wydalnicze)	• głównie płciowo, u wirków – rozwój prosty; u przywr i tasiemców – rozwój złożony • powszechne obojnactwo i zapłodnienie krzyżowe
Nicienie 	• brak	• zbudowany z pierścienia okołogardzielowego, ze zwojów nerwowych, z pni nerwowych i nerwów	• zbudowany z dwóch kanałów wydalniczych, kanału poprzecznego i przewodu wydalniczego	• płciowo, rozwój prosty lub złożony • rozdzielnopłciowe, występuje dymorfizm płciowy
Pierścienice 	• zamknięty, serce nie występuje	• zbudowany z mózgu i brzusznego pnia nerwowego, składającego się ze zwoi segmentalnych i spoideł poprzecznych	• metanefrydialny (urzęsione lejki, przewody wydalnicze, pęcherz moczowy i otwór wydalniczy)	• głównie płciowo, u skąposzczetów i pijawek – rozwój prosty; u wieloszczetów – rozwój złożony • u wielu skąposzczetów obojnactwo i zapłodnienie krzyżowe
Stawonogi 	• otwarty, serce występuje	• u form niższych podobny do układu nerwowego pierścienic • u form wyższych scentralizowany, zbudowany z mózgu i brzusznego łańcuszka nerwowego (owady)	• u skorupiaków – gruczoły wydalnicze (przekształcone metanefrydia) • u owadów i niektórych pajęczaków jego funkcje pełnią cewki Malpighiego	• płciowo, u pajęczaków i niektórych skorupiaków – rozwój prosty; u owadów i niektórych skorupiaków – rozwój złożony
Mięczaki 	• otwarty, serce występuje	• u większości zbudowany z obrączki okołoprzełykowej i pni nerwowych • u głowonogów występuje mózg	• zbudowany z nerek i moczowodów	• płciowo, rozwój prosty lub złożony • u wielu ślimaków obojnactwo i zapłodnienie krzyżowe
Szkarłupnie 	• otwarty, serce nie występuje	• zbudowany z pierścienia i pni nerwowych	• brak – jego funkcje pełnią amebocyty, które są wydalane na zewnątrz ciała przez układ wodny	• płciowo, rozwój złożony • niektóre gatunki rozmnażają się bezpłciowo przez podział lub przez regenerację (np. rozgwiazdy)

Sposób na zadania

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Schemat przedstawia cykl rozwojowy przywry płucnej.



a) Określ, który organizm – człowiek, mięczak czy skorupiak – jest żywicielem ostatecznym przywry płucnej. Odpowiedź uzasadnij.

Żywicielem ostatecznym jest organizm, w którym bytuje dojrzała (zdolna do rozmnażania płciowego) postać pasożyta. Przeanalizuj schemat i sprawdź, w którym z wymienionych organizmów przywra płucna osiąga dojrzałość i składa jaja.

Rozwiązanie:

Żywicielem ostatecznym przywry płucnej jest człowiek, ponieważ w jego organizmie bytuje dojrzała / dorosła / rozmnażająca się płciowo postać przywry (płucnej) / pasożyta.

b) Na podstawie schematu oceń, czy poniższe stwierdzenia dotyczące cyklu rozwojowego przywry płucnej są prawdziwe. Wybierz P, jeśli stwierdzenie jest prawdziwe, albo F – jeśli jest fałszywe.

Przypomnij sobie rolę mejozy w cyklu życiowym organizmów. Przeanalizuj schemat. Czy przywra rozmnaża się płciowo czy bezpłciowo? Ustal, czy rozmnażanie tego pasożyta wymaga zajścia mejozy.

1.	W cyklu życiowym przywry płucnej zachodzi mejoza.	P	F
2.	Przywra płucna jest pasożytem wewnętrznym człowieka.	P	F
3.	Przywra płucna przechodzi rozwój złożony.	P	F

Przeanalizuj schemat. Zwróć uwagę na miejsce bytowania przywry płucnej u człowieka.

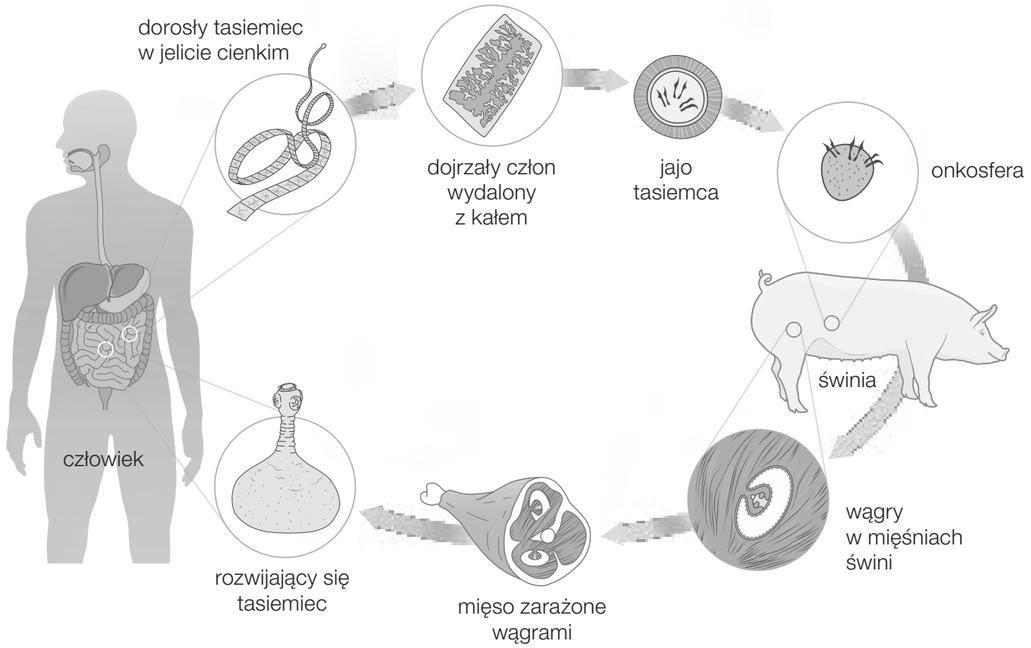
Przeanalizuj schemat. Zwróć uwagę na liczne postaci larwalne przywry. Przypomnij sobie różnicę między rozwojem prostym a rozwojem złożonym. W którym z nich występują larwy?

Rozwiązanie:
1. – P, 2. – P, 3. – P

Zadanie analogiczne

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Schemat przedstawia cykl rozwojowy tasiemca uzbrojonego.



a) Określ, który organizm – człowiek czy świnia – jest żywicielem pośrednim tasiemca uzbrojonego. Odpowiedź uzasadnij.

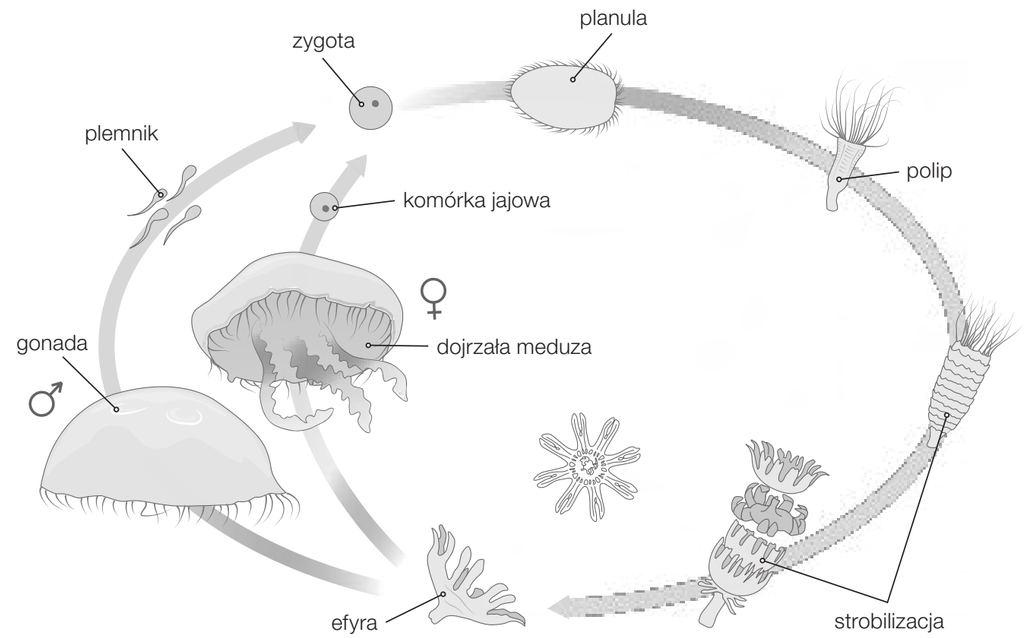
b) Na podstawie schematu oceń, czy poniższe stwierdzenia dotyczące cyklu rozwojowego tasiemca uzbrojonego są prawdziwe. Wybierz P, jeśli stwierdzenie jest prawdziwe, albo F – jeśli jest fałszywe.

1.	W cyklu życiowym tasiemca uzbrojonego mejoza zachodzi w organizmie świni.	P	F
2.	Tasiemiec uzbrojony jest pasożytem wewnętrznym świni.	P	F
3.	Tasiemiec uzbrojony przechodzi rozwój prosty.	P	F

Zadania powtórzeniowe

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Schemat przedstawia cykl rozwojowy chełbi modrej.



a) Określ, który typ rozmnażania – rozmnażanie bezpłciowe czy rozmnażanie płciowe – da szansę przetrwania gatunku chełbi modrej w przypadku niekorzystnych zmian w środowisku. Odpowiedź uzasadnij.

b) Uzupełnij poniższe zdania tak, aby zawierały prawdziwe informacje. Wybierz właściwe określenia.

U chełbi modrej występuje przemiana pokoleń, w której (*oba pokolenia są diploidalne* / *jedno pokolenie jest diploidalne, a drugie – haploidalne*). Pokoleniem rozmnażającym się płciowo są meduzy, które są (*rozdzielnopłciowe* / *obojnacze*). Zapłodnienie zachodzi u nich na drodze (*izogamii* / *oogamii*).

2 Wypławki białe (należące do wirkokształtnych) to zwierzęta zasiedlające głównie środowisko wodne. Ścianę ich ciała stanowi wór powłokowo-mięśniowy, zbudowany z jednowarstwowego orzęsionego nabłonka oraz kilku warstw mięśni. Nabłonek zawiera liczne komórki gruczołowe wytwarzające ciągliwy i lepki śluz. Właściwości te zawdzięcza mucynom – glikoproteinom zdolnym do tworzenia żeli.

Na poniższym zdjęciu przedstawiono wypławka białego.



a) Wybierz nazwy dwóch gatunków zwierząt należących do tego samego typu, do którego należy wypławek biały.

glista ludzka, *motylica wątrobowa*, *dżdżownica ziemna*, *pijawka lekarska*, *tasiemiec uzbrojony*

b) Wykaż związek między budową nabłonka u wirkokształtnych a środowiskiem ich życia. W odpowiedzi uwzględnij rolę rzęsek i śluzu.

c) Podaj nazwy trzech struktur komórkowych występujących w komórkach gruczołowych nabłonka wirkokształtnych oraz określ rolę tych struktur w produkcji mucyny.

d) Podaj nazwy listków zarodkowych, z których powstają tkanki (nabłonkowa i mięśniowa) budujące wór powłokowo-mięśniowy wirkokształtnych.

e) Podaj nazwę struktury oznaczonej na schemacie znakiem X. Wykaż związek między obecnością tej struktury a trybem życia wypławka białego.

3 Na poniższym zdjęciu przedstawiono modliszkę, która prowadzi drapieżny tryb życia. Modliszka żywi się głównie owadami. Łapie je za pomocą pierwszej pary odnóży.

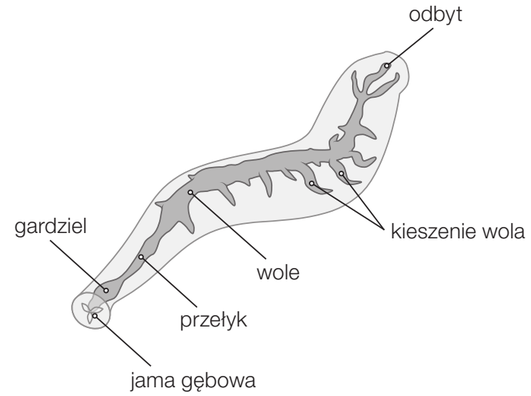


a) Określ gromadę stawonogów, do której należy modliszka. Odpowiedź uzasadnij, podając jedną widoczną na zdjęciu cechę budowy, która świadczy o przynależności modliszki do wybranej gromady.

b) Podaj jedną cechę budowy modliszki stanowiącą przystosowanie do drapieżnictwa oraz określ, na czym polega to przystosowanie.

4 Pijawki (przedstawiciele pierścienic) są najczęściej pasożytami zewnętrznymi odżywiającymi się krwią kręgowców. W ich budowie morfologicznej, budowie anatomicznej oraz fizjologii występuje szereg przystosowań do pasożytniczego trybu życia.

Schemat przedstawia budowę układu pokarmowego pijawki.



a) Wykaż związek budowy układu pokarmowego pijawki z pasożytniczym trybem życia. W odpowiedzi uwzględnij jedną z widocznych na schemacie cech budowy tego układu.

b) Wykaż związek między dobrze rozwiniętymi termoreceptorami pijawki a pasożytniczym trybem życia.

c) Wyjaśnij, dlaczego podczas długotrwałego ssania krwi przez pijawkę w miejscu zranienia żywiciela nie powstaje skrzep.

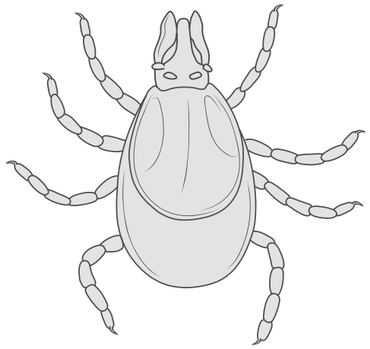
5 Szkarłupnie należą do bezkręgowców, jednak różnią się od nich budową wewnętrzną i rozwojem. Mają one m.in. układ ambulakralny, symetrię promienistą, szkielet wewnętrzny pochodzenia mezodermalnego w postaci wapiennych płytek oraz wtórny otwór gębowy. W porównaniu z innymi grupami bezkręgowców pewne elementy budowy i rozwoju szkarłupni w trakcie ich ewolucji uległy uwstecznieniu (cechy regresywne), a inne się rozwinęły (cechy progresywne).

Przerysuj tabelę do zeszytu. Określ, która cecha szkarłupni jest cechą regresywną, a która – cechą progresywną. Wstaw znak X w odpowiednie miejsca tabeli.

		Cecha regresywna	Cecha progresywna
1.	Symetria promienista.	?	?
2.	Przekształcanie pragęby w otwór odbytowy i powstawanie otworu gębowego na przeciwnym biegunie ciała podczas rozwoju zarodkowego.	?	?
3.	Brak układu wydalniczego.	?	?

6 Kleszcze to stawonogi należące do pajęczaków. Na świecie występuje ok. 900 gatunków kleszczy. Wszystkie są pasożytami zewnętrznymi kręgowców. W czasie pobierania pokarmu mogą wprowadzać do organizmu swojego żywiciela wiele patogenów, np. krętki boreliozy powodujące groźną chorobę – boreliozę. W Polsce najczęściej występują kleszcz pospolity (*Ixodes ricinus*) oraz kleszcz łąkowy (*Dermacentor reticulatus*).

Na rysunku przedstawiono budowę morfologiczną kleszcza pospolitego.



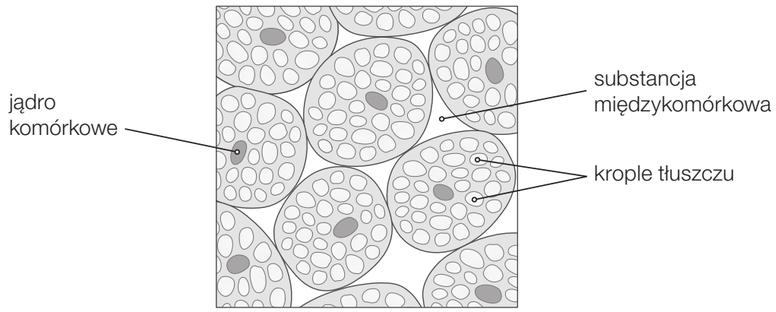
a) Podaj dwie widoczne na rysunku cechy budowy morfologicznej kleszcza pospolitego, które świadczą o jego przynależności do pajęczaków.

b) Ustal, czy wymienione w zadaniu gatunki kleszczy są klasyfikowane w obrębie jednego czy dwóch rodzajów. Odpowiedź uzasadnij.

c) Spośród poniższych stwierdzeń, które są zbiorem faktów i opinii na temat kleszczy, wybierz dwie opinie.

A. Kleszcze mogą pasożytować na skórze ptaków.
B. W Polsce kleszcze są najgroźniejszymi pasożytami zewnętrznymi człowieka.
C. Kleszcze są wektorem chorób bakteryjnych.
D. Kleszcze występują w różnych siedliskach.
E. Najskuteczniejszy sposób unikania kleszczy to omijanie terenów porośniętych krzakami.

7 Na schemacie przedstawiono jeden z rodzajów tkanki tłuszczowej, który występuje u człowieka.



a) Określ, czy przedstawiona tkanka to tkanka tłuszczowa brunatna czy żółta. Odpowiedź uzasadnij, uwzględniając widoczną na schemacie cechę budowy komórek.

b) Podaj nazwę grupy tkanek, do której należy tkanka tłuszczowa. W odpowiedzi podaj widoczną na schemacie cechę budowy tkanki, która świadczy o tej przynależności.

5. Różnorodność kręgowców

Fot. Agama kątogłowa (*Gonocephalus chamaeleontinus*).



5.1. Cechy charakterystyczne kręgowców

Ważne w tym temacie!

- cechy wspólne kręgowców
- rola błon płodowych w rozwoju zarodkowym
- sposoby regulacji temperatury ciała u zwierząt endotermicznych i u zwierząt ektotermicznych

Kręgowce to grupa zwierząt, która cechuje się m.in. występowaniem kręgosłupa (lub struny grzbietowej z zaczątkami kręgów) w budowie wewnętrznej. Kręgowce mogą osiągać znaczne rozmiary i prowadzić bardzo aktywny tryb życia. Opanowały w zasadzie wszystkie środowiska – żyją w wodach słodkich i słonych oraz na lądach. Niektóre z nich wykształciły zdolność lotu. Do kręgowców zalicza się m.in. ryby, płazy, gady, ptaki i ssaki.

Cechy wspólne kręgowców

Kręgowce mają wiele cech wspólnych.

1. **Występowanie trzech listków zarodkowych** w rozwoju zarodkowym (wszystkie kręgowce należą do trójwarstwowców).
2. **Występowanie celomy**, czyli wtórnej jamy ciała.
3. **Dwuboczna symetria ciała** – występują strony prawa i lewa.
4. **Ciało zbudowane z głowy**, **tułowia** i **ogona**, u niektórych gatunków występuje też szyja.
5. **Występowanie kończyn** – narządów ruchu zlokalizowanych na tułowiu. U ryb są to płetwy piersiowe i brzuszne, a u kręgowców lądowych – palczaste kończyny przednie i tylne.
6. **Układ nerwowy zbudowany z dwóch części:**
   - ośrodkowego układu nerwowego składającego się z mózgowia i rdzenia kręgowego,
   - obwodowego układu nerwowego składającego się z nerwów czaszkowych i nerwów rdzeniowych.
7. **Występowanie szkieletu wewnętrznego** – chrzęstnego lub kostnego.
8. **Dobrze rozwinięty zmysł równowagi** w postaci kanałów półkolistych zlokalizowanych w uchu wewnętrznym.
9. **Zamknięty układ krwionośny** i dwu-, trój- lub czterojamowe serce.



Do kręgowców pierwotnie wodnych należą m.in. ryby, a do kręgowców pierwotnie lądowych – płazy, gady, ptaki i ssaki.

Dowiedz się więcej

Strunowce

Strunowce to zwierzęta, które charakteryzują się występowaniem struny grzbietowej przynajmniej w okresie rozwoju zarodkowego. Należą do nich m.in. bezczaszkowce, osłonice i kręgowce.

Cechy wspólne strunowców

Wszystkie strunowce charakteryzują się pewnymi cechami wspólnymi, które pojawiają się w ich rozwoju zarodkowym. U niektórych gatunków cechy te występują również w stadium larwalnym bądź utrzymują się przez całe życie.

Cechy wspólne strunowców:

- **występowanie struny grzbietowej**, czyli szkieletu osiowego w postaci elastycznego pręta, który jest zbudowany z ciasno upakowanych komórek tkanki łącznej,
- **występowanie gardzieli**, czyli wspólnego odcinka układów pokarmowego i oddechowego, w którego ścianach znajdują się szczeliny skrzelowe,
- **układ nerwowy w postaci cewki nerwowej**, czyli zamkniętej z obu stron rurki, która ciągnie się w grzbietowej części ciała (nad szkieletem osiowym),
- **układ pokarmowy** położony między układem nerwowym a sercem, które znajduje się po brzusznej stronie ciała,
- **występowanie umięśnionego ogona**, który jest zlokalizowany w tylnej części ciała.



Żachwy to grupa osłonic, u których struna grzbietowa i cewka nerwowa występują prawie wyłącznie w rozwoju zarodkowym. Gardziel pełni u nich funkcję narządu wymiany gazowej, a także bierze udział w filtrowaniu pokarmu.



Szparoskrzelec lancetowaty to bezczaszkowiec, który przez całe życie zachowuje cechy charakterystyczne strunowców.

Porównanie planu budowy bezkręgowców i strunowców

Plan budowy bezkręgowców i plan budowy strunowców różnią się położeniem głównych narządów wewnętrznych.



Plan budowy bezkręgowca.

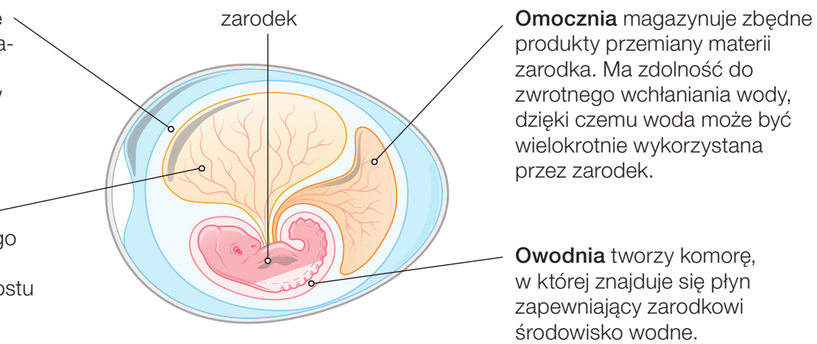
Plan budowy strunowca.

Błony płodowe

Błony płodowe to struktury, które pojawiają się w trakcie rozwoju zarodkowego, ale nie wchodzą w skład budowy zarodka. Do ich funkcji należą m.in. ochrona zarodka przed uszkodzeniami, zapewnienie zarodkowi odpowiednich warunków do rozwoju, pośredniczenie w wymianie gazowej, odżywianie zarodka i magazynowanie zbędnych produktów jego przemiany materii.

Ze względu na występowanie lub brak błon płodowych kręgowce można podzielić na:

- **bezowodniowce**, czyli organizmy, które nie wykształcają błon płodowych, w związku z czym rozwój ich zarodków musi zachodzić w środowisku wodnym (m.in. ryby i płazy),
- **owodniowce**, czyli organizmy, które wykształcają błony płodowe, w związku z czym rozwój ich zarodków może zachodzić w środowisku lądowym (gady, ptaki i ssaki).



Kosmówka otacza pozostałe błony płodowe. U gadów i ptaków uczestniczy w wymianie gazowej zarodka, a u ssaków bierze udział w powstawaniu łożyska.

Pęcherzyk żółtkowy jest wypełniony żółtkiem, z którego zarodek pobiera substancje odżywcze niezbędne do wzrostu i rozwoju.

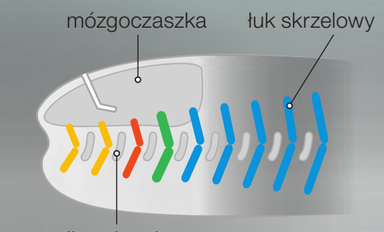
Omocznia magazynuje zbędne produkty przemiany materii zarodka. Ma zdolność do zwrotnego wchłaniania wody, dzięki czemu woda może być wielokrotnie wykorzystana przez zarodek.

Owodnia tworzy komorę, w której znajduje się płyn zapewniający zarodkowi środowisko wodne.

Budowa błon płodowych owodniowców na przykładzie jaja ptaka.

Ewolucja łuków skrzelowych

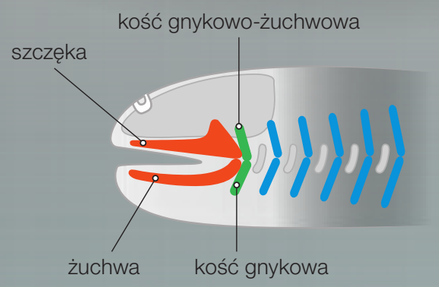
Łuki skrzelowe to elementy szkieletu, które pierwotnie stanowiły rusztowanie dla skrzeli. Praprzodek kręgowców miał dziewięć par łuków skrzelowych, które w toku ewolucji uległy przekształceniom.



Łuki skrzelowe praprzodka kręgowców.

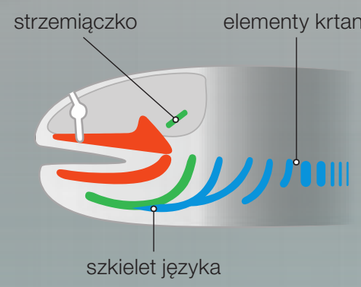
Ryby

Pierwsze dwie pary łuków skrzelowych zanikły, trzecia para przekształciła się w szczękę i żuchwę, a czwarta – w kość gnykowo-żuchwową i kość gnykową.



Płazy

Z kości gnykowo-żuchwowej wykształciło się strzemiączko (kosteczka słuchowa), a kość gnykowa i pozostałe łuki skrzelowe utworzyły m.in. szkielet języka oraz elementy krtani.



Temperatura ciała kręgowców

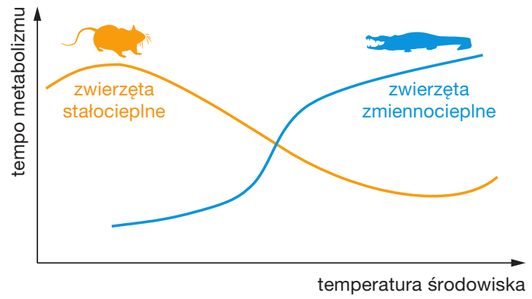
Temperatura środowiska zewnętrznego zmienia się pod wpływem różnych czynników. Aby dostosować się do tych warunków, zwierzęta wykształciły różne mechanizmy termoregulacji, dzięki którym mogą utrzymywać optymalną temperaturę ciała. Ze względu na źródło ciepła niezbędnego do ogrzania ciała wśród zwierząt wyróżnia się ektotermy i endotermy (→s. 338–339). Z kolei ze względu na zakres zmienności utrzymywanej temperatury ciała zwierzęta dzieli się na zmiennocieplne i stałocieplne.

Zwierzęta zmiennocieplne

Zwierzęta zmiennocieplne cechują się zmienną temperaturą ciała, uzależnioną od temperatury otoczenia. W niskiej temperaturze tempo ich metabolizmu znacznie się spowalnia, co pociąga za sobą zmniejszenie zużycia substratów energetycznych. Do zwierząt zmiennocieplnych należą bezkręgowce, ryby, płazy i gady.

Zwierzęta stałocieplne

Zwierzęta stałocieplne cechują się stałą temperaturą ciała, niezależną od temperatury otoczenia. Zaletą stałocieplności jest możliwość aktywnego funkcjonowania w szerokim zakresie temperatury środowiska. Odbywa się to jednak kosztem wysokiego tempa metabolizmu, a co za tym idzie – dużego zapotrzebowania na substraty energetyczne, czyli na pokarm. Do zwierząt stałocieplnych należą ptaki i ssaki.

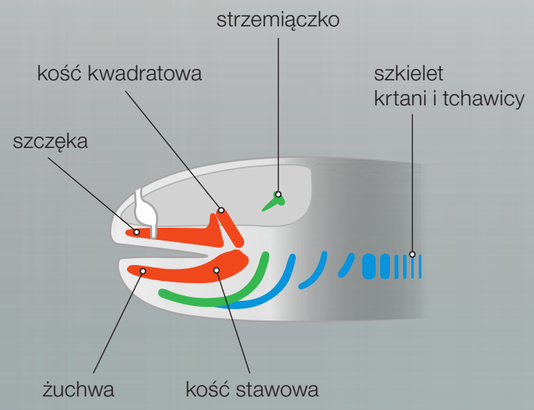


Zależność między temperaturą środowiska a tempem metabolizmu u zwierząt zmiennocieplnych i stałocieplnych.

Dowiedz się więcej

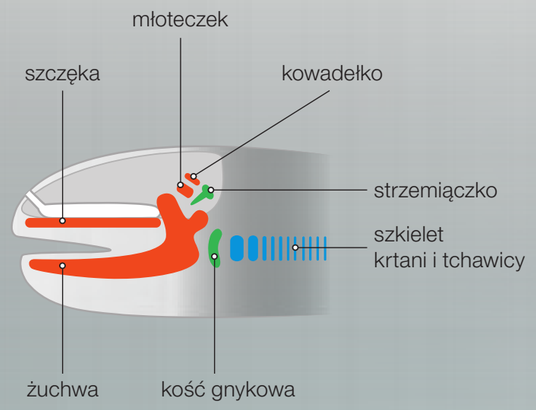
Gady, ptaki

Kość stawowa i kość kwadratowa utworzyły staw, który połączył żuchwę z mózgoczaszką. Dalsze łuki skrzelowe dały początek szkieletowi krtani.



Ssaki

Żuchwa połączyła się z mózgoczaszką za pośrednictwem wtórnego stawu żuchwowego. Pojawiły się kolejne kosteczki słuchowe – młoteczek (z kości stawowej) i kowadełko (z kości kwadratowej).



Sposoby regulacji temperatury ciała u zwierząt

Sposoby regulacji temperatury ciała u zwierząt ektotermicznych (ektotermów) i zwierząt endotermicznych (endotermów) są różne.

Sposoby regulacji temperatury ciała u zwierząt ektotermicznych

Zwierzęta ektotermiczne (ektotermy) utrzymują odpowiednią temperaturę ciała dzięki pochłanianiu ciepła z otoczenia. Do ektotermów należą bezkręgowce, ryby, płazy i gady.



Grzechotniki diamentowe skrywają się w trudno dostępnych półkach skalnych – w ten sposób obniżają temperaturę ciała, a także oddają nadmiar ciepła do podłoża.



Ropuchy szare unikają przegrzania i utraty wody, dlatego w gorące i suche dni chowają się w podziemnych norach, gdzie temperatura powietrza jest niższa.





Łuski **biczogonów egipskich** w niskiej temperaturze stają się prawie czarne, dzięki czemu zwierzęta te pochłaniają dużą ilość ciepła. Z kolei w wysokiej temperaturze łuski są jasnobrązowe, wskutek czego biczogony pochłaniają mniejszą ilość ciepła.



Agamy kaukaskie często wygrzewają się na słońcu, co pozwala im pochłonąć dużą ilość ciepła. Tym samym wzrasta temperatura ich ciała, a tempo procesów metabolicznych przyspiesza.

Sposoby regulacji temperatury ciała u zwierząt endotermicznych

Zwierzęta endotermiczne (endotermy) uzyskują ciepło niezbędne do ogrzania ciała z procesów metabolicznych. Do endotermów zalicza się zwierzęta stałocieplne (ptaki i ssaki).



Edredony to kaczki żyjące w strefie arktycznej. Ich pióra puchowe oraz gruba warstwa tkanki tłuszczowej mają bardzo dużą zdolność termoizolacyjną, co chroni te ptaki przed wychłodzeniem.



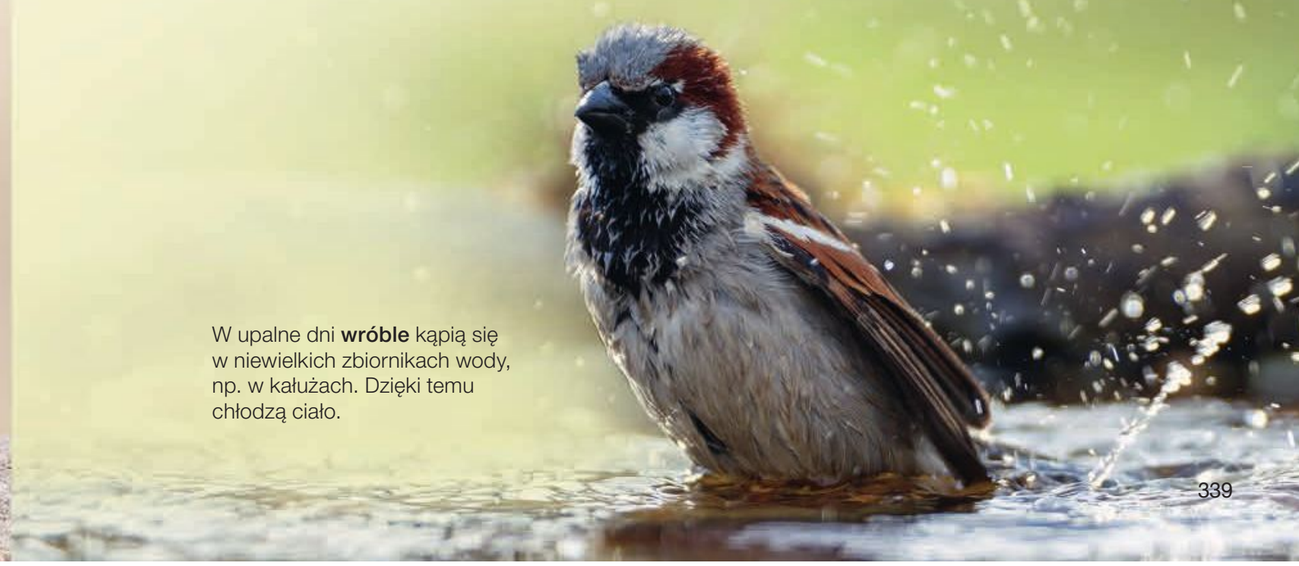
Fenki pustynne są aktywne przede wszystkim w nocy, kiedy temperatura na pustyni jest niska. Poza tym mają duże uszy, za pośrednictwem których oddają ciepło do otoczenia.



Wilki szare nie pocą się – w zamian zachodzi u nich zianie, czyli parowanie wody z wilgotnych błon śluzowych nosa i jamy gębowej.



Makaki japońskie żyją na obszarach, gdzie mroźna zima trwa wiele miesięcy. Aby się ogrzać, makaki kąpią się w gorących źródłach.

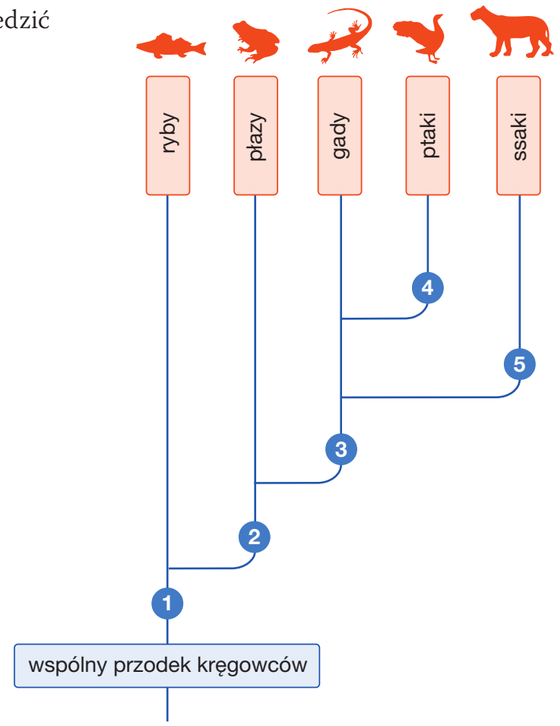


W upalne dni **wróble** kąpią się w niewielkich zbiornikach wody, np. w kałużach. Dzięki temu chłodzą ciało.

Uproszczone drzewo rodowe kręgowców

Rozwój ewolucyjny strunowców można prześledzić na drzewie rodowym.

1. Wykształcenie szczęki i żuchwy.
2. Wykształcenie palczastych kończyn i dwóch krwiobiegów.
3. Wykształcenie błon płodowych.
4. Wykształcenie stałocieplności i piór.
5. Wykształcenie stałocieplności, włosów, gruczołów mlekowych i odruchu ssania.



Porównanie głównych grup kręgowców

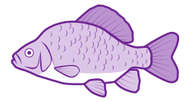
Ryby	Płazy	Gady	Ptaki	Ssaki
pierwotnie wodne Są pierwotnie przystosowane do życia w wodzie.	**pierwotnie lądowe** Są pierwotnie przystosowane do życia na lądzie.			
skrzelodyszne Oddychają skrzelami.	**płucodyszne** Oddychają płucami.			
bezowodniowce Nie mają błon płodowych.		**owodniowce** Występują u nich błony płodowe.		
zmiennocieplne Nie utrzymują stałej temperatury ciała.			**stałocieplne** Utrzymują stałą temperaturę ciała.	

Polecenia kontrolne

1. Podaj cechy charakterystyczne kręgowców.
2. Wyjaśnij, w jaki sposób obecność błon płodowych umożliwia gadom, ptakom i ssakom rozród w środowisku lądowym.
3. Określ różnicę między zwierzętami zmiennocieplnymi a zwierzętami stałocieplnymi.

5.2. Ryby – kręgowce pierwotnie wodne

Ważne w tym temacie!
- cechy charakterystyczne ryb
- przystosowania ryb do życia w wodzie



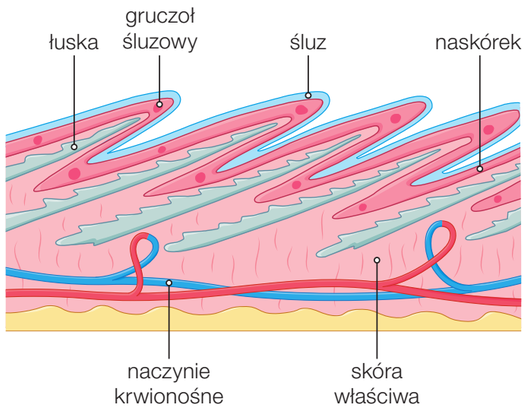
Ryby to zmiennocieplne kręgowce **pierwotnie wodne**. Wśród ryb wyróżnia się ryby chrzęstnoszkieletowe, ryby promieniopłetwe i ryby mięśniopłetwe (→s. 342–343).

Ogólna budowa ciała ryb

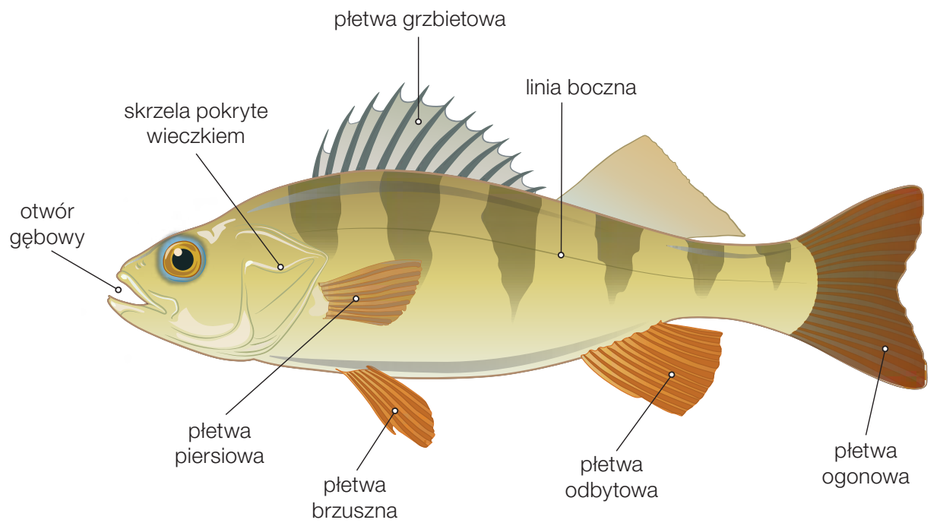
Ciało ryb składa się z trzech części. W **części głowowej** znajdują się oczy, parzyste otwory węchowe, otwór gębowy oraz szczeliny skrzelowe, które u pewnych gatunków są przykryte pokrywami (wieczkami) skrzelowymi. Na **tułowiu** są zlokalizowane parzyste płetwy piersiowe i brzuszne. U przeważającej części ryb występują też dodatkowe płetwy nieparzyste: grzbietowa, odbytowa i ogonowa. Siłą napędową większości ryb są ruchy **ogona**.

Pokrycie ciała ryb

Ciało ryb pokrywa skóra zbudowana:
- z wielowarstwowego naskórka – jest on zaopatrzony w liczne **gruczoły śluzowe**, których wydzielina zmniejsza tarcie podczas pływania, oraz w **komórki barwnikowe** wpływające na ubarwienie ciała;
- ze skóry właściwej – tworzy ją niezwykle wytrzymała tkanka łączna zawierająca kolagen. U większości ryb wytworami skóry właściwej są **łuski**, które pełnią funkcję ochronną.



Budowa skóry ryby.



Budowa zewnętrzna ryby.

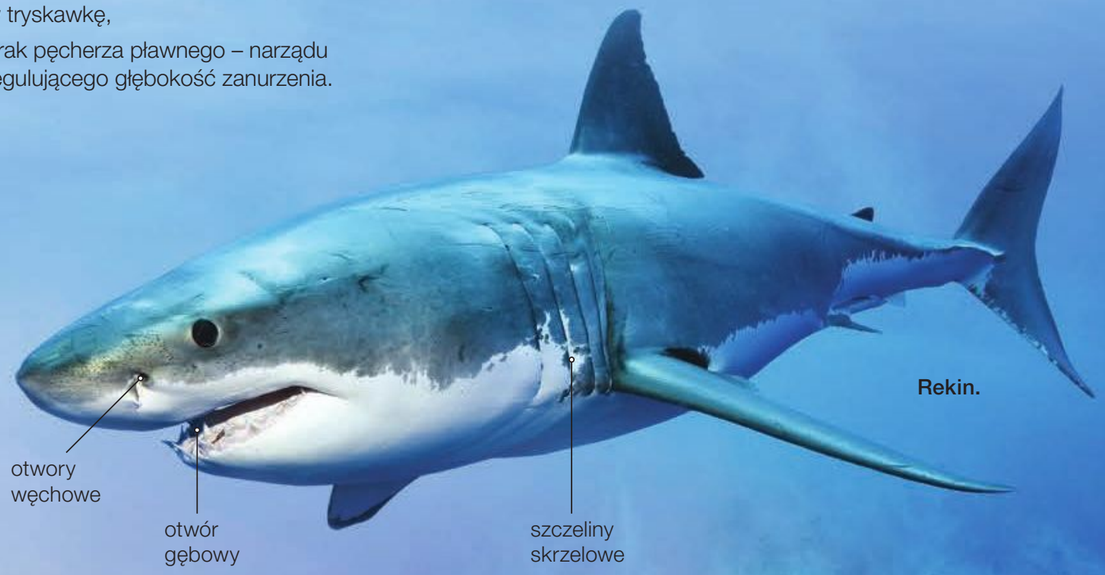
Różnorodność ryb

Wszystkie współcześnie żyjące gatunki ryb dzieli się na trzy gromady: chrzęstnoszkieletowe, promieniopłetwe oraz mięśniopłetwe.

Ryby chrzęstnoszkieletowe

Do chrzęstnoszkieletowych należą spodouste oraz zrosłogłowe. Ich cechami charakterystycznymi są:

- szkielet zbudowany wyłącznie z chrząstki,
- przednia część głowy jest często wydłużona i spiczasto zakończona,
- płetwy brzuszne przekształcone w narząd kopulacyjny,
- szczeliny skrzelowe bez pokryw skrzelowych,
- pierwsza szczelina skrzelowa przekształcona w tryskawkę,
- brak pęcherza pławnego – narządu regulującego głębokość zanurzenia.



Rekin.



Do zrosłogłowych należą przede wszystkim chimerokształtne, m.in. chimera zwyczajna. Ryba ta cechuje się silnie wydłużonym ciałem, biczowatym ogonem oraz dwiema płetwami grzbietowymi.

Spodouste (rekiny oraz płaszczki) mają otwór gębowy i otwory węchowe umiejscowione na spodniej stronie ciała. Kształt ciała rekinów – ryb żyjących w toni wodnej – jest wydłużony i lekko grzbieto-brzusznie spłaszczony. Z kolei zwierzęta przydenne (płaszczki) są silnie grzbieto-brzusznie spłaszczone.



Płaszczka.

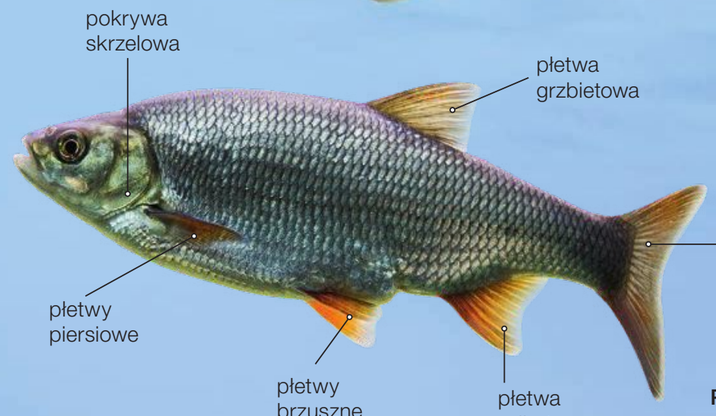
Ryby promieniopłetwe

Do promieniopłetwych należą niemal wszystkie współczesne ryby o kostnym szkielecie. Ich cechami charakterystycznymi są:

- szkielet zbudowany głównie z tkanki kostnej,
- płetwy wsparte na długich, kostnych promieniach,
- szczeliny skrzelowe przykryte od zewnątrz pokrywami skrzelowymi,
- występowanie pęcherza pławnego (u większości gatunków).



Okoń.



Płoć.

Ryby mięśniopłetwe

Do mięśniopłetwych należy osiem gatunków współczesnych ryb o kostnym szkielecie. Sześć z nich to ryby dwudyszne, a dwa – latimerie. Ich cechą charakterystyczną są płetwy wsparte na szeregu połączonych kości. Ponadto u ryb dwudysznych występują płuca. Od ryb mięśniopłetwych wywodzą się wszystkie kręgowce lądowe.



Ryba dwudyszna.

Latimeria.



Kształt ciała ryb

Kształt ciała ryb zależy przede wszystkim od trybu życia i warunków środowiska.

Ryby pływające wśród wodnej roślinności (np. skalary) mają ciało silnie bocznie spłaszczone, co pozwala im na precyzyjne manewrowanie.

Nietypowy kształt niektórych ryb (np. pławikoników) ułatwia im maskowanie się wśród skał lub raf koralowych.

Wydłużone ciało ryb szybko pływających (np. miecznika) pozwala im na rozwijanie dużej prędkości na krótkim odcinku.

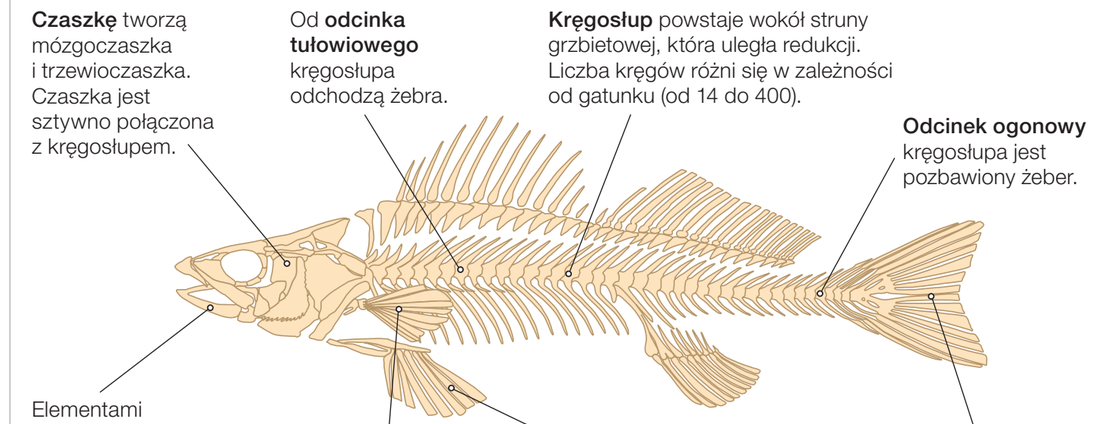
Najeżki mają kuliste, pokryte kolcami ciało i słabo wykształcone płetwy. W sytuacji zagrożenia pobierają wodę (lub powietrze) do rozciągliwego żołądka i w ten sposób zwiększają rozmiary ciała.

Ryby żerujące w mule dennym (np. węgorze) przypominają węże. Mają silnie umięśnione ciało oraz długie płetwy grzbietową i ogonową, dzięki którym mogą się poruszać, wyginając ciało na boki.

Ryby żyjące w pobliżu dna (np. płaszczki) mają ciało silnie grzbieto-brzusznie spłaszczone. Poruszają się za pomocą rozłożystych płetw piersiowych.

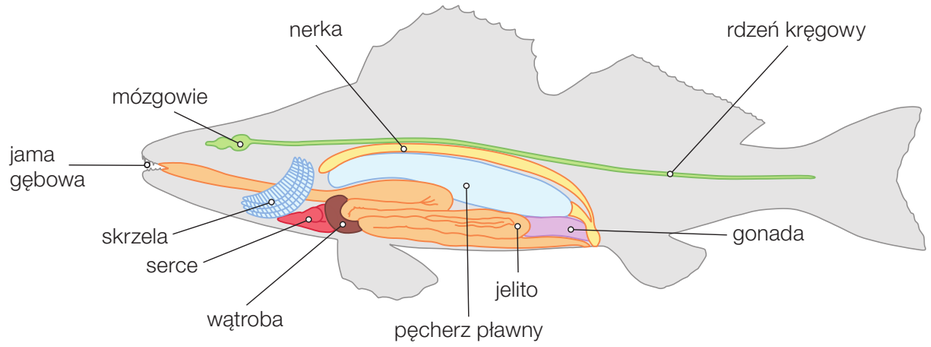
Układ szkieletowy ryb promieniopłetwych

Szkielet ryb promieniopłetwych składa się ze szkieletu osiowego (czyli z czaszki, kręgosłupa i żeber), szkieletu obręczy barkowej i miednicowej, a także szkieletu płetw.



Układ pokarmowy ryb

W **jamie gębowej** ryb nie ma gruczołów ślinowych – pokarm, który dostaje się do wnętrza wraz z wodą, nie wymaga dodatkowego nawilżenia. Do chwytania i przytrzymywania pokarmu zazwyczaj służą **zęby** osadzone na kościach szczękowych i żuchwie, a u niektórych gatunków – również na podniebieniu (np. u szczupaka) lub na ostatnim łuku skrzelowym (tzw. zęby gardłowe, występujące m.in. u ryb karpiokształtnych). W miejscu zużytych zębów wyrastają nowe. Za jamą gębową znajduje się **odcinek skrzelowy przewodu pokarmowego**. Dalej są **przełyk** oraz **żołądek** przechodzący w **jelito cienkie**, do którego uchodzą przewody **wątroby** i **trzustki**. Kolejnym elementem układu pokarmowego jest **jelito grube** zakończone **otworem odbytowym**. U spodoustych występuje **kloaka**, czyli wspólne ujście układów pokarmowego, rozrodczego i wydalniczego.



Budowa wewnętrzna ryby promieniopłetwej.

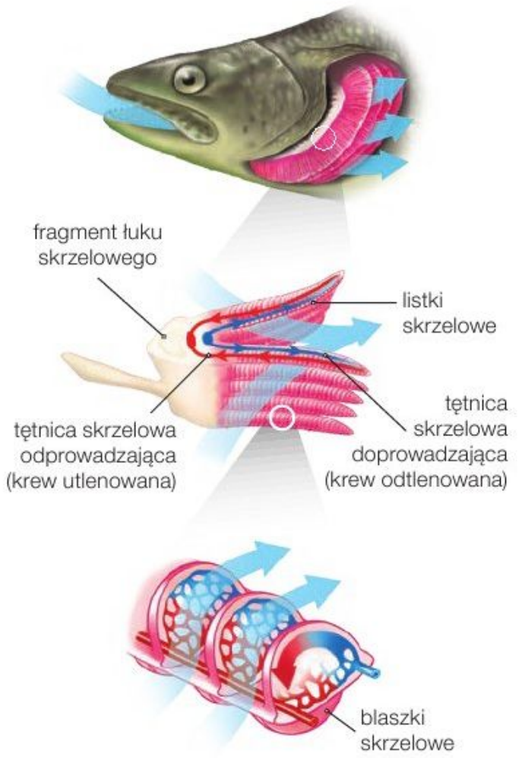
Układ oddechowy ryb

U ryb wymiana gazowa między wnętrzem organizmu a środowiskiem zewnętrznym odbywa się za pomocą skrzeli. Skrzela znajdują się w komorach (jamach) skrzelowych. Pojedyncze skrzele składa się z **łuku skrzelowego** i osadzonych na nim **listków skrzelowych**, mających postać wąskich, silnie unaczynionych taśm. Na powierzchni każdego listka znajdują się płaskie, poprzeczne fałdy, zwane **blaszkami skrzelowymi**. Woda, która przepływa z gardzieli do komór skrzelowych, obmywa skrzela i wydostaje się na zewnątrz ciała za pośrednictwem **szczelin skrzelowych**. Ryby chrzęstnoszkieletowe mają odrębne ujścia szczelin, natomiast u ryb o kostnym szkielecie szczeliny są okryte **pokrywami skrzelowymi**.

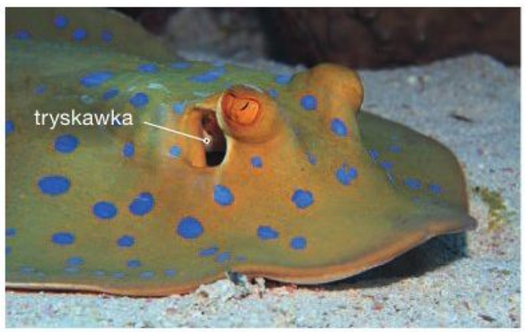
U niektórych dorosłych ryb chrzęstnoszkieletowych, zwłaszcza przydennych (np. płaszczek), pierwsza szczelina skrzelowa jest drożna. Określa się ją mianem **tryskawki**. Tryskawka znajduje się tuż za okiem, po grzbietowej stronie ciała. Przez tryskawkę wpływa czysta woda (pozbawiona zanieczyszczeń pochodzących z dna), która następnie przedostaje się do gardzieli.

Ryby dwudyszne w toku ewolucji wykształciły **płuca**, dzięki czemu stały się zdolne do oddychania powietrzem atmosferycznym. Płuca rozwinęły się jako uchyłki jelita i są z nim połączone przewodem powietrznym. U większości ryb dwudysznych oddychanie skrzelowe jest silnie ograniczone wskutek rozwoju płuc.

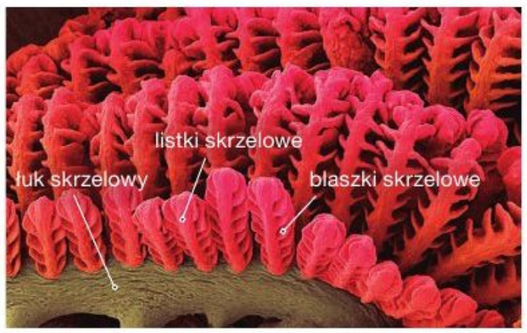
Płuca ryb dwudysznych dały początek płucom kręgowców lądowych. Od płuc ryb dwudysznych pochodzi również pęcherz pławny ryb promieniopłetwych, który pełni funkcję narządu hydrostatycznego (→ s. 354–355).



U ryb o kostnym szkielecie woda napływa do wnętrza ciała przez pysk, a następnie obmywa skrzela i wypływa na zewnątrz. Woda i krew w skrzelach przepływają w przeciwnych kierunkach, co zwiększa wydajność wymiany gazowej (→ s. 347).



Tryskawka występuje m.in. u płaszczek. Służy ona do wciągania wody (wraz z rozpuszczonym w niej tlenem) – najpierw do gardzieli, a następnie do skrzeli, w których zachodzi wymiana gazowa.



Skrzela (obraz spod SEM, barwiony komputerowo) są zbudowane z łuków skrzelowych i osadzonych na nich listków skrzelowych. Poprzeczne fałdy listków skrzelowych nazywa się blaszkami skrzelowymi.

Mechanizmy wspomagające wymianę gazową

Ryby przeprowadzają najefektywniejszą wymianę gazową spośród wszystkich zwierząt wodnych. Wspomagają ją liczne przystosowania fizjologiczne, m.in. ruchy pokryw skrzelowych, działanie tryskawki i przeciwprądowy mechanizm przepływu krwi przez skrzela.

Ruchy pokryw skrzelowych

U ryb o kostnym szkielecie występują pokrywy skrzelowe, które działają niczym pompa umożliwiająca przepływ wody przez skrzela.

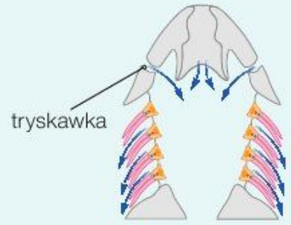


Kiedy ryba otwiera pysk, pokrywy skrzelowe przylegają do jej ciała, przez co szczeliny skrzelowe się zamykają. Dzięki temu woda najpierw wpływa do pyska, a następnie przepływa przez skrzela.

Gdy ryba zamyka pysk, pokrywy skrzelowe się unoszą, a woda wypływa na zewnątrz.

Działanie tryskawki

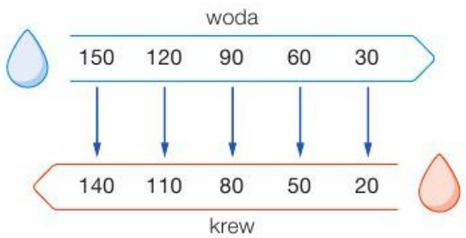
Ryby chrzęstnoszkieletowe są zaopatrzone w tryskawkę. U gatunków przydennych, np. płaszczek, znajduje się ona po grzbietowej stronie ciała i wspomaga wymianę gazową.



Czysta woda najpierw jest wciągana przez otwór tryskawki, a następnie przepływa do skrzeli.

Mechanizm przeciwprądów

W mechanizmie przeciwprądów krew przepływa przez blaszkę skrzelową w odwrotnym kierunku niż obmywająca tę blaszkę woda. W efekcie ciśnienie parcjalne[1] tlenu we krwi stopniowo rośnie, chociaż zawsze jest ono nieco niższe od ciśnienia parcjalnego tlenu w obmywającej dane miejsce wodzie. Dzięki temu do płynącej przez skrzela krwi stale jest dostarczany tlen (gaz ten dyfunduje z miejsca o wyższym ciśnieniu parcjalnym do miejsca o niższym ciśnieniu parcjalnym).



Wymiana gazowa u ryb zachodzi dzięki różnicy między ciśnieniem parcjalnym tlenu we krwi a ciśnieniem parcjalnym tlenu w wodzie. Liczby na schemacie oznaczają umowne wartości ciśnienia parcjalnego tlenu.

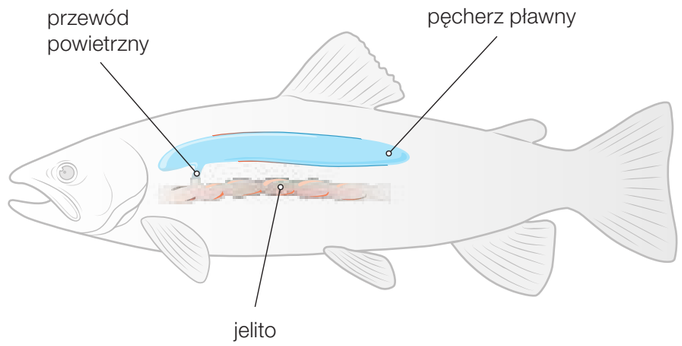
[1] **Ciśnienie parcjalne** (cząstkowe) – ciśnienie wywierane przez cząsteczki danego gazu wchodzącego w skład mieszaniny różnych gazów (np. ciśnienie parcjalne tlenu wchodzącego w skład powietrza).

Pęcherz pławny

Pęcherz pławny występuje u wielu gatunków ryb promieniopłetwych. Ma on postać worka wypełnionego gazem o składzie zbliżonym do powietrza atmosferycznego. W rozwoju zarodkowym pęcherz pławny powstaje jako uchyłek jelita i u niektórych dorosłych ryb może być połączony z jelitem za pośrednictwem przewodu powietrznego.

Funkcje pęcherza pławnego

- Zmniejsza ciężar właściwy ryby, a tym samym pozwala na regulację głębokości zanurzenia oraz utrzymywanie się w wodzie bez dużego nakładu energii (narząd hydrostatyczny → s. 354–355).
- U niektórych gatunków odpowiada za przekazywanie fal dźwiękowych do ucha wewnętrznego.
- Stanowi jeden z narządów wykorzystywanych przez rybę do wydawania odgłosów.

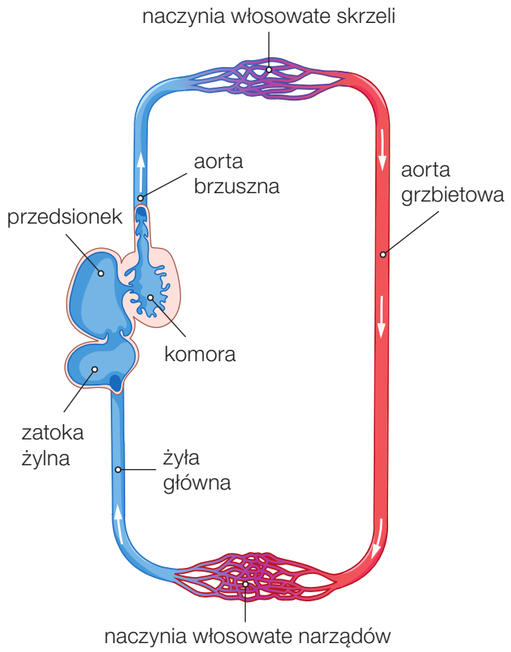


Pęcherz pławny, który ma postać worka połączonego przewodem powietrznym z jelitem, jest typowy dla ryb promieniopłetwych (np. pstrąga). Uzupełnianie gazu w pęcherzu odbywa się przez połykanie powietrza znad powierzchni wody.

Układ krwionośny ryb

U ryb występuje jednoobiegowy układ krwionośny, który jest zamknięty. Serce ryb jest zbudowane: z zatoki żylnej, z przedsionka, z komory i ze stożka tętniczego.

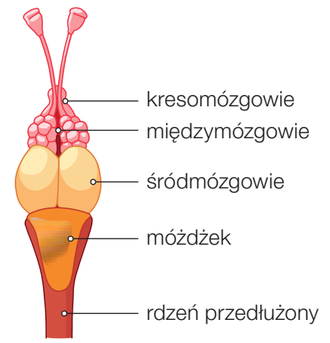
Między poszczególnymi częściami serca znajdują się **zastawki** uniemożliwiające cofanie się krwi. Dzięki temu krew płynie w jednym kierunku. Serce ryb (z wyjątkiem ryb dwudysznych) jest wyłącznie żylne, co oznacza, że płynie przez nie krew odtlenowana. Krew ta pochodzi z tkanek ciała i napływa do serca przez zatokę żylną. Stamtąd jest przepompowywana przez przedsionek, komorę oraz stożek tętniczy. Następnie przepływa systemem tętnic do skrzeli. Utlenowana w skrzelach krew jest rozprowadzana po całym organizmie. Barwnikiem oddechowym u ryb, podobnie jak u pozostałych kręgowców, jest **hemoglobina**, która występuje w erytrocytach.



Układ krwionośny ryby.

Układ nerwowy ryb

Układ nerwowy ryb składa się z **mózgowia**, **rdzenia kręgowego** oraz **nerwów obwodowych**. Mózgowie jest zbudowane z pięciu ułożonych liniowo części. Gatunki posługujące się głównie zmysłem węchu mają dobrze rozwinięte kresomózgowie i opuszki węchowe. Gatunki, dla których duże znaczenie ma wzrok, cechują się znacznym rozwojem śródmózgowia. U ryb szybko i długo pływających dobrze wykształcił się móżdżek, który odpowiada za koordynację ruchów.



Budowa mózgowia ryby.

Narządy zmysłów

Jednym z najważniejszych narządów zmysłów ryb jest **linia boczna**. Składa się ona z receptorów umiejscowionych tuż pod powierzchnią skóry. Dzięki linii bocznej ryby odczuwają nawet najdelikatniejsze ruchy wody.

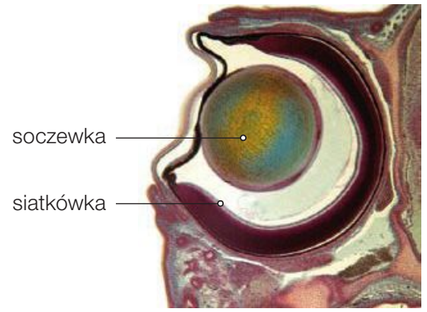
Oczy ryb są dobrze rozwinięte. Mają zdolność akomodacji – dostosowania oka do wyraźnego widzenia z różnych odległości. Akomodacja u ryb zachodzi wskutek przemieszczania się prawie kulistej soczewki względem siatkówki. W siatkówce oka występują dwa rodzaje fotoreceptorów:

- **pręciki**, które umożliwiają rozróżnianie kształtów oraz rejestrowanie ruchu,
- **czopki**, które umożliwiają precyzyjne widzenie obiektów oraz barw.

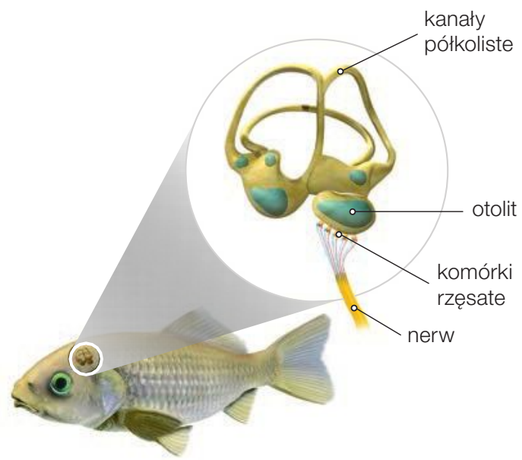
Narządem słuchu i równowagi ryb jest ucho wewnętrzne, w którym znajduje się błędnik błoniasty. Zawiera on receptory wrażliwe na bodźce słuchowe oraz receptory odbierające informacje o położeniu ciała. U części ryb w procesie słyszenia bierze udział pęcherz pławny.

Narząd węchu mieści się w parzystych dołkach zawierających komórki węchowe. Węch odgrywa u ryb istotną rolę w poszukiwaniu pokarmu i partnera do rozrodu.

Niektóre ryby (np. płaszczki) mają zdolność **elektrorecepcji**. Oznacza to, że wytwarzają wokół siebie pole elektryczne i wykrywają jego zmiany (wywołane np. obecnością innych organizmów).



U ryb i pozostałych kręgowców występują oczy pęcherzykowe, które są zaopatrzone w soczewkę. Oczy pęcherzykowe umożliwiają ostre widzenie.



Błędnik błoniasty ryb tworzą przedsionek i trzy kanały półkoliste. Przedsionek składa się z komórek rzęsatych oraz z otolitów – kryształów węglanu wapnia. Pod wpływem bodźców dopływających ze środowiska otolity przesuwają się i naciskają na rzęski. W ten sposób powstaje impuls nerwowy, który jest przesyłany do mózgowia.

Układ wydalniczy ryb

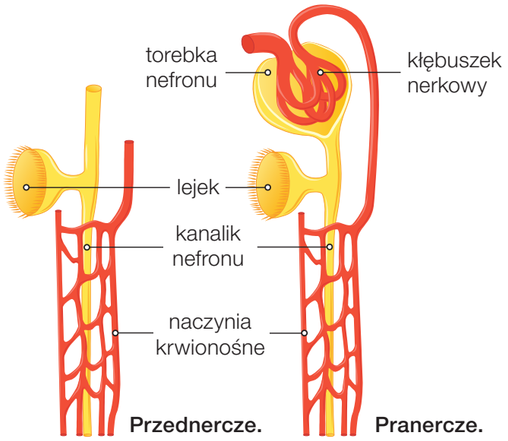
U ryb, podobnie jak u pozostałych kręgowców, narządem wydalniczym są nerki. Ich podstawową jednostką strukturalno-funkcjonalną jest **nefron**.

Zarodki ryb mają nerki typu **przednercza** – ich nefrony składają się z kanalików oraz orzęsionych lejków wychwytujących zbędne substancje z płynu celomatycznego.

Większość dorosłych ryb ma nerki typu **pranercza**. Nefrony tych ryb są zbudowane z kanalików, orzęsionych lejków oraz ciałek nefronu. Każde **ciałko nefronu** składa się z kłębuszka nerkowego, utworzonego przez naczynia krwionośne, oraz z torebki nefronu.

Proces powstawania moczu w pranerczach zachodzi w kilku etapach.

1. Orzęsione lejki wychwytują zbędne produkty przemiany materii z płynu wypełniającego wtórną jamę ciała.
2. Równocześnie w ciałkach nerkowych zachodzi filtracja krwi, czyli przenikanie metabolitów z osocza krwi do wnętrza torebek nefronu.
3. Wskutek obu tych procesów do światła kanalików nerkowych trafia roztwór **moczu pierwotnego**.
4. W zależności od potrzeb mocz pierwotny może ulegać dalszej obróbce, np. rozcieńczaniu lub zagęszczaniu. W ten sposób tworzy się **mocz ostateczny**, który trafia do moczowodów, a stamtąd – do pęcherza moczowego.



Typy nerek u ryb.

5. U ryb **chrzęstnoszkieletowych** mocz jest wydalany na zewnątrz przez **kloakę**, natomiast u **ryb o kostnym szkielecie** – przez niezależny **otwór wydalniczy**, który znajduje się za otworem odbytowym.

Głównym azotowym produktem przemiany materii u ryb promieniopłetwych i mięśniopłetwych jest **amoniak**, a u ryb chrzęstnoszkieletowych – **mocznik**.

Nerki – poza usuwaniem zbędnych produktów przemiany materii – przeprowadzają osmoregulację. Osmoregulacja to ogół procesów pozwalających na utrzymanie względnie stałego stężenia płynów ustrojowych. Wiele ryb wykształciło bardzo zaawansowane mechanizmy osmoregulacji, pozwalające na funkcjonowanie w wodach o różnym zasoleniu.



W osmoregulacji biorą udział także skrzela. Znajdujące się w nich jonocyty (komórki solne) są odpowiedzialne za usuwanie soli z organizmu u ryb słonowodnych lub pobieranie soli z wody u ryb słodkowodnych.



Jesiotr zachodni w czasie swojego życia przepływa z wód morskich do słodkich wód rzecznych. Aby dostosować mechanizm osmoregulacji do nowego środowiska, jesiotr spędza dużo czasu w ujściach rzek.

Osmoregulacja u ryb

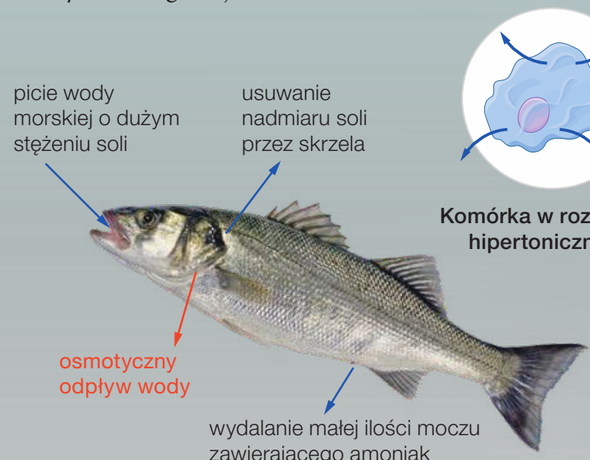
Ryby żyjące w środowisku hipertonicznym (w wodach słonych) są narażone na osmotyczny odpływ wody przez cienki nabłonek skrzeli. Z kolei ryby żyjące w środowisku hipotonicznym (w wodach słodkich) są narażone na osmotyczny napływ wody. Aby zachować względnie stałą zawartość wody i soli mineralnych w organizmie, ryby stosują różne mechanizmy osmoregulacji.

Ryby słonowodne

Główny problem osmoregulacyjny: osmotyczna utrata wody w środowisku hipertonicznym.

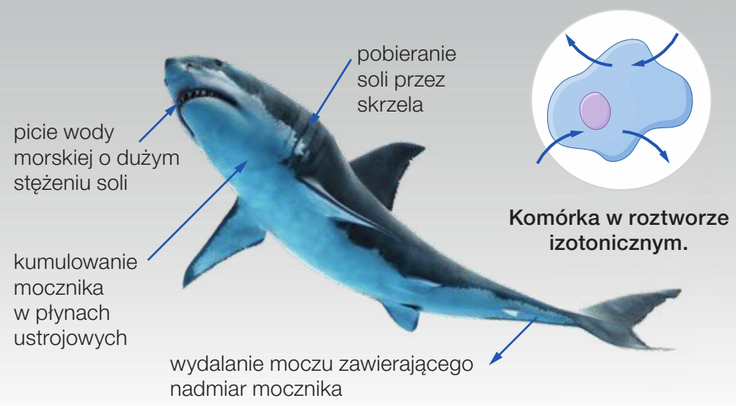
Promieniopłetwe

Płyny ustrojowe ryb promieniopłetwych są hipotoniczne w stosunku do środowiska. W efekcie ciało ryb nieustannie traci wodę na drodze osmozy. Aby zapobiec odwodnieniu, ryby te piją wodę morską i wydalają niewielką ilość silnie stężonego moczu. Jednocześnie usuwają nadmiar soli mineralnych przez skrzela.



Chrzęstnoszkieletowe

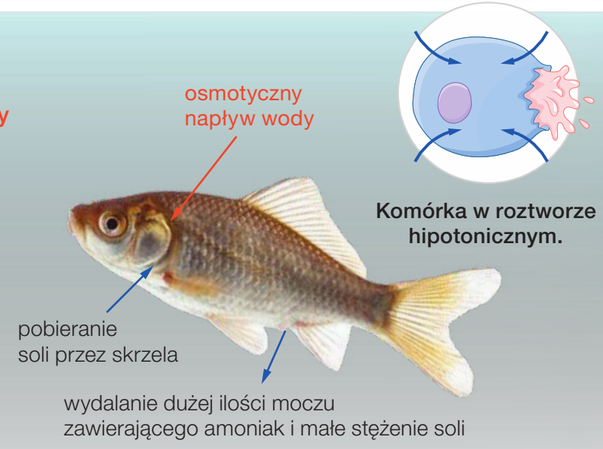
Ryby chrzęstnoszkieletowe utrzymują w organizmie wysokie stężenie substancji osmotycznie czynnych, głównie mocznika. Z tego powodu ich płyny ustrojowe są prawie izotoniczne w stosunku do środowiska, a osmotyczna utrata wody jest ograniczona.



Ryby słodkowodne

Główny problem osmoregulacyjny: osmotyczny napływ wody w środowisku hipotonicznym.

Płyny ustrojowe ryb słodkowodnych (promieniopłetwych) są hipertoniczne w stosunku do środowiska. W efekcie ciało ryb nieustannie pobiera wodę na drodze osmozy. Aby zapobiec nadmiarowi wody w organizmie, ryby te nie piją wody i usuwają jej nadmiar w dużej ilości silnie rozcieńczonego moczu. Jednocześnie uzupełniają ubytek soli mineralnych za pośrednictwem skrzeli wyposażonych w specjalne komórki solne.



Rozmnażanie się i rozwój ryb

Większość ryb jest rozdzielnopłciowa, jedynie u nielicznych gatunków występuje obojnactwo. Ryby rozdzielnopłciowe wykazują często **dymorfizm płciowy**, który przejawia się m.in. zróżnicowaniem barwy, kształtu oraz rozmiaru ciała samic i samców. Szczególnie duże różnice w wyglądzie i zachowaniu osobników obu płci obserwuje się podczas rozrodu, który u ryb nosi nazwę **tarła**. Atrakcyjne szaty godowe samców mają zwrócić uwagę samic i zwiększyć szansę na kopulację.



Dymorfizm płciowy u bojownika wspaniałego.

Rozwój ryb

U przeważającej części ryb o kostnym szkielecie zachodzi zapłodnienie zewnętrzne. Samica składa **ikrę** (czyli jaja otoczone galaretowatą osłonką) do wody, gdzie następuje zapłodnienie. Z jaj, które zostaną zapłodnione, wylęgają się **larwy** odżywiające się substancjami zapasowymi żółtka. Następnie larwy rozwijają się w narybek, który samodzielnie zdobywa pokarm. Niektóre gatunki ryb opiekują się potomstwem, np. samce cierników budują gniazda, w których rozwijają się ikra i narybek.

U ryb chrzęstnoszkieletowych występują zapłodnienie wewnętrzne (samce mają specjalne narządy kopulacyjne, które powstają z promieni płetw brzusznych) i rozwój prosty.

Wędrówki ryb

Tarło i rozwój pewnych gatunków ryb są powiązane z wędrówką z wód słodkich do wód słonych bądź odwrotnie. Ryby, które podejmują taką wędrówkę, są nazywane rybami dwuśrodowiskowymi. Wśród ryb dwuśrodowiskowych wyróżnia się gatunki anadromiczne oraz gatunki katadromiczne.

Ryby anadromiczne

morze → rzeka



Rybą anadromiczną jest łosoś atlantycki. Tarło tego gatunku odbywa się w słodkich wodach rzek. Młode osobniki migrują do słonych wód oceanicznych, gdzie rosną i się rozwijają. Aby wziąć udział w rozrodzie, powracają do rzek, w których przyszły na świat.

Ryby katadromiczne

rzeka → morze



Rybą katadromiczną jest węgorz europejski. Jego rozród odbywa się w słonych wodach Morza Sargassowego. Młode osobniki migrują do europejskich wód słodkich, gdzie dojrzewają. Aby wziąć udział w tarle, powracają do miejsca, w którym wykluły się z jaj.

Dowiedz się więcej

Ryby głębinowe

Głębiny oceaniczne to środowisko o skrajnie trudnych warunkach życia. Brak światła, małe stężenie tlenu, niska temperatura i bardzo wysokie ciśnienie ograniczają rozwój organizmów. Jedynymi producentami materii organicznej są tam chemoautorofy, co skutkuje niewielką ilością pokarmu dla kolejnych poziomów troficznych. Ryby głębinowe wykształciły szereg przystosowań anatomiczno-fizjologicznych, które pozwalają na funkcjonowanie w tak ekstremalnym środowisku.



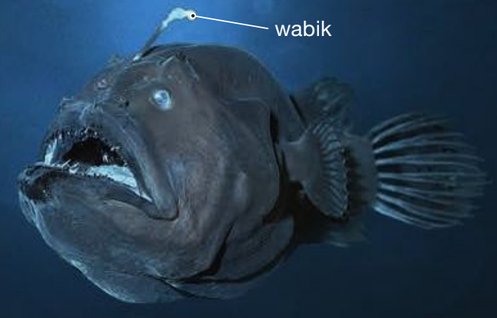
Populacje ryb głębinowych charakteryzują się małym zagęszczeniem, czego konsekwencją jest trudność w znalezieniu partnera do rozrodu. U matronicy Holboella występuje nietypowa strategia rozrodcza – znacznie mniejszy samiec przyrasta do ciała samicy i rozpoczyna pasożytniczy tryb życia. Jednocześnie wciąż jest zdolny do zapładniania jaj partnerki.



Z powodu niewielkiej ilości pokarmu oraz braku możliwości jego regularnego pobierania ryby z rodziny wężorowatych wykształciły nieproporcjonalnie duży otwór gębowy, w którym znajdują się długie i ostre zęby. Dzięki temu mogą chwytać ofiary nawet większe od siebie.



Węgorowate są zaopatrzone w narządy świetlne (fotofory), zlokalizowane m.in. po bokach ciała. Za pomocą fotoforów ryby te wabią ofiary i kontaktują się z innymi osobnikami tego samego gatunku. Samce niektórych gatunków węgorowatych mają uwstecznione jelito, wskutek czego nie mogą samodzielnie pobierać pokarmu i giną tuż po zapłodnieniu samicy.



Wiele ryb głębinowych, np. z rodzaju *Melanocetus*, wykształciło narządy służące do przywabiania ofiar. Funkcję wabika pełni u nich jeden z przekształconych promieni płetwy grzbietowej, który kształtem przypomina wędkę. Na szczycie tej struktury znajduje się narząd świetlny przyciągający ofiary do paszczy drapieżcy.

PRZYSTOSOWANIA RYB DO ŻYCIA W WODZIE

Ryby są doskonale przystosowane do życia w środowisku wodnym.



1 **Opływowy kształt ciała ryb** zmniejsza opór wody podczas pływania, a tym samym – wydatki energetyczne potrzebne do poruszania się.

2 **Skóra ryb jest pokryta łuskami i śluzem**, co zmniejsza opór wody podczas pływania.

3 **Ryby mają zwykle ciemny grzbiet i jasny brzuch** – dzięki temu są mniej widoczne z góry (na tle dna) i z dołu (na tle powierzchni wody).



4 **Dzięki linii bocznej** ryby wyczuwają ruchy wody i doskonale orientują się w przestrzeni.

5 **Pęcherz pławny** umożliwia m.in. regulację głębokości zanurzenia.

6 **Skrzela** umożliwiają rybom oddychanie tlenem rozpuszczonym w wodzie.

8 **Przystosowania w budowie szkieletu i obecność płetw**

Płetwa grzbietowa ułatwia utrzymanie równowagi w czasie pływania.

W mięśniach wielu gatunków występują ości, czyli drobne, skostniałe ścięgna. Zwiększają one sztywność ciała, co ułatwia pokonywanie oporu wody.

Czaszka sztywno połączona z kręgosłupem zapewnia ochronę przed urazami podczas pokonywania oporu wody.

Płetwa ogonowa jest głównym narządem napędowym.



Kostne pokrywy skrzelowe chronią skrzela przed uszkodzeniem.

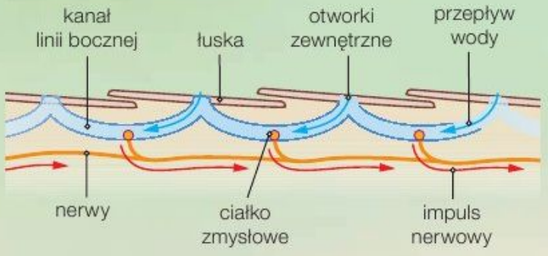
Płetwa odbytowa bierze udział w utrzymywaniu równowagi.

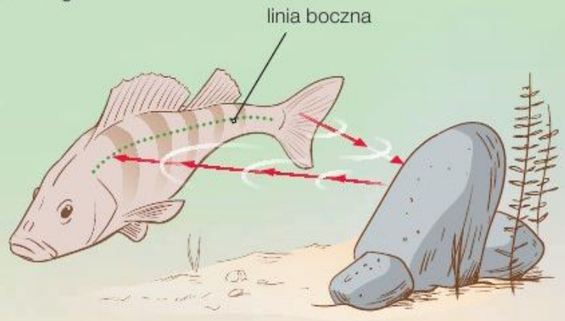
Płetwy piersiowe umożliwiają zmianę kierunku ruchu.

Płetwy brzuszne służą do utrzymywania pozycji ciała.

Działanie linii bocznej

Linia boczna jest zbudowana z kanałów, które łączą się ze środowiskiem zewnętrznym za pomocą licznych otworków. Wnętrze kanałów wypełnia galaretowata substancja, w której znajdują się ciałka zmysłowe. Ciałka zmysłowe odbierają nawet najmniejsze zmiany falowania i drgania wody, a informacje o odebranych bodźcach przekazują do mózgu.





Rola pęcherza pławnego w regulacji głębokości zanurzenia

Ryby o kostnym szkielecie mają pęcherz pławny, który jest narządem hydrostatycznym – umożliwia on zmianę głębokości zanurzenia i ułatwia utrzymywanie się w wodzie. Ryby chrzęstnoszkieletowe nie mają pęcherza pławnego – to dlatego muszą pozostawać w ciągłym ruchu, aby nie opaść na dno.





Znaczenie ryb w przyrodzie i dla człowieka



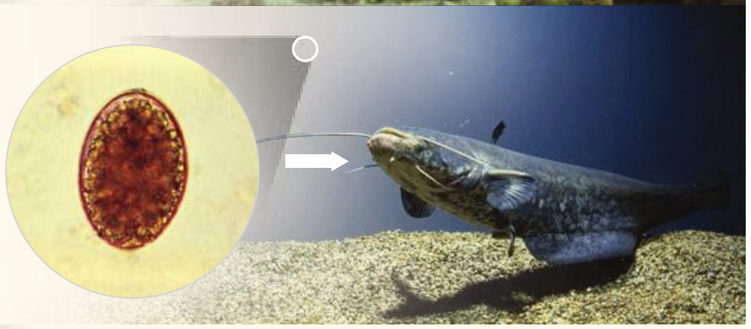
Bioindykatory

Występowanie niektórych gatunków ryb jest często związane z określonym typem wód, np. pstrąg potokowy jest notowany w rzekach o wartkim prądzie i zimnej, natlenionej wodzie.



Żywiciele groźnych pasożytów

Liczne gatunki ryb są żywicielami pośrednimi groźnych pasożytów, m.in. bruzdogłowca szerokiego.



Jajo bruzdogłowca szerokiego.

Źródło cennych substancji

Substancje pozyskiwane z ryb wykorzystuje się do produkcji m.in. klejów, nawozów, karmy dla zwierząt oraz leków (np. tran otrzymywany z wątroby dorsza).



Polecenia kontrolne

1. Podaj cechy zewnętrzne ryb, które stanowią przystosowanie do życia w wodzie.
2. Omów mechanizm osmoregulacji u morskich ryb o kostnym szkielecie.
3. Wyjaśnij, dlaczego linia boczna jest dla ryb jednym z najważniejszych narządów zmysłów.
4. Uzasadnij, że serce ryb jest żylne.
5. Wyjaśnij, w jaki sposób mechanizm przeciwprądów w skrzelach ryb zwiększa efektywność wymiany gazowej.

5.3. Płazy – kręgowce dwuśrodowiskowe

Ważne w tym temacie!

- cechy charakterystyczne płazów

Płazy to zwierzęta zmiennocieplne, prowadzące ziemnowodny tryb życia. Zasięg ich występowania wiąże się głównie z odpowiednio wysoką temperaturą i obecnością wody słodkiej. Dorosłe osobniki płazów przebywają zwykle w wilgotnych środowiskach lądowych. W gromadzie płazów wyróżnia się trzy grupy: płazy ogoniaste, płazy bezogonowe i płazy beznogie.

Pokrycie ciała płazów

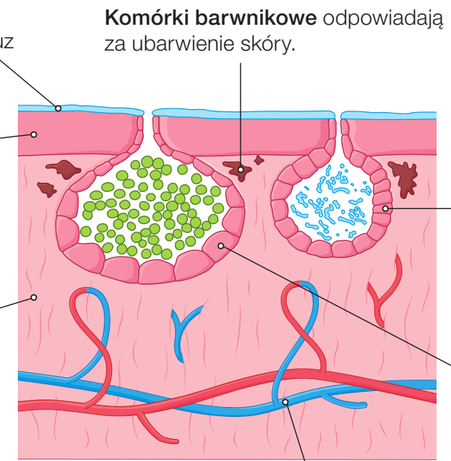
Skóra płazów jest cienka, naga, pozbawiona tworów ochronnych (np. łusek) i nieustannie nawilżana śluzem. Taka budowa sprawia, że skóra przepuszcza wodę – to dlatego płazy żyją głównie w środowiskach wilgotnych. Ubarwienie płazów zależy od znajdujących się w skórze komórek barwnikowych. Ubarwienie może pełnić funkcje maskujące (np. brunatnozielony grzbiet żaby trawnej) lub ostrzegawcze (np. żółte plamy na czarnym ciele salamandry plamistej).



Drzewołazy żyją w wilgotnych lasach równikowych. Ich jaskrawe ubarwienie ostrzega inne zwierzęta przed wyjątkowo silną trucizną, którą drzewołazy wydzielają przez skórę.

Skóra płazów

Skóra płazów składa się z dwóch warstw – z naskórka i ze skóry właściwej.



Różnorodność płazów

Wśród płazów wyróżnia się płazy ogoniaste, płazy bezogonowe oraz płazy beznogie.

Płazy ogoniaste

Mają kończyny jednakowej długości oraz ogon. Po lądzie poruszają się niezdarnie – zdecydowanie lepiej radzą sobie w środowisku wodnym. W Polsce żyje pięć gatunków płazów ogoniastych: salamandra plamista oraz traszki – grzebieniasta, zwyczajna, górska i karpacka.



Traszka grzebieniasta.

Salamandra plamista.

Płazy bezogonowe

Odznaczają się krępym ciałem pozbawionym ogona i długimi kończynami tylnymi, przystosowanymi do wykonywania skoków. U samców wielu gatunków płazów bezogonowych po obu stronach głowy występują rezonatory – cienkościenne uchyłki jamy gębowej służące do wzmacniania odgłosów godowych. Polskimi przedstawicielami tego rzędu są żaby, ropuchy, kumaki, rzekotki i grzebiuszki.



Kumak górski.



Żaba wodna.

Płazy beznogie

Przypominają wyglądem dżdżownice. Mają zwartą, twardą czaszkę i kręgosłup składający się z ok. 200 kręgów. Cechują się brakiem kończyn. Ciało tych płazów pokrywa skóra, w której znajdują się niewielkie kolagenowe łuski. Występują tylko w strefie międzyzwrotnikowej – nie wchodzą więc w skład polskiej fauny. Większość gatunków prowadzi podziemny tryb życia.



Marszczelec pierścieniowy.

Układ szkieletowy płazów

Szkielet płazów jest zbudowany z elementów kostnych i z elementów chrzęstnych. U płazów występują dwie części szkieletu – szkielet osiowy oraz szkielet obręczy i kończyn.

Szkielet osiowy

Szkielet osiowy płazów składa się z czaszki i z kręgosłupa.

Czaszka jest płaska i ma liczne otwory. W okresie życia larwalnego czaszka składa się wyłącznie z elementów chrzęstnych, natomiast u osobników dorosłych kostnieje ona w niewielkim stopniu. W obrębie czaszki wyróżnia się niewielką **mózgoczaszkę** oraz dużą **trzewioczaszkę**.

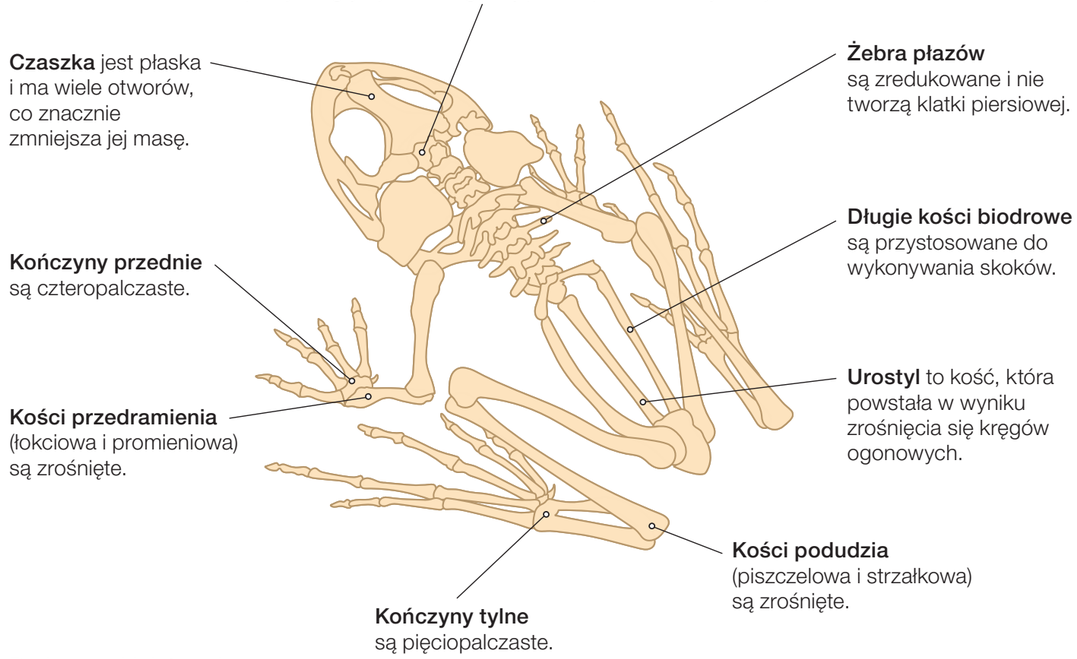
Kręgosłup płazów składa się z czterech części: szyjnej, tułowiowej, krzyżowej i ogonowej. **Część szyjną** tworzy jeden kręg zwany **dźwigaczem**, który jest połączony ruchomo z czaszką za pomocą **dwóch kłykci potylicznych**, czyli wyrostków kości potylicznych. Połączenie takie znacznie ogranicza ruchy głowy na boki (ruchy przeczące), umożliwia jednak ruchy w kierunku góra–dół (ruchy potakujące), co ułatwia wystawianie głowy ponad powierzchnię wody. **Część tułowiowa** kręgosłupa jest zbudowana z różnej liczby kręgów (np. u płazów bezogonowych jest ich 7, a u beznogich – ok. 100). **Część krzyżową** tworzy jeden kręg krzyżowy (nie mają go tylko płazy beznogie). **Część ogonowa** ma zmienną liczbę kręgów. U płazów bezogonowych kręgi ogonowe zrastają się w jedną kość – **urostyl**.

Płazy **nie mają klatki piersiowej**. Ich żebra są silnie zredukowane i łączą się lub zrastają jedynie z wyrostkami poprzecznymi kręgów tułowiowych.

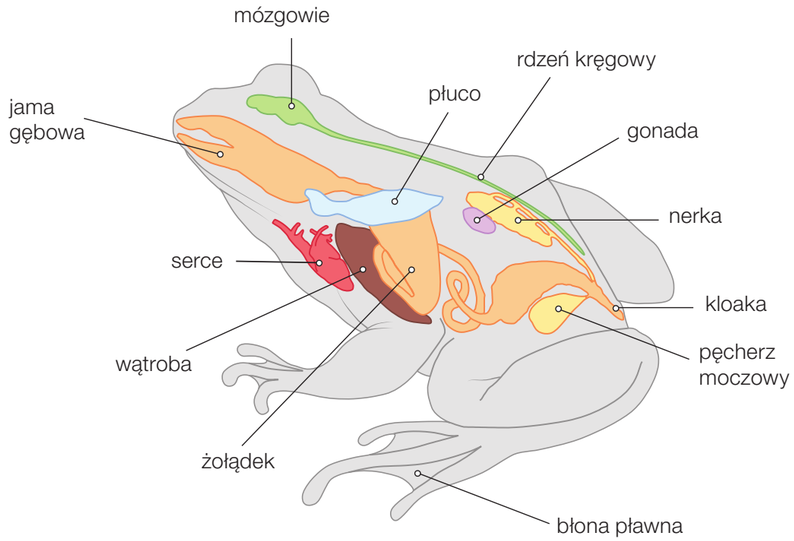
Szkielet obręczy i kończyn

Większość płazów ma dwie pary kończyn wspartych na obręczach – barkowej i miednicowej. Wyjątek stanowią płazy beznogie, które są pozbawione kończyn.

Czaszka jest połączona z kręgosłupem za pomocą dwóch kłykci potylicznych, czyli wyrostków kości potylicznych. Umożliwia to ruchy głowy w kierunku góra–dół, dzięki czemu płazy mogą wystawiać głowę ponad powierzchnię wody.



Budowa szkieletu żaby.



Budowa wewnętrzna płazów na przykładzie żaby.

Układ pokarmowy płazów

Dorosłe płazy są drapieżnikami. Ich pokarm stanowią przede wszystkim bezkręgowce (na ogół stawonogi, ale także mięczaki i pierścienice). Niektóre gatunki żywią się również drobnymi zwierzętami kręgowymi. Płazy nie piją wody, lecz pochłaniają ją przez skórę – dzieje się tak, ponieważ płazy magazynują dużą ilość mocznika w płynach ustrojowych, co pozwala na osmotyczny napływ wody do ciała.

Układ pokarmowy dorosłych płazów

Układ pokarmowy płazów rozpoczyna się **otworem gębowym** prowadzącym do obszernej i zazwyczaj uzębionej **jamy gębowej**. Zęby płazów są drobne i przyrośnięte do powierzchni kości szczękowych. Służą tylko do przytrzymywania zdobyczy, ponieważ pokarm jest połykany w całości. Czynność tę ułatwiają ruchy gałek ocznych i brak podniebienia kostnego – podczas połykania oczy płazów delikatnie wpuklają się w głąb jamy gębowej i w ten sposób popychają pokarm w stronę gardzieli. Do dna jamy gębowej przyrasta silnie umięśniony **język**. Kolejnym odcinkiem przewodu pokarmowego jest **gardziel**. W jej tylnej części znajdują się **dwa otwory**: jeden prowadzi do **tchawicy**, a drugi – do krótkiego i prostego **przełyku** połączonego z **żołądkiem**. Znajdujące się za nim **jelito cienkie** bez wyraźnej granicy przechodzi w **jelito grube**, które uchodzi do **kloaki**.

Układ pokarmowy larw płazów

Larwy płazów ogoniastych są drapieżne, a ich układ pokarmowy przypomina budową układ pokarmowy osobników dorosłych. Z kolei larwy płazów bezogonowych żywią się zawiesiną organiczną i planktonem. Otwór gębowy tych larw jest otoczony **zrogowaciałym naskórkiem**, który umożliwia zeskrobywanie pokarmu z przedmiotów znajdujących się pod wodą, a także filtrowanie cząstek pokarmu z wody.



Podczas polowania żaby wykorzystują swój długi i lepki język do chwytania ofiary.

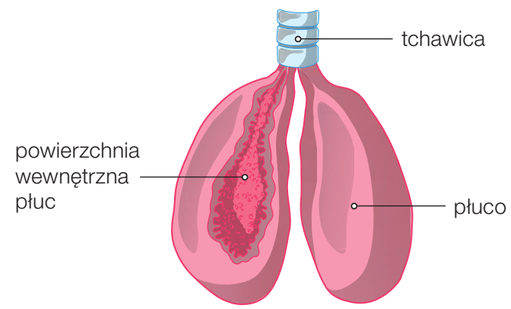
Układ oddechowy płazów

W środowisku lądowym wymiana gazowa u dorosłych płazów zachodzi m.in. dzięki obecności płuc. Oprócz płuc w wymianie gazowej uczestniczą nabłonek jamy gębowej oraz skóra.

Płuca płazów to silnie unaczynione, parzyste worki o lekko pofałdowanej powierzchni. Łączą się one z **gardzielą** za pomocą krótkich dróg oddechowych zbudowanych ze słabo rozwiniętej **krtani** oraz z **tchawicy**. Powierzchnia płuc płazów jest niewielka, dlatego wymiana gazowa zachodząca tą drogą jest mało efektywna.

Dużo większe znaczenie ma wymiana gazowa zachodząca przez cienką, dobrze unaczynioną i pokrytą śluzem **skórę**. U niektórych płazów (np. u salamander bezpłucnych) płuca nie występują, a wymiana gazowa zachodzi wyłącznie przez skórę. Jest to możliwe dzięki dużemu stosunkowi powierzchni ciała do jego objętości.

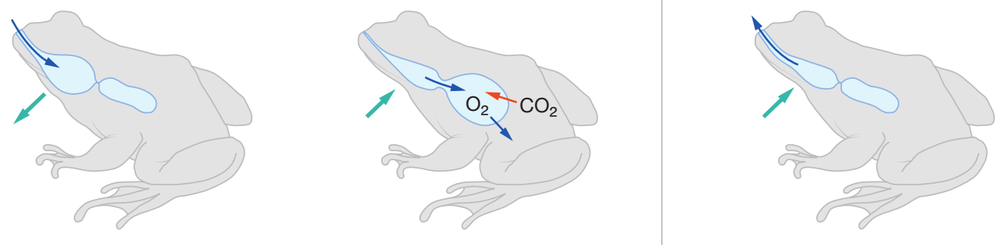
Wymiana gazowa u larw płazów zachodzi za pomocą skrzeli zewnętrznych lub skrzeli wewnętrznych. Skrzela zewnętrzne występują u larw płazów ogoniastych i u bardzo młodych larw płazów bezogonowych. Znajdują się one tuż za głową i mają postać pierzastych wyrostków. U starszych larw płazów bezogonowych skrzela zewnętrzne zostają zastąpione skrzelami wewnętrznymi, które znajdują się w komorach skrzelowych.



Płuca płazów to cienkościenne, silnie ukrwione worki o delikatnie pofałdowanej powierzchni wewnętrznej.

Mechanizm wentylacji płuc u płazów

Płazy nie mają klatki piersiowej, dlatego wentylacja płuc odbywa się u nich m.in. dzięki ruchom dna jamy gębowej. Mechanizm ten określa się mianem pompy jamy gębowej.



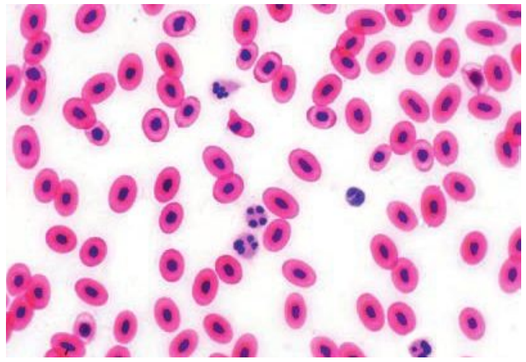
1. Dno jamy gębowej się obniża, co powoduje zassanie świeżego powietrza przez nozdrza do jamy gębowej.
2. Nozdrza się zamykają, dno jamy gębowej się podnosi, a powietrze jest wtłaczane do płuc. W płucach zachodzi wymiana gazowa.
3. Zużyte powietrze jest usuwane z płuc i trafia do jamy gębowej. Dno jamy gębowej się unosi, co powoduje wypchnięcie powietrza przez otwarte nozdrza na zewnątrz.

Układ krwionośny płazów

Płazy mają dwa obiegi krwi:

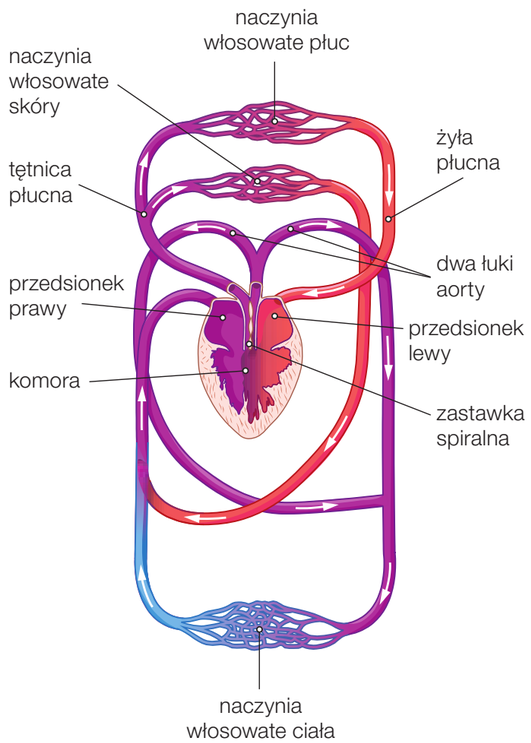
- **płucny** (mały), który zapewnia cyrkulację krwi między sercem a płucami i skórą,
- **obwodowy** (duży), w którym krew krąży między sercem a resztą narządów ciała.

Serce płazów jest zbudowane z dwóch przedsionków oraz z jednej komory (bez przegrody). W jego skład wchodzą również stożek tętniczy i zatoka żylna. Do **prawego przedsionka** napływa krew odtlenowana (wracająca z tkanek ciała) i krew utlenowana (docierająca z naczyń skórnych). Z kolei do **lewego przedsionka** napływa krew utlenowana (wracająca z płuc). Przepływ krwi z przedsionków do komory jest nierównomierny – najpierw krew z prawego przedsionka wypełnia zagłębienia w ścianie komory, a później krew z lewego przedsionka wypełnia centralną część komory. Dzięki temu mieszanie się krwi w komorze zostaje częściowo ograniczone. Krew z **komory**



Erytrocyty płazów mają owalny kształt i zawierają duże jądra komórkowe.

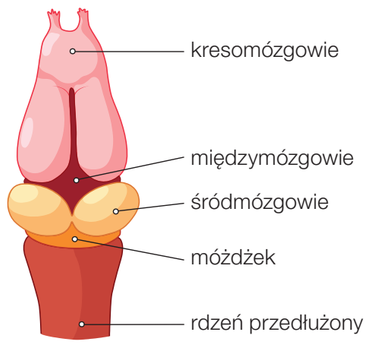
przepływa następnie do **stożka tętniczego**, który jest podzielony podłużną zastawką spiralną na dwa kanały. Jednym kanałem krew utlenowana (z centralnej części komory) wpływa do aorty, stanowiącej początek obiegu dużego, natomiast drugim kanałem krew odtlenowana (z zagłębień komory) wpływa do tętnicy płucnej, która prowadzi do płuc oraz skóry.



W układzie krwionośnym płazów występują dwa łuki aorty.

Układ nerwowy płazów

Mózgowie płazów, podobnie jak mózgowie ryb, składa się z pięciu ułożonych liniowo części. W mózgowiu występuje silnie rozwinięte i wydłużone kresomózgowie, które jest zbudowane z dwóch półkul mózgowych. Słabym rozwojem – w związku z małą ruchliwością i nieskomplikowanym sposobem lokomocji – odznacza się natomiast móżdżek.



Budowa mózgowia płazów.

Narządy zmysłów

Oczy płazów są zwykle dobrze wykształcone i mają zdolność akomodacji (→ s. 349). Są także zaopatrzone w powieki i gruczoły łzowe, które chronią gałki oczne przed urazami i wysychaniem.

Ucho większości płazów składa się z trzech części. Ucho zewnętrzne stanowi błona bębenkowa rozpięta na kostnym pierścieniu. W uchu środkowym znajduje się **strzemiączko** – kosteczka słuchowa, która przenosi drgania z błony bębenkowej do ucha wewnętrznego, gdzie znajdują się receptory słuchu. Ucho środkowe jest połączone z gardzielą za pomocą **trąbki słuchowej**, która wyrównuje ciśnienie po obu stronach błony bębenkowej, co chroni ją przed uszkodzeniem.

Narząd węchu znajduje się w jamach węchowych połączonych nozdrzami ze środowiskiem zewnętrznym. W podniebieniu znajduje się tzw. narząd Jacobsona [wym. jakobsona], który odbiera bodźce smakowo-węchowe. Ma on postać wgłębień, do których trafiają cząsteczki substancji chemicznych wprowadzonych do jamy gębowej przez język.

U niektórych gatunków żyjących w wodzie oraz u larw występuje **linia boczna** (→ s. 349).

Układ wydalniczy płazów

Narządami wydalniczymi płazów są **pranercza**. Mocz powstający w pranerczach spływa moczowodami do pęcherza moczowego, który



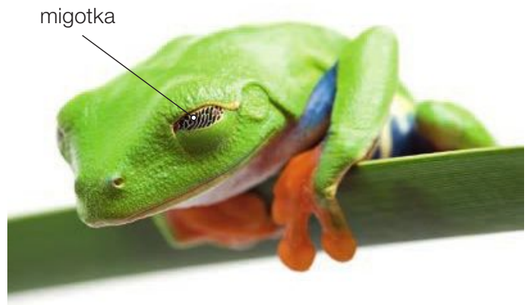
U gatunków z rodzaju *Ambystoma* występuje aksolotl – larwa zdolna do rozmnażania się. Zjawisko osiągania dojrzałości płciowej w stadium larwalnym nosi nazwę neotenii.

jest uchyłkiem kloaki. W razie potrzeby płazy mogą zwrotnie wchłaniać wodę z moczu zmagazynowanego w pęcherzu moczowym. Dorosłe osobniki wydalają głównie mocznik (są organizmami ureotelicznymi).

Rozmnażanie się i rozwój płazów

Płazy są z reguły zwierzętami rozdzielnopłciowymi. U większości gatunków występuje **dymorfizm płciowy**, zwłaszcza w okresie godowym.

Jaja płazów są otoczone galaretowatymi osłonkami, które wchłaniają wodę i zapewniają zarodkom odpowiednie warunki do rozwoju. Większość płazów przechodzi **rozwój złożony**. Występuje w nim **larwa**, która żyje w wodzie i oddycha skrzelami.



Migotka jest przezroczystą powieką, która chroni gałkę oczną przed uszkodzeniami i czyści powierzchnię oka z zanieczyszczeń.



Uścisk godowy (ampleksus) występuje u żab i ropuch. Ułatwia on samicy złożenie jaj (skrzeku), a także pozwala na ich skuteczne zapłodnienie przez samca.

Porównanie rozwoju różnych grup płazów

Płazy bezogonowe	Płazy ogoniaste	Płazy beznogie
• zapłodnienie zewnętrzne	• zapłodnienie wewnętrzne	• zapłodnienie wewnętrzne
• jaja (tzw. skrzek) są składane w wodzie w postaci galaretowatych pakietów i sznurów	• jaja są składane w wodzie, gdzie przyczepiają się do liści (np. u traszek), bądź też zarodki rozwijają się wewnątrz ciała samicy (np. u salamandry plamistej)	• jaja i larwy rozwijają się w jajowodach
• roślinożerne larwy (nazywane kijankami) nie są podobne do osobników dorosłych	• drapieżne larwy przypominają osobniki dorosłe	• larwy przypominają osobniki dorosłe

Cykl rozwojowy żaby trawnej

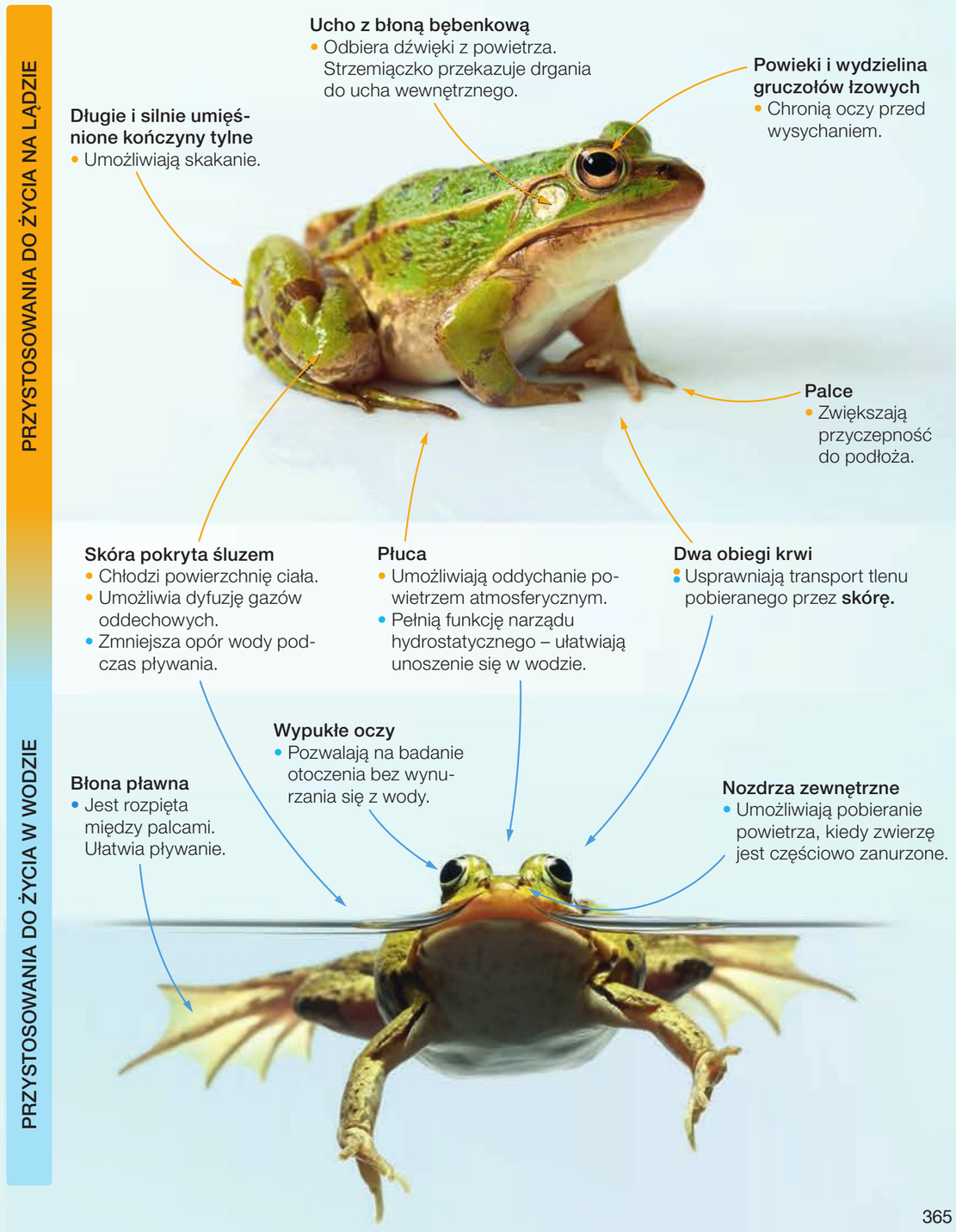
Cykl rozwojowy większości płazów bezogonowych przebiega podobnie jak u żaby trawnej.



Rozwój żaby trawnej.

Przystosowania płazów bezogonowych do życia w dwóch środowiskach

Płazy bezogonowe są przystosowane do życia zarówno w środowisku lądowym, jak i w środowisku wodnym.



Znaczenie płazów w przyrodzie i dla człowieka



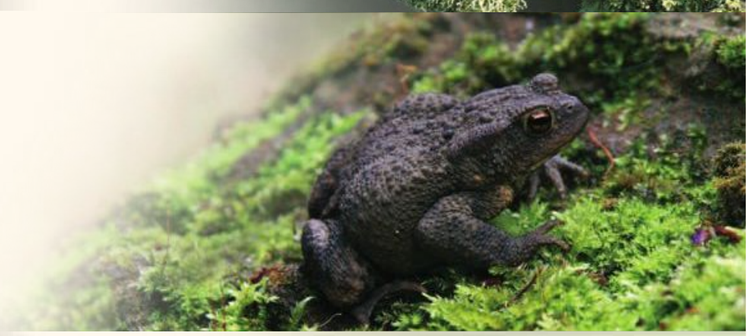
Źródło pożywienia

Płazy i ich larwy stanowią źródło pokarmu dla wielu bezkręgowców wodnych, ryb, gadów, ptaków i ssaków. Człowiek łowi i hoduje nieliczne gatunki w celach konsumpcyjnych.



Medycyna i kosmetologia

Trucizny niektórych płazów, m.in. ropuch, bada się pod kątem wykorzystania w medycynie i kosmetologii.



Ocena stanu środowiska

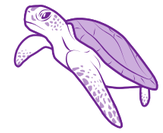
Traszki są bardzo wrażliwe na zanieczyszczenia wód, dlatego mogą pełnić funkcję bioindykatorów – ich obecność świadczy o wysokim stopniu czystości wody.



Polecenia kontrolne

1. Podaj cechy płazów, które umożliwiają im życie na lądzie, a także cechy, które umożliwiają im życie w wodzie.
2. Opisz sposoby wymiany gazowej dorosłych płazów.
3. Wyjaśnij, dlaczego zdecydowana większość płazów nie może przetrwać w suchym środowisku.
4. Opisz cykl rozwojowy płazów bezogonowych.

5.4. Gady – pierwsze owodniowce



Ważne w tym temacie!

- cechy charakterystyczne gadów

Gady to zwierzęta zmiennocieplne, które zamieszkują wszystkie kontynenty poza Antarktydą. Należą one do organizmów ciepłolubnych, dlatego najwięcej gatunków zasiedla strefę międzyzwrotnikową. Choć gady są pierwszą grupą kręgowców w pełni przystosowaną do środowiska lądowego, to liczne gatunki, m.in. krokodyle oraz niektóre żółwie i węże, wtórnie zaadaptowały się do środowiska wodnego lub prowadzą wodno-lądowy tryb życia.

Wśród współcześnie żyjących gadów wyróżnia się cztery rzędy: żółwie, krokodyle, sfenodonty (obecnie żyją tylko hatterie) oraz łuskonośne (są to przede wszystkim węże i jaszczurki).

Pokrycie ciała gadów

Ciało gadów jest pokryte grubą i suchą skórą, która – w odróżnieniu od skóry płazów – nie zawiera gruczołów śluzowych. Skóra gadów składa się z dwóch warstw: z naskórka i ze skóry właściwej.

Naskórek jest silnie zrogowaciały i tworzy liczne wytwory, m.in. łuski, pazury oraz listwy rogowe. Co jakiś czas u gadów zachodzi linienie, czyli złuszczanie martwego, zrogowaciałego naskórka. Naskórek jest zrzucany w całości w postaci wylinki (u węży) lub złuszcza się płatami (u jaszczurek).

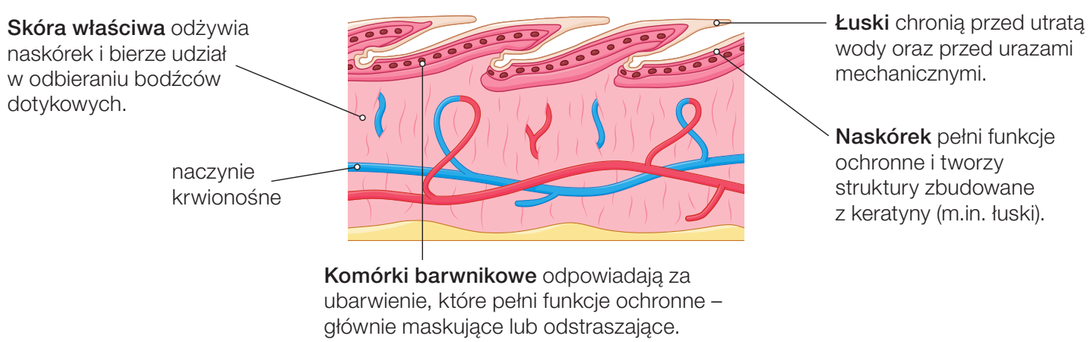
Skóra właściwa jest zbudowana z tkanki łącznej. Zawiera m.in. naczynia krwionośne, naczynia limfatyczne, nerwy oraz komórki barwnikowe.



Wąż w trakcie linienia.

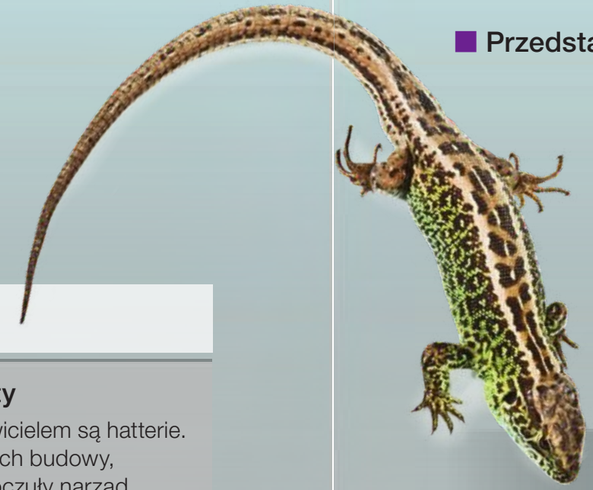
Budowa skóry gadów

Skóra gadów jest przystosowana do ochrony organizmu przed nadmierną utratą wody – to dlatego gady mogą żyć nawet w bardzo suchym środowisku.



Różnorodność gadów

Wśród gadów można wyróżnić cztery rzędy: żółwie, sfenodonty, krokodyle i łuskonośne. Gady są grupą parafiletyczną – gromada ta nie obejmuje bowiem wszystkich organizmów wywodzących się od wspólnego przodka (m.in. ptaków).



Gady

żółwie

- Ich ciało jest schowane w kostnym pancerzu, złożonym z tarcz kostnych pokrytych rogowymi płytkami.
- Nie mają zębów – ich ekwiwalentem są rogowe listwy znajdujące się w jamie gębowej.



sfenodonty

- Jedynym żyjącym przedstawicielem są hatterie.
- Mają wiele prymitywnych cech budowy, np. oko ciemieniowe (światłoczuły narząd położony z tyłu głowy).
- Są żywymi skamieniałościami – nie mają blisko spokrewnionych żyjących przodków.
- Są endemitami – występują tylko w Nowej Zelandii.
- Są reliktami – w dawnych epokach geologicznych zasięg ich występowania był znacznie większy niż dzisiaj.



krokodyle

- Prowadzą wodno-lądowy tryb życia – szybko pływają i sprawnie nurkują, lecz na lądzie poruszają się mniej efektywnie.
- Jako jedyne gady mają całkowitą przegrodę międzykomorową w sercu.



łuskonośne

- Niemal całą powierzchnię ich ciała pokrywają łuski (wytwór naskórka).
- Zdecydowana większość prowadzi lądowy tryb życia.
- Wyróżnia się wśród nich jaszczurki i węże.



Przedstawiciele gadów w Polsce



Jaszczurka żyworodna ma ciemniejsze ubarwienie niż jaszczurka zwinka. Jej głowa jest w niewielkim stopniu odgraniczona od tułowia. Jaszczurka ta zamieszkuje wilgotne lasy.

Jaszczurka zwinka osiąga do 20 cm długości. Jej głowa jest wyraźnie odgraniczona od tułowia. Jaszczurka zwinka żyje na łąkach lub leśnych polanach.



Padalec zwyczajny to jaszczurka beznoga. Od węży odróżniają ją m.in. brak tarczek na brzuchu, głowa węższa od tułowia oraz ruchoma powieka.

Żmija zygzakowata to jedyny jadowity wąż, którego można spotkać w Polsce. Charakteryzują go płaska, szeroka głowa w kształcie serca, pionowe źrenice i ciemny zygzak na grzbiecie (zdarzają się także osobniki jednolicie ubarwione).



Zaskroniec zwyczajny jest najpospolitszym wężem występującym w Polsce. Rzadko osiąga więcej niż metr długości. Można go rozpoznać po dwóch jasnych plamach z tyłu głowy. Żyje w lasach i na łąkach, zwykle blisko wody.





Żółw błotny to jedyny żyjący w Polsce rodzimy gatunek żółwia. Na lądzie jest powolny, za to doskonale pływa.



Gniewosz plamisty to niejadowity wąż występujący w Polsce. Żyje w suchych i nasłonecznionych miejscach. Został zaklasyfikowany jako gatunek zagrożony wyginięciem. Gdy jest zaniepokojony, to głośno syczy i próbuje kąsać.



Wąż Eskulapa jest gatunkiem poważnie zagrożonym wyginięciem na terenie Polski. Obecnie występuje jedynie w Bieszczadach, gdzie podejmuje się różne formy jego ochrony (m.in. założono rezerwat przyrody Krywe).

Układ szkieletowy gadów

Szkielet gadów jest zbudowany głównie z tkanki kostnej. Składają się na niego dwie części:

- szkielet osiowy,
- szkielet kończyn.

Wyjątkiem są węże i część jaszczurek, np. padalec, które nie mają kończyn.

Szkielet osiowy

Czaszka gadów jest masywna, skostniała i połączona z kręgosłupem za pomocą **jednego kłykcia potylicznego**. W czaszce występuje dobrze wyodrębniona kość kwadratowa, która łączy się z żuchwą za pomocą stawów.

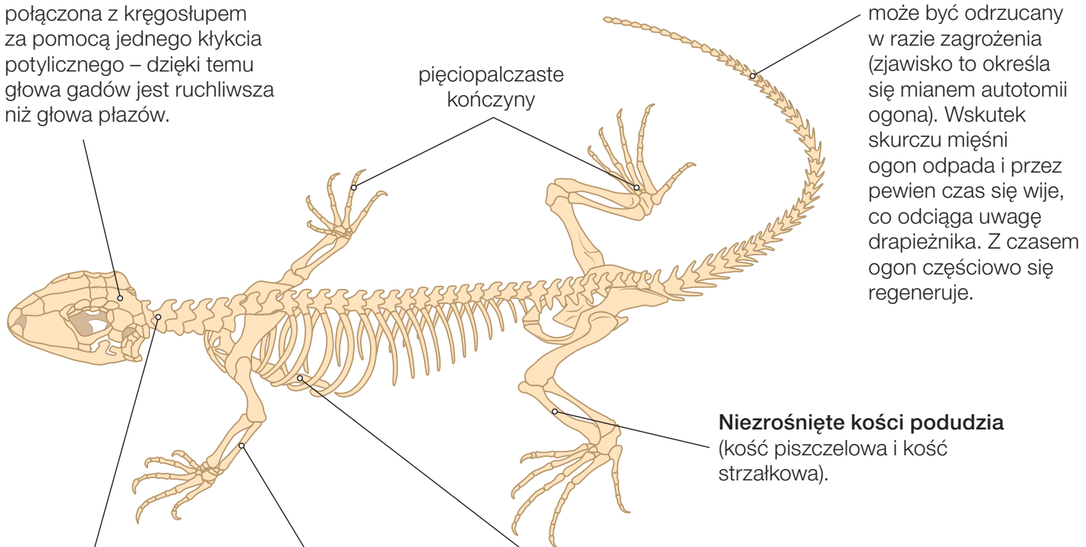
Kręgosłup gadów składa się z pięciu odcinków: szyjnego, piersiowego, lędźwiowego, krzyżowego i ogonowego. Do kręgów piersiowych przylegają dobrze rozwinięte żebra, które łączą się z mostkiem, tworząc **klatkę piersiową**. Wyjątkiem są np. węże, które ze względu na brak mostka nie mają klatki piersiowej.

Szkielet kończyn

Ciało gadów jest zawieszone na kończynach, które są częściowo podsunięte pod tułów. Taka budowa pozwala na szybkie poruszanie się, któremu zwykle towarzyszą boczne ruchy ciała. **Kończyny przednie** są osadzone na **obręczy barkowej**, a **kończyny tylne** – na **obręczy miednicowej**.



Węże potrafią połknąć ofiarę o rozmiarach większych niż szerokość swojej głowy. Jest to możliwe dzięki temu, że części żuchwy nie są zrośnięte, kości trzewioczaszki są luźno połączone, a żebra nie tworzą klatki piersiowej.

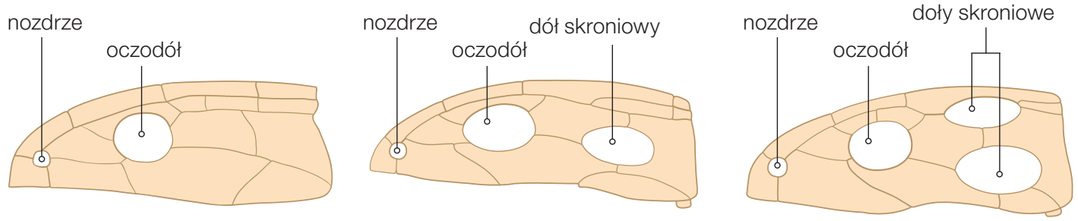


Budowa szkieletu jaszczurki.

Dowiedz się więcej

Typy czaszek u gadów

Czaszki poszczególnych grup gadów różnią się planem budowy.



Anapsydy mają czaszkę o najbardziej pierwotnym typie budowy – bez dołów skroniowych. Do tej grupy zalicza się m.in. żółwie.

Synapsydy mają czaszkę z jedną parą dołów skroniowych. Do tej grupy zalicza się wyłącznie gatunki kopalne, od których wywodzą się ssaki.

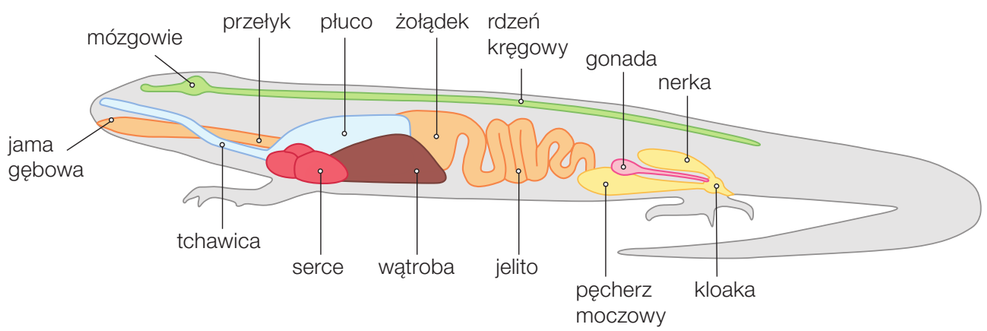
Diapsydy mają czaszkę z dwiema parami dołów skroniowych. Do tej grupy należą liczne gady kopalne oraz żyjące dziś krokodyle, sfenodonty i łuskonośne.

Układ pokarmowy gadów

Większość gadów to drapieżniki zjadające drobne zwierzęta. Jednak niektóre gatunki (głównie krokodyle) polują na znacznie większe od siebie ssaki, m.in. antylopy, bawoły i jelenie. Wśród gadów są też zwierzęta roślinożerne (np. znaczna część żółwi lądowych).

W jamie gębowej gadów znajdują się zęby służące do przytrzymywania lub rozrywania pokarmu (wyjątkiem są żółwie, które zamiast zębów mają listwy rogowe). U części węży i jaszczurek wykształciły się **zęby jadowe**, które zawierają ujścia gruczołów jadowych. Wytwarzany przez nie jad jest toksyczną wydzieliną, która służy do obrony lub do ataku. Na dnie jamy gębowej znajduje się dobrze umięśniony język, który pełni różne funkcje – w zależności od gatunku. Język węży oraz większości jaszczurek jest cienki i rozwidlony na końcu. Pełni on funkcję m.in. narządu dotyku, ponieważ znajdują się na nim liczne mechanoreceptory. U kameleonów długi, lepki i rozszerzony na końcu język umożliwia chwytanie owadów.

Pokarm z jamy gębowej trafia do **przełyku**, a następnie – do umięśnionego **żołądka**, z którym jest połączone **jelito cienkie**. Żołądek większości gadów jest jednokomorowy. U krokodyli żołądek dzieli się na dwie części. W przedniej części (gruczołowej) odbywa się enzymatyczne trawienie pokarmu. W tylnej części (silnie umięśnionej) krokodyle przechowują połknięte uprzednio kamienie, za pomocą których rozcierają pokarm. Do przedniego odcinka jelita cienkiego – **dwunastnicy** – uchodzą przewody wyprowadzające **trzustki** i **wątroby**. U niektórych gadów na granicy jelita cienkiego i jelita grubego znajduje się **jelito ślepe**. **Jelito grube** kończy się **kloaką**.



Budowa wewnętrzna gadów na przykładzie jaszczurki.

Układ oddechowy gadów

Wymiana gazowa u gadów zachodzi za pomocą płuc. Ze względu na obecność silnie zrogowaciałego naskórka i jego wytworów gady – w odróżnieniu od płazów – nie prowadzą wymiany gazowej przez skórę.

Powietrze dociera do płuc przez drogi oddechowe. Najpierw przez nozdrza zewnętrzne dostaje się do **jamy nosowej**, oddzielonej od jamy gębowej nie do końca wykształconym podniebieniem. Następnie przez nozdrza wewnętrzne trafia ono do **jamy gębowej**. Z jamy gębowej powietrze dociera do **gardzieli**, a z niej – do **krtani**. Stamtąd przemieszcza się do **tchawicy** i do **oskrzeli głównych**, które wnikają do płuc.

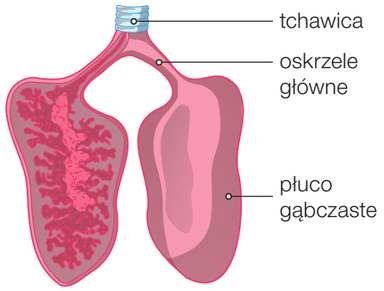
Płuca większości gadów są narządami parzystymi – tylko u węży występuje jedno płuco (drugie uległo uwstecznieniu). Płuca gadów mają budowę gąbczastą, a ich wentylacja opiera się na pracy mięśni klatki piersiowej. Taki mechanizm wentylacji jest bardziej efektywny niż mechanizm zachodzący u płazów (→ s. 361). Podczas wdechów i wydechów klatka piersiowa gadów zmienia swoją objętość, wskutek czego zmienia się też objętość płuc. Żółwie mają nieruchomą klatkę piersiową – wentylacja płuc jest u nich możliwa dzięki obecności specjalnego mięśnia, który działa podobnie do przepony (mięśnia oddechowego ssaków).

Układ krwionośny gadów

Układ krwionośny gadów składa się z **dwóch krwiobiegów**:

- **płucnego** (małego),
- **obwodowego** (dużego).

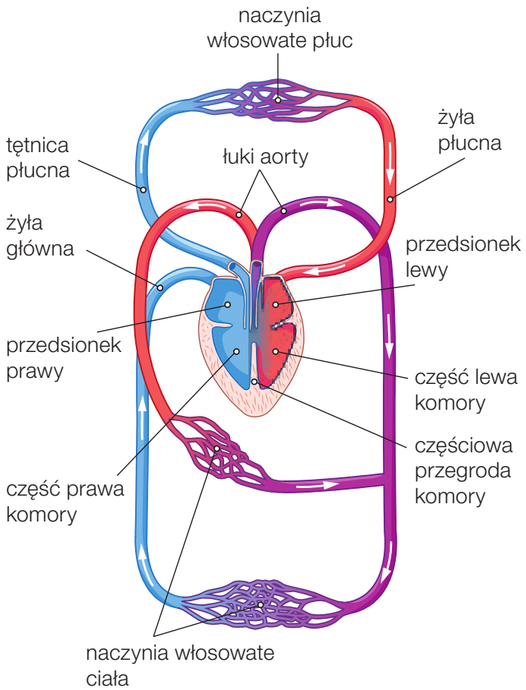
Serce gadów jest zbudowane z dwóch przedsionków oraz z komory, która zawiera częściową przegrodę. Podczas skurczu komory przegroda unosi się do góry i dzieli komorę na dwie części (prawą i lewą). Ruch ten zapobiega mieszaniu się krwi żylnej z krwią tętniczą, a w efekcie – zwiększa wydajność wymiany gazowej. Jedynymi gadami, które mają całkowitą przegrodę w komorze serca, są krokodyle. Może to świadczyć o tym, że przodek krokodyli był stałocieplny.



Budowa płuc gadów.



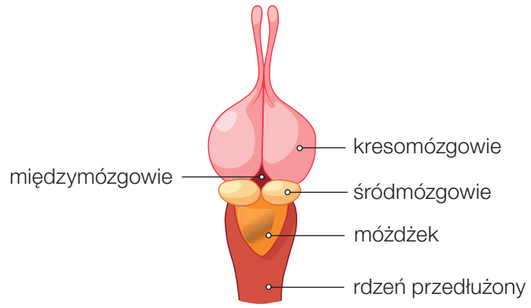
Krokodyle mają tzw. podniebienie wtórne, które oddziela jamę nosową od jamy gębowej. Tak zbudowane podniebienie umożliwia oddychanie przez nos nawet wtedy, gdy jama gębowa jest wypełniona wodą lub gdy znajduje się w niej duża ofiara.



W układzie krwionośnym gadów są dwa łuki aorty.

Układ nerwowy gadów

Gady mają dobrze rozwinięte kresomózgowie oraz móżdżek. **Kresomózgowie** składa się z dwóch wyraźnie oddzielonych od siebie półkul mózgowych. Są one – inaczej niż u ryb i płazów – pokryte słabo wykształconą korą mózgową. Kresomózgowie całkowicie przykrywa międzymózgowie – to dlatego części mózgowia nie są ułożone liniowo, jedna za drugą. Dzięki takiej budowie zachodzi większa integracja między częściami mózgowia, co zwiększa koordynację czynności życiowych. **Móżdżek** jest zwykle niewielki i dobrze rozwinięty, a **rdzeń przedłużony**, w związku ze zwiększoną ruchomością głowy i unoszeniem jej ponad tułów, tworzy wygięcie w kształcie litery S.



Budowa mózgowia gadów.

Narządy zmysłów

U większości gadów najlepiej rozwiniętym zmysłem jest wzrok. Oczy są zaopatrzone w trzy powieki: górną, dolną i migawkową (u węży powieki są przezroczyste i zrośnięte ze sobą). Podczas akomodacji oka soczewka nie tylko przesuwa się względem siatkówki, lecz także zmienia swój kształt. Dzięki temu oczy gadów są lepiej przystosowane do widzenia z różnych odległości niż oczy płazów.

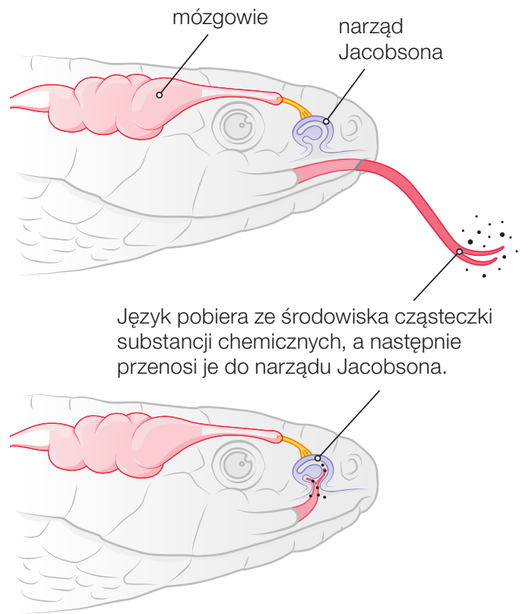
Narząd słuchu i **równowagi** większości gadów jest zbudowany z **ucha wewnętrznego** i **ucha środkowego**. W uchu środkowym znajduje się zwykle strzemiączko – wydłużona, dwuczęściowa kosteczka słuchowa. Ucho środkowe jest z reguły przykryte błoną bębenkową. Węże nie mają błony bębenkowej, przez co są całkowicie głuche (potrafią jednak doskonale wyczuwać drgania podłoża).



Głowa grzechotnika z widoczną jamką policzkową.

Specyficznym narządem zmysłu wielu węży są jamki policzkowe. Zawierają one termoreceptory, które są wrażliwe na promieniowanie cieplne. Jamki policzkowe pozwalają na precyzyjne lokalizowanie zwierząt stałocieplnych, stanowiących główny pokarm węży.

Gady mają dobrze rozwinięty zmysł **węchu**. Bodźce węchowe są odbierane przez chemoreceptory zlokalizowane w górnej części jamy nosowej. Oprócz tego u wielu gadów funkcjonuje tzw. **narząd Jacobsona**. Znajduje się on w jamie gębowej i reaguje na bodźce chemiczne.



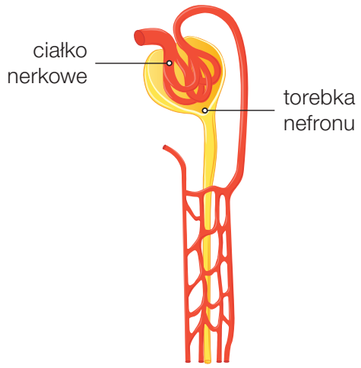
Narząd Jacobsona służy do odbierania bodźców zapachowych i smakowych z otoczenia.

Układ wydalniczy gadów

Narządem wydalniczym gadów są **zanercza** (nerki ostateczne). Od nerek odchodzą moczowody, którymi mocz spływa do **kloaki**. U żółwi i jaszczurek występuje **pęcherz moczowy**.

Mocz większości gadów jest silnie zagęszczony i ma półpłynną konsystencję. U wielu gatunków mocz zawiera głównie kwas moczowy (zwierzęta urikoteliczne). Kwas moczowy jest trudno rozpuszczalny w wodzie, dlatego wytrąca się w formie kryształów. Jego synteza jest najkosztowniejsza energetycznie (w porównaniu z amoniakiem i z mocznikiem), pozwala jednak na wydalanie wraz z moczem niewielkiej ilości wody. To z kolei umożliwia prowadzenie oszczędnej gospodarki wodnej i przetrwanie w bardzo suchym środowisku, np. na pustyni.

Gady, które żyją w wodzie (m.in. krokodyle, niektóre gatunki węży i żółwi), wydalają rozcieńczony mocz o dużej zawartości amoniaku (zwierzęta amonioteliczne) lub mocznika (zwierzęta ureoteliczne). Proporcja produktów azotowej przemiany materii zależy od środowiska życia danego gatunku.



W zanerczach gadów występują kłębuszki nerkowe, brak w nich natomiast pętli nefronu. To dlatego wchłanianie zwrotne wody (resorpcja) i zagęszczenie moczu zachodzą w kloace.

Rozmnażanie się i rozwój gadów

Gady są zwierzętami rozdzielnopłciowymi. Występuje u nich zapłodnienie wewnętrzne (samce gadów – z wyjątkiem hatterii – mają narząd kopulacyjny). Wiele gatunków cechuje dymorfizm płciowy.

Gady to pierwsze kręgowce, których rozwój odbywa się całkowicie w środowisku lądowym – samice większości gatunków składają jaja na lądzie. Jest to możliwe dzięki występowaniu **błon płodowych** (→ s. 336). Osłony jaj są zwykle miękkie i skórzaste (np. jaja węży i większości jaszczurek), rzadziej – twarde i wapienne (np. jaja krokodyli i część żółwi). U niektórych gatunków (m.in. u jaszczurki żyworodnej czy żmii zygzakowatej) cały rozwój zapłodnionego jaja zachodzi w jajowodach.

Gady przechodzą **rozwój prosty** (nie występuje u nich stadium larwalne). Młode większości gatunków nie wymagają opieki. Do wyjątków należą m.in. krokodyle, które opiekują się zarówno jajami, jak i potomstwem.



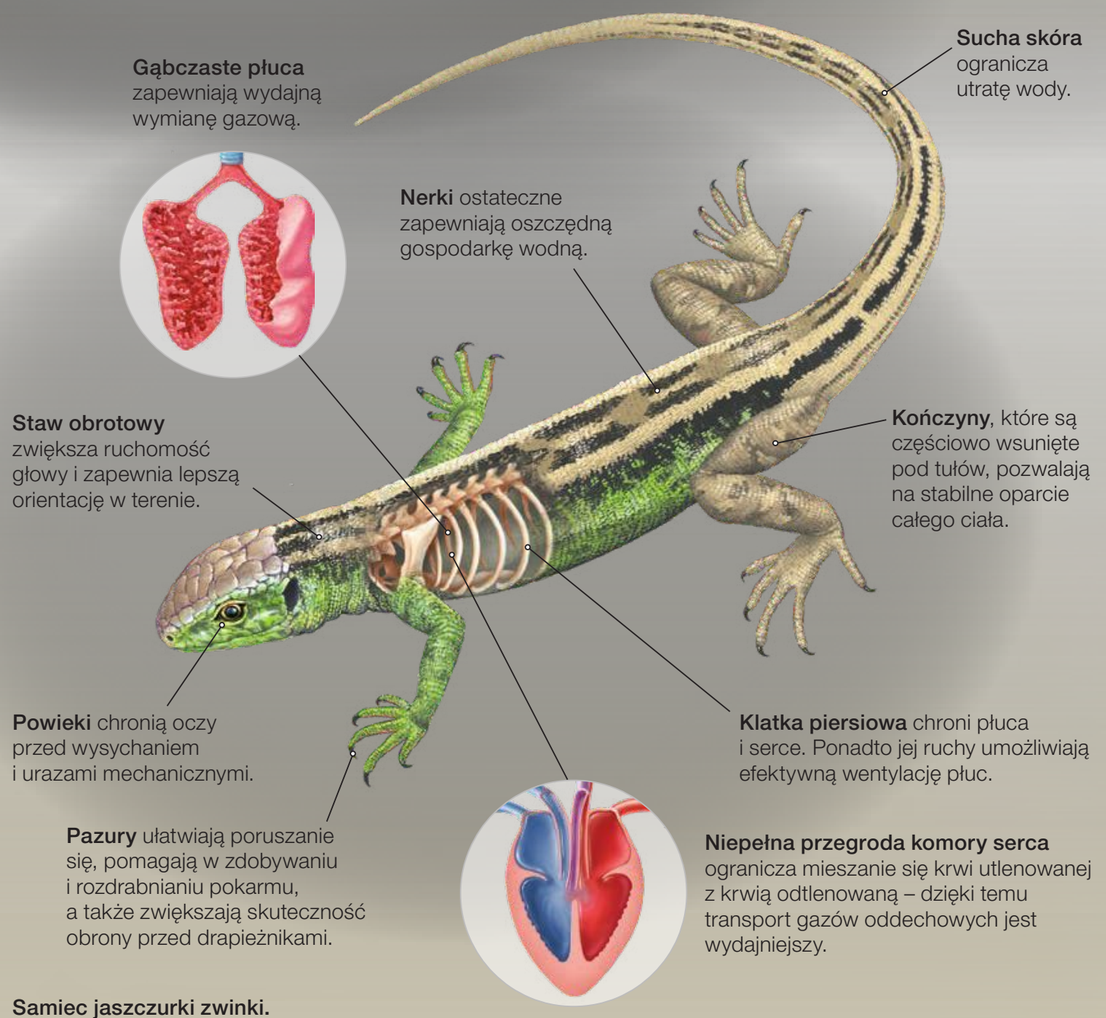
U jaszczurki żyworodnej rozwój zapłodnionych jaj odbywa się w jajowodach. Samice wygrzewają się na słońcu, aby zapewnić zarodkom odpowiednią temperaturę do rozwoju.



Samica pytona birmańskiego chroni jaja splotami swojego ciała. W ten sposób zapewnia im także odpowiednią temperaturę do rozwoju.

Przystosowania gadów do życia na lądzie

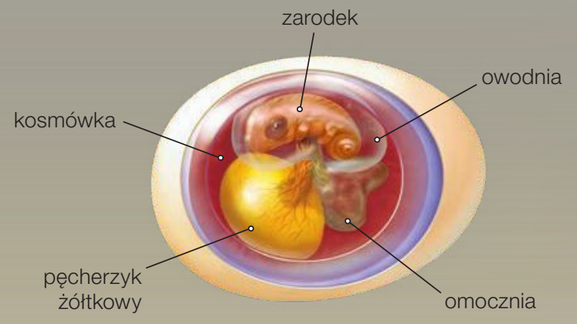
Gady to pierwsza grupa kręgowców, która w pełni przystosowała się do życia i rozmnażania w środowisku lądowym.



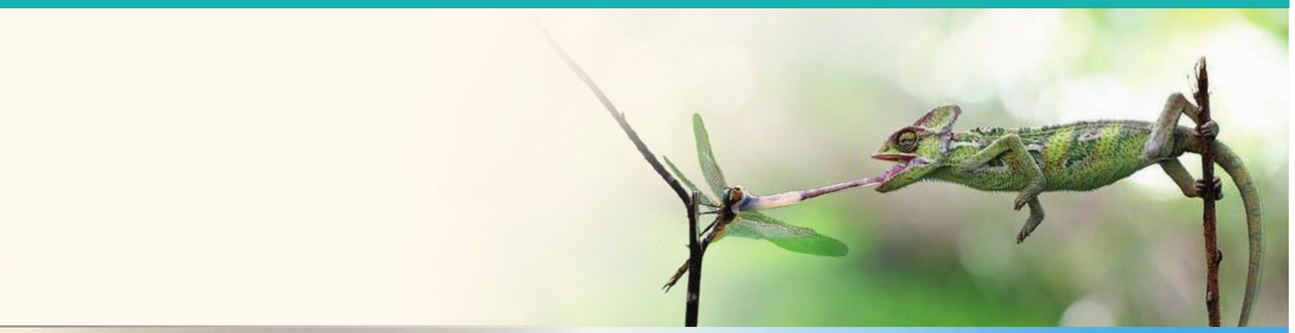
Samiec jaszczurki zwinki.

Błony płodowe

Wykształcenie błon płodowych jest jedną z najważniejszych adaptacji, które pozwoliły gadom na opanowanie środowiska lądowego. Zarodki owodniowców wytwarzają cztery błony płodowe: pęcherzyk żółtkowy, owodnię, omocznię i kosmówkę (→ s. 336).



Znaczenie gadów w przyrodzie i dla człowieka



Źródło pokarmu

Gady stanowią ważny składnik pożywienia innych zwierząt. Ludzie spożywają mięso i jaja węży, krokodyli oraz żółwi.



Produkcja galanterii skórzanej

Zdarza się, że skóra węży i krokodyli służy do wyrobu galanterii (m.in. torebek, portfeli i butów). Wiąże się to z częstymi polowaniami na te zwierzęta, co skutkuje spadkiem liczebności ich populacji i może doprowadzić do ich wyginięcia.



Medycyna

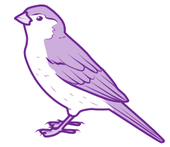
Niektóre jadowite gatunki gadów stanowią zagrożenie dla zdrowia i życia człowieka. Jad węży służy m.in. do produkcji surowic, które są podawane w przypadku ukąszeń, a także do produkcji leków przeciwbólowych i przeciwzapalnych.



Polecenia kontrolne

1. Podaj cechy gadów stanowiące przystosowanie do życia na lądzie.
2. Wykaż związek między budową skóry gadów a środowiskiem ich życia.
3. Określ znaczenie błon płodowych w rozwoju gadów. W odpowiedzi odnieś się do funkcji każdej z nich.
4. Wyjaśnij, jakie znaczenie dla gadów miało powstanie klatki piersiowej.
5. Wyjaśnij, jakie jest znaczenie częściowej przegrody w komorze serca gadów.

5.5. Ptaki – latające zwierzęta pokryte piórami



Ważne w tym temacie!

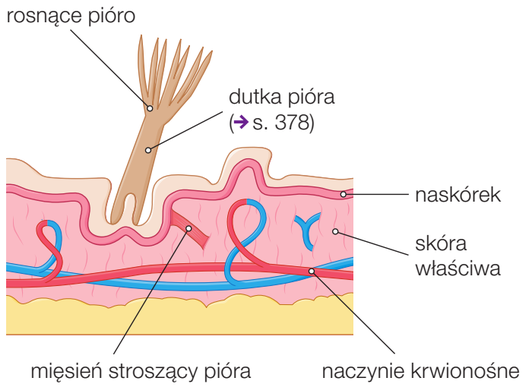
- cechy charakterystyczne ptaków

Ptaki to zwierzęta **stałocieplne** (→ s. 337). Oznacza to, że temperatura ich ciała (38–44°C) jest niezależna od temperatury otoczenia – dzięki temu ptaki mogą żyć we wszystkich strefach klimatycznych i w prawie wszystkich typach środowisk. Większość ptaków lata, choć istnieją też gatunki nielotne (→ s. 387).

Pokrycie ciała ptaków

Ciało ptaków jest pokryte cienką skórą, która składa się z dwóch warstw – z naskórka i ze skóry właściwej. Wytworami naskórka są pióra, łuski, pazury i dziób.

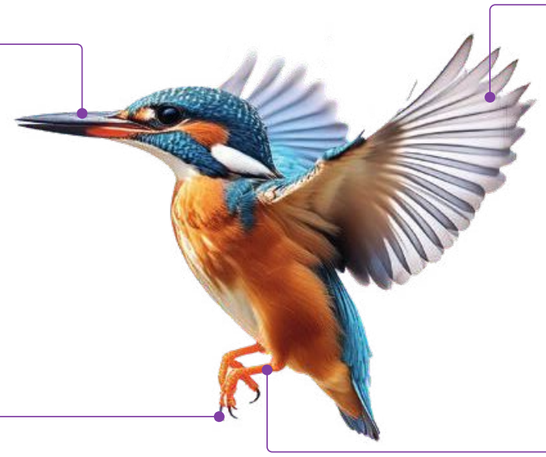
Skóra ptaków jest pozbawiona gruczołów – wyjątek stanowi **gruczoł kuprowy** (występuje u większości gatunków). Gruczoł kuprowy znajduje się u nasady ogona – wytwarza on lipidową wydzielinę, którą ptaki rozprowadzają na piórach za pomocą dzioba. Wydzielina natłuszcza pióra i zabezpiecza je przed namakaniem.



Budowa skóry ptaków.

Dziób
- służy do zdobywania pożywienia
- pełni funkcje obronne
- służy do pielęgnacji piór
- zmniejsza opór powietrza podczas lotu

Pióra
- tworzą powierzchnie lotne
- pokrywają ciało i pełnią funkcje ochronne (→ s. 378)
- biorą udział w termoregulacji
- są okresowo wymieniane podczas procesu pierzenia



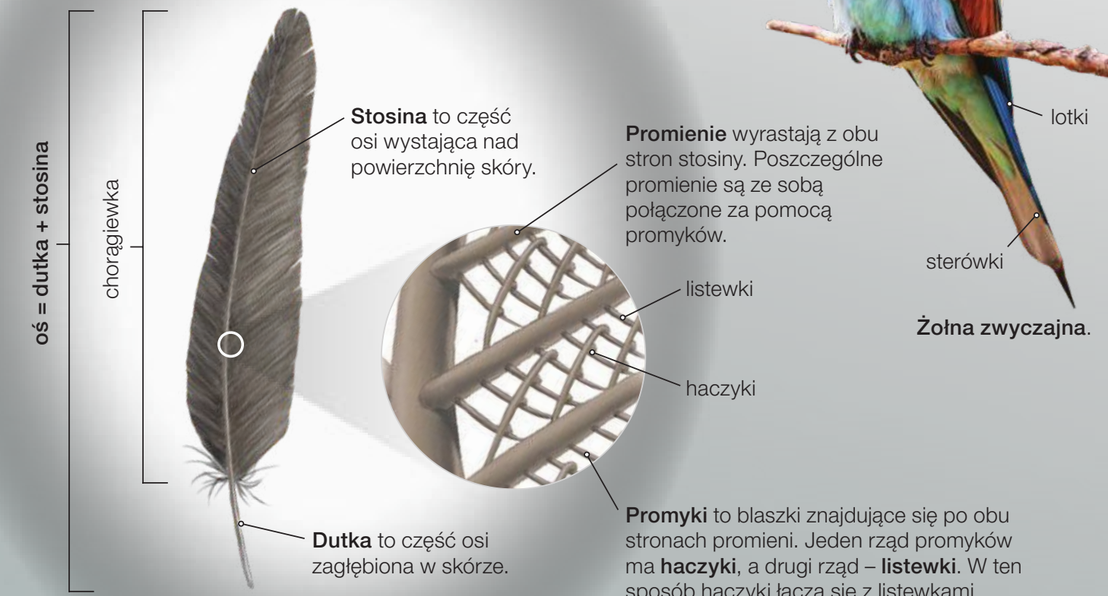
Pazury
- znajdują się na zakończeniu palców kończyn tylnych
- ułatwiają chodzenie, grzebanie w ziemi i chwytanie

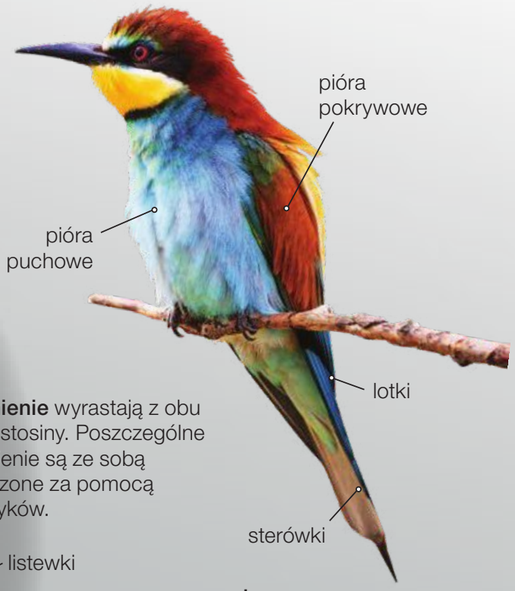
Łuski
- u większości gatunków pokrywają stopy (→ s. 379)
- chronią m.in. przed urazami mechanicznymi i utratą wody

Wytwory naskórka ptaków.

Budowa i rodzaje piór

Pióra ptaków składają się z osi i z chorągiewki. W budowie osi wyróżnia się dutkę i stosinę, a w budowie chorągiewki – promienie i promyki.





Żołna zwyczajna.

Budowa piór na przykładzie lotki.

PIÓRA PTAKÓW

Pióra konturowe

lotki
- są osadzone na kościach skrzydeł
- tworzą powierzchnie lotne



sterówki
- są osadzone na kości ogonowej
- umożliwiają wykonywanie manewrów w powietrzu
- podczas lądowania pełnią funkcję hamulca



pióra pokrywowe
- okrywają ciało i nadają mu opływowy kształt
- chronią m.in. przed urazami i utratą ciepła



Pióra puchowe
- charakteryzują się zredukowaną stosiną i brakiem haczyków w chorągiewce
- pełnią funkcję termoizolacyjną

Układ szkieletowy ptaków

Szkielet większości ptaków jest przystosowany do lotu (→ s. 389). Występują w nim **kości pneumatyczne** (m.in. obojczyki, kości ramienne, mostek i kości krucze), które zawierają jamy wypełnione powietrzem. Dzięki temu szkielet ptaków jest niezwykle lekki.

Szkielet osiowy

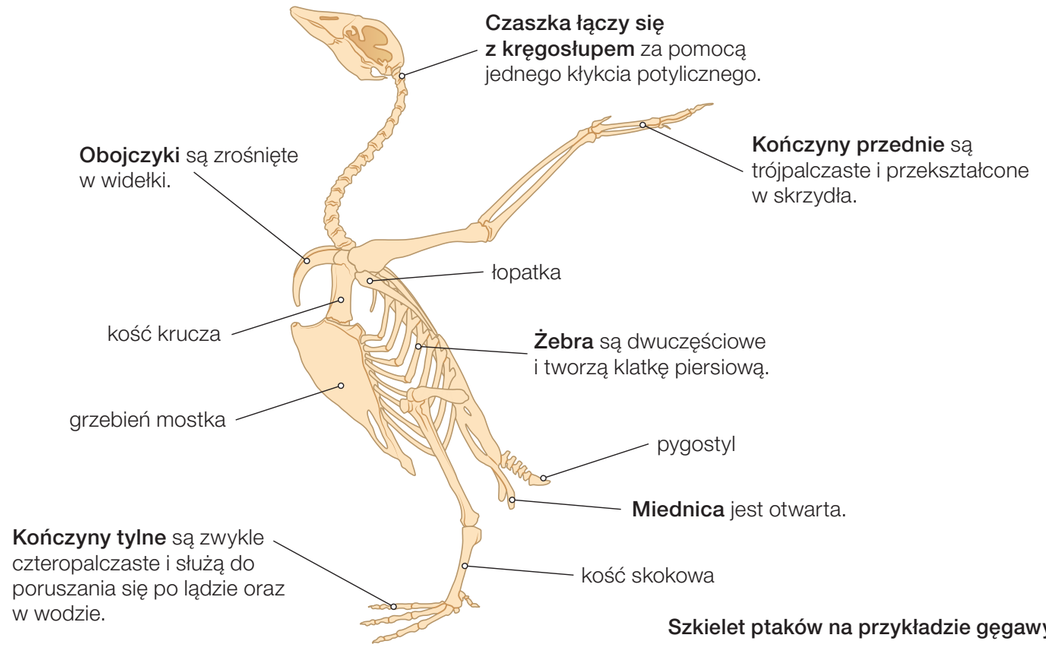
Czaszka ptaków jest zbudowana z mózgoczaszki i trzewioczaszki. Kości mózgoczaszki są zrośnięte. Częścią trzewioczaszki jest szkielet dzioba. Tworzą go szczęka oraz żuchwa, które nie mają zębów, co zmniejsza ciężar głowy. Czaszka łączy się z kręgosłupem za pomocą **jednego kłykcia potylicznego**.

W **kręgosłupie** ptaków wyróżnia się cztery odcinki: szyjny, piersiowy, lędźwiowo-krzyżowy i ogonowy. Najdłuższy i najbardziej ruchliwy jest **odcinek szyjny** (jego dwa pierwsze kręgi to dźwigacz i obrotnik). W **odcinku piersiowym** większość kręgów zrasta się w jedną kość, która wraz z żebrami i mostkiem tworzy szkielet **klatki piersiowej**. Żebra składają się z dwóch części: kręgowej i mostkowej, które ruchomo łączą się ze sobą oraz z mostkiem – taka budowa sprawia, że klatka piersiowa może zmieniać objętość podczas wentylacji płuc (→ s. 381). Mostek ptaków latających i pingwinów ma grzebień kostny, do którego są przyczepione mięśnie piersiowe poruszające skrzydłami. Kręgi **odcinka lędźwiowo-krzyżowego** są zrośnięte, co zwiększa sztywność ciała podczas lotu. W **odcinku ogonowym** cztery ostatnie kręgi zrastają się w jedną kość – **pygostyl** – na której są osadzone sterówki.

Szkielet obręczy i kończyn

Obręcz barkowa ptaków składa się z parzystych łopatek i obojczyków (zrośniętych w widełki), a także z kości kruczych, które łączą obręcz z mostkiem. Trójpalczaste **kończyny przednie** są przekształcone w skrzydła.

Miednicę ptaków tworzą kości biodrowe (zrastają się one z lędźwiowo-krzyżowym odcinkiem kręgosłupa, dzięki czemu stanowią silną podporę dla ciała), kości kulszowe i kości łonowe. **Miednica jest otwarta od spodu** – kości łonowe nie są zrośnięte, co stanowi przystosowanie do znoszenia dużych jaj o twardych skorupach. **Kończyny tylne** są czteropalczaste: trzy palce są zwykle skierowane do przodu, a jeden palec – do tyłu. Tak zbudowane kończyny zapewniają stabilizację ciała podczas chodzenia.



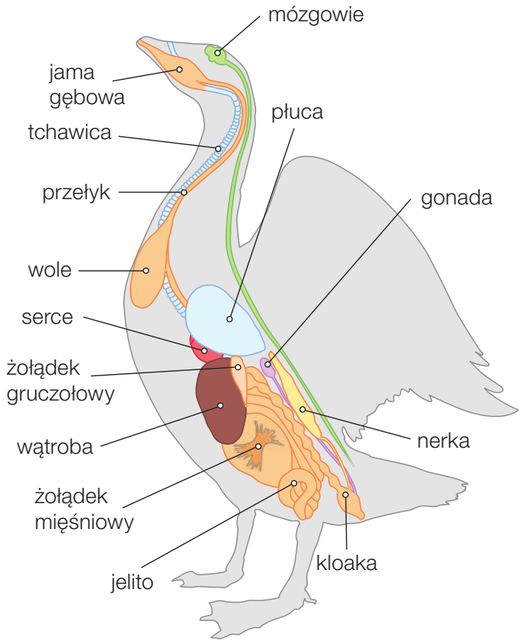
Szkielet ptaków na przykładzie gęgawy.

Układ pokarmowy ptaków

Układ pokarmowy rozpoczyna się **jamą gębową**, do której zwykle uchodzą przewody gruczołów ślinowych. Na dnie jamy gębowej znajduje się umięśniony język. Z jamy gębowej pokarm przesuwa się do krótkiej **gardzieli**, a następnie – do **przełyku**. U niektórych ptaków górna część przełyku rozszerza się w **wole**. Wole służy do przechowywania pożywienia (np. u pelikanów), rozmiękczania pokarmu (np. u kur) lub wytwarzania ptasiego mleczka – wydzieliny służącej do karmienia piskląt (np. u gołębi). Następnie pokarm trafia do **żołądka**. Żołądek większości ptaków dzieli się na:

- **żołądek gruczołowy**, w którym zachodzi enzymatyczny rozkład pokarmu,
- **żołądek mięśniowy**, w którym odbywa się mechaniczna obróbka pokarmu (dzięki skurczom mięśni ściany żołądka i poruszaniu połkniętymi wcześniej kamieniami).

Z żołądka pokarm dostaje się do **jelita**. Ptaki roślinożerne mają dłuższe jelito od ptaków mięsożernych, ponieważ pokarm roślinny jest trudny do strawienia. Przewód pokarmowy kończy się **kloaką**.



Budowa wewnętrzna ptaków na przykładzie gęgawy.

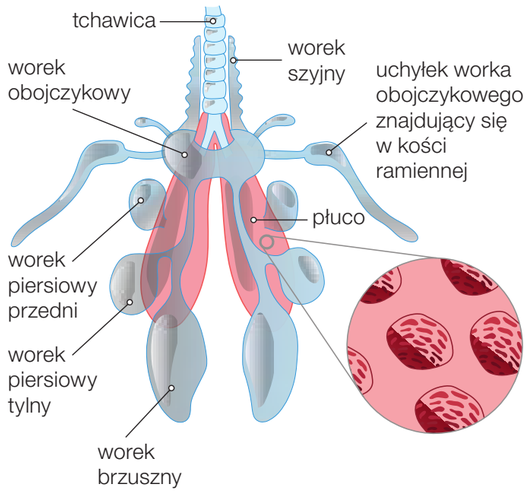
Układ oddechowy ptaków

Układ oddechowy składa się z dróg oddechowych, rurkowatych płuc oraz worków powietrznych.

Drogi oddechowe są zbudowane z jamy nosowej, jamy gębowej, gardzieli, krtani, tchawicy i oskrzeli. Górna część tchawicy łączy się z krtanią górną. W miejscu, w którym tchawica rozgałęzia się na dwa oskrzela główne, powstaje **krtań dolna**, pełniąca funkcję narządu głosu. Oskrzela główne wnikają do płuc, gdzie rozgałęziają się i tworzą system rurek przeplatających się z włosowatymi naczyniami krwionośnymi. Płuca ptaków są sztywne i nie zmieniają objętości podczas wentylacji.

Wentylację płuc umożliwiają cienkościenne **worki powietrzne**. Worki te:

- magazynują powietrze,
- zmniejszają masę ptaka (worki wnikają do wnętrza kości pneumatycznych),
- chronią narządy jamy brzusznej przed urazami mechanicznymi,
- uczestniczą w termoregulacji (parowanie wody z powierzchni worków powietrznych chłodzi organizm).

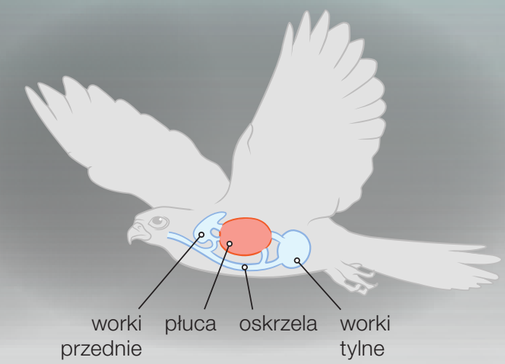


Rurki widoczne na przekroju poprzecznym płuc umożliwiają jednokierunkowy przepływ powietrza (od tyłu do przodu).

Układ oddechowy ptaka.

Wentylacja płuc u ptaków

Ptaki ze względu na stałocieplność i zdolność lotu mają wysokie tempo przemian metabolicznych. Aby stale je utrzymywać, zwierzęta te wykształciły liczne przystosowania, które zwiększają efektywność wentylacji płuc i wymiany gazowej.

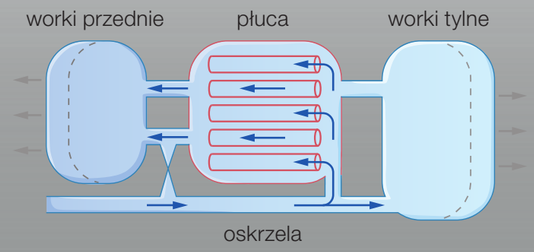


Płuca ptaków są połączone z workami powietrznymi.

Podwójne oddychanie

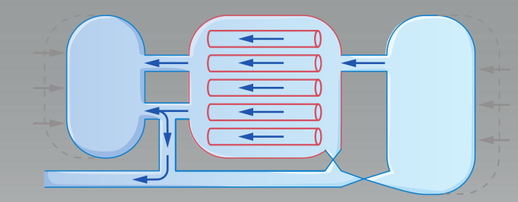
Podwójne oddychanie polega na przepływie świeżego powietrza przez płuca zarówno podczas wdechu, jak i podczas wydechu.

Wdech



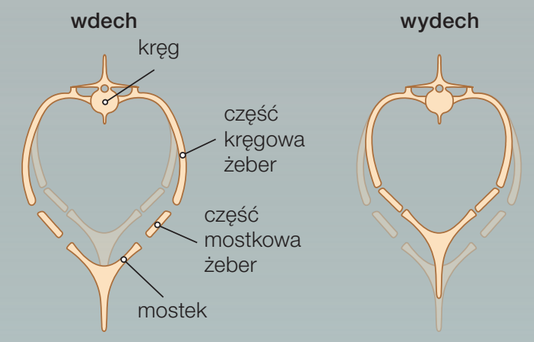
1. Droga z oskrzeli do worków przednich jest zamknięta.
2. Część świeżego powietrza przepływa do worków tylnych, a pozostała część przepływa przez płuca.
3. Zużyte powietrze przepływa z płuc do worków przednich.
4. Pod koniec wdechu worki powietrzne tylne wypełnia świeże powietrze, a worki powietrzne przednie wypełnia zużyte powietrze.

Wydech



1. Droga z oskrzeli do worków przednich jest otwarta.
2. Worki powietrzne tylne i worki powietrzne przednie się opróżniają.
3. Świeże powietrze przepływa z worków tylnych, przez płuca, do worków przednich.
4. Zużyte powietrze z worków przednich jest usuwane na zewnątrz.

Wentylacja płuc w trakcie spoczynku

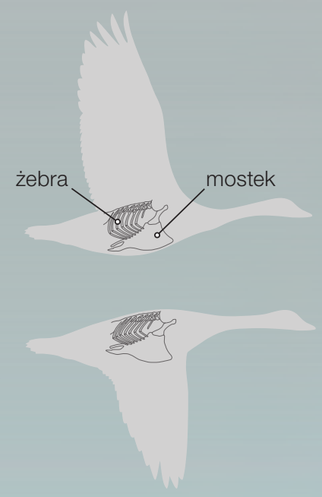


Wentylacja płuc podczas spoczynku odbywa się dzięki ruchom mięśni międzyżebrowych. Skurcz mięśni zwiększa kąt między częścią kręgową a częścią mostkową żeber. To z kolei zwiększa objętość klatki piersiowej i sprawia, że powietrze przepływa do płuc.

Wentylacja płuc w trakcie lotu

Ruch skrzydeł w górę skutkuje uniesieniem się kręgosłupa względem mostka. W ten sposób zwiększa się pojemność worków powietrznych – następuje **wdech**.

Ruch skrzydeł w dół sprawia, że kręgosłup zbliża się do mostka. Tym samym zmniejsza się objętość klatki piersiowej i worków powietrznych – następuje **wydech**.



Przystosowania ptaków do różnych sposobów odżywiania się

W toku ewolucji ptaki wykształciły szereg przystosowań umożliwiających odżywianie się różnymi rodzajami pokarmu.

Ptaki drapieżne

Uszatka błotna poluje na gryzonie.

Przystosowania uszatki błotnej do drapieżnictwa:
- ostre szpony i zakrzywiony dziób – chwytanie i zabijanie ofiar,
- wachlarzowato ułożone pióra wokół oczu (szlara) – skupianie fal dźwiękowych,
- pióra pokryte puszkiem – bezszelestny lot,
- zwracanie wypluwek – usuwanie niestrawionych części ofiar (sierść, kości).

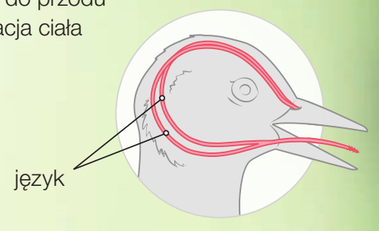


Wypluwka sowy.

Ptaki owadożerne

Dzięcioł duży wyspecjalizował się w wyciąganiu owadów spod kory drzew.

Przystosowania dzięcioła dużego do owadożerności:
- mocny, ostro zakończony dziób – kucie w drewnie,
- w kończynie tylnej dwa palce skierowane do przodu i dwa do tyłu, sztywne sterówki – stabilizacja ciała na pionowym pniu,
- długi język owinięty wokół czaszki – chwytanie ofiar.



Ptaki wodno-błotne odżywiające się bezkręgowcami

Kulik wielki żeruje na terenach podmokłych.

Przystosowania kulika wielkiego do sondowania podmokłego podłoża:
- długi i zakrzywiony dziób – chwytanie bezkręgowców znajdujących się głęboko w podłożu,
- unerwiona i ruchoma końcówka dzioba – wyczuwanie ruchów i chwytanie ofiar,
- długie kończyny tylne z wydłużonymi palcami – brodzenie w płytkiej wodzie i błocie.

Ptaki odżywiające się nasionami

Grubodziób to przedstawiciel ptaków roślinożernych z grupy ziarnojadów.

Przystosowania grubodzioba do odżywiania się nasionami:
- masywny dziób z rowkami i listewkami we wnętrzu – przytrzymanie i rozgniatanie nasion,
- silne mięśnie szczęki i żuchwy – wywieranie nacisku na łupinę nasienną,
- modyfikacja budowy czaszki – umożliwienie przyczepu dużych mięśni szczękowych.

Ptaki odcedzające pokarm z wody

Krzyżówka w poszukiwaniu pożywienia często zanurza przednią część ciała w wodzie.

Przystosowania krzyżówki do odfiltrowywania pokarmu z wody:
- szeroki i płaski dziób zaopatrzony w rogowe listewki – odcedzanie pokarmu z wody,
- gęste upierzenie z grubą warstwą puchową – ochrona przed wychłodzeniem,
- natłuszczanie piór wydzieliną gruczołu kuprowego – ochrona przez namakaniem,
- błona pławna między palcami kończyn tylnych – sprawne pływanie.

Ptaki wszystkożerne

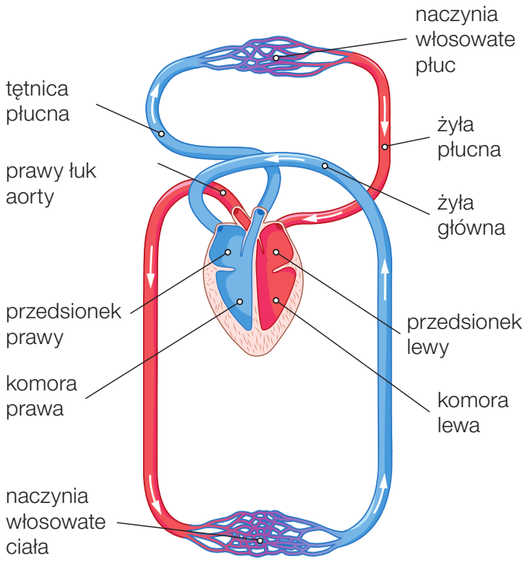
Kruk żywi się głównie pokarmem zwierzęcym (w tym padliną i odpadkami ze śmietników), który niekiedy uzupełnia owocami.

Przystosowania kruka do wszystkożerności:
- masywny, długi i zakrzywiony dziób – odżywanie się różnorodnym pokarmem,
- dobry wzrok i łatwość uczenia się – sprawne zdobywanie pożywienia,
- chowanie pokarmu w kryjówkach – magazynowanie zapasów w razie niedostatku,
- śledzenie watah wilków zimą – odżywianie się padliną.

Układ krwionośny ptaków

Budowa układu krwionośnego ptaków wynika z dużego zapotrzebowania na energię oraz z konieczności utrzymywania stałej temperatury ciała. Układ krwionośny budują dwa krwiobiegi – krwiobieg płucny (mały) i krwiobieg obwodowy (duży).

Serce ptaków jest czterojamowe: składa się z dwóch przedsionków i dwóch komór rozdzielonych **pełną przegrodą**.



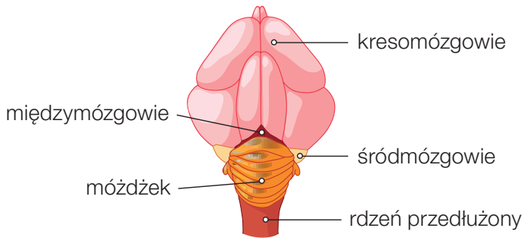
W układzie krwionośnym ptaków występuje tylko prawy łuk aorty.

Układ nerwowy ptaków

Mózgowie ptaków budują: rdzeń przedłużony, móżdżek, śródmózgowie, międzymózgowie i kresomózgowie. U ptaków – podobnie jak u gadów – najlepiej rozwiniętymi częściami mózgowia są kresomózgowie i móżdżek.

Rozbudowane **kresomózgowie** zapewnia ptakom inteligencję – zwierzęta te mają zdolność uczenia się i zapamiętywania. Dzięki znacznemu rozwojowi ośrodków podkorowych ptaki mogą przetwarzać bardzo dużą liczbę informacji.

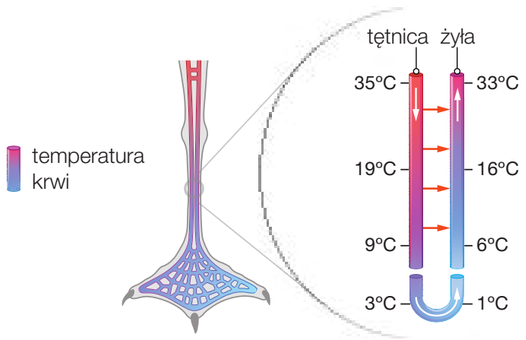
Z kolei **móżdżek** odpowiada m.in. za koordynację ruchów, równowagę oraz orientację w przestrzeni. Gatunki dobrze latające, np. ptaki drapieżne, mają znacznie większy móżdżek niż gatunki słabo latające.



Budowa mózgowia ptaków.

Czy ptaki wodne marzną w zimnej wodzie?

Ptaki wodne wykształciły liczne przystosowania chroniące je przed utratą ciepła. Ich ciało pokrywa gruba warstwa piór puchowych, które pełnią funkcję termoizolacyjną. Dodatkowo pióra pokrywowe są otoczone tłustą wydzieliną gruczołu kuprowego, która sprawia, że nie namakają one podczas pływania. Aby ograniczyć utratę ciepła z nieopierzonych nóg, ptaki wodne wykształciły specjalne ułożenie naczyń krwionośnych.



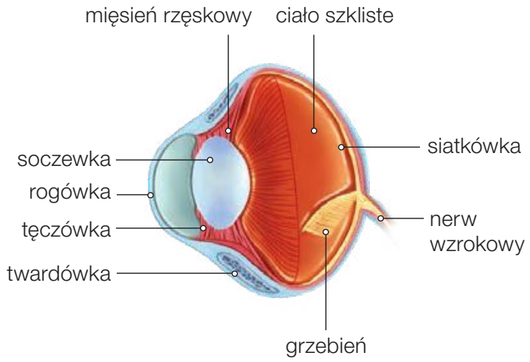
Tętnice i żyły w nogach ptaków wodnych są ułożone równolegle – dzięki temu ciepła krew tętnicza (płynąca z tułowia) ogrzewa chłodną krew żylną (powracającą z nóg). Mechanizm ten określa się mianem przeciwprądowego wymiennika ciepła.

Narządy zmysłów

Najlepiej rozwiniętym zmysłem ptaków jest wzrok. Ich oczy są zaopatrzone w trzy powieki (powiekę górną, powiekę dolną, migotkę), dzięki czemu powierzchnia gałki ocznej jest stale oczyszczana i nawilżana wydzieliną gruczołów łzowych. Podwójna akomodacja oka (zmiana kształtu soczewki i zmiana kształtu gałki ocznej) sprawia, że widzenie ptaków jest bardzo ostre. Siatkówka zawiera czopki i pręciki: u ptaków dziennych przeważają czopki, a u ptaków nocnych – pręciki. Ponadto oko ptaków zawiera silnie unaczyniony grzebień. Wyrasta on z dna oka i wnika głęboko do ciała szklistego. Grzebień pełni funkcje odżywcze względem siatkówki, reguluje temperaturę wewnątrz gałki ocznej i absorbuje rozproszone światło. W ten sposób grzebień zapewnia ptakom ostre widzenie, m.in. podczas polowania i wędrówek.

Ptaki mają też dobrze rozwinięty **słuch** – wiele gatunków porozumiewa się za pomocą głosu, np. ptaki śpiewające oznaczają w ten sposób swoje terytorium. Słuch ma także istotne znaczenie podczas zalotów i wychowywania potomstwa.

Ponadto ptaki mają zdolność **wyczuwania ziemskiego pola magnetycznego**, dzięki któremu orientują się w przestrzeni. Zjawisko to określa się mianem magnetorecepcji.



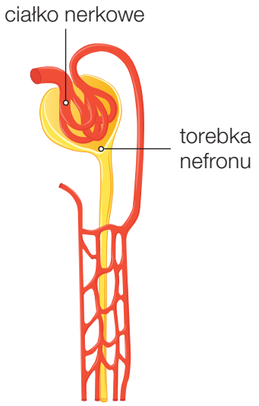
Budowa oka ptaków.



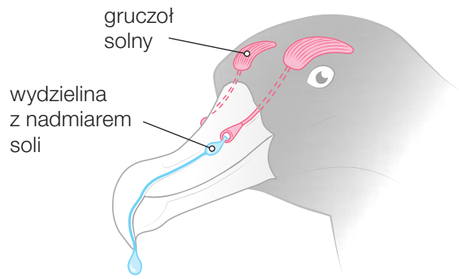
Zdolność wyczuwania ziemskiego pola magnetycznego umożliwia ptakom migrującym, np. gęsiom, orientację w przestrzeni podczas sezonowych wędrówek.

Układ wydalniczy ptaków

Narządami wydalniczymi dorosłych ptaków są **zanercza** (nerki ostateczne). Moczowody odprowadzają mocz z nerek do kloaki, skąd po zagęszczeniu jest on wydalany wraz z kałem. Głównym składnikiem moczu są kryształy kwasu moczowego, dlatego ptaki zalicza się do zwierząt urykotelicznych. Ptaki nie mają pęcherza moczowego (wyjątkiem są strusie). U wielu gatunków ptaków morskich (m.in. mew i kormoranów) działanie nerek wspomagają gruczoły nosowe (solne).



U ptaków występują zanercza, a zagęszczanie moczu odbywa się w kloace.



U ptaków morskich, np. mew i kormoranów, gruczoły solne usuwają z organizmu nadmiar soli mineralnych, które są dostarczane wraz z pokarmem i wodą.

Układ rozrodczy ptaków

U samic ptaków rozwijają się wyłącznie narządy rozrodcze położone po lewej stronie ciała (lewy jajnik i lewy jajowód). Z kolei u samców rozmiary jąder i ich masa wykazują sezonową zmienność – w okresie godowym zwiększają się nawet 200-krotnie. U wielu ptaków występuje wyraźny dymorfizm płciowy.

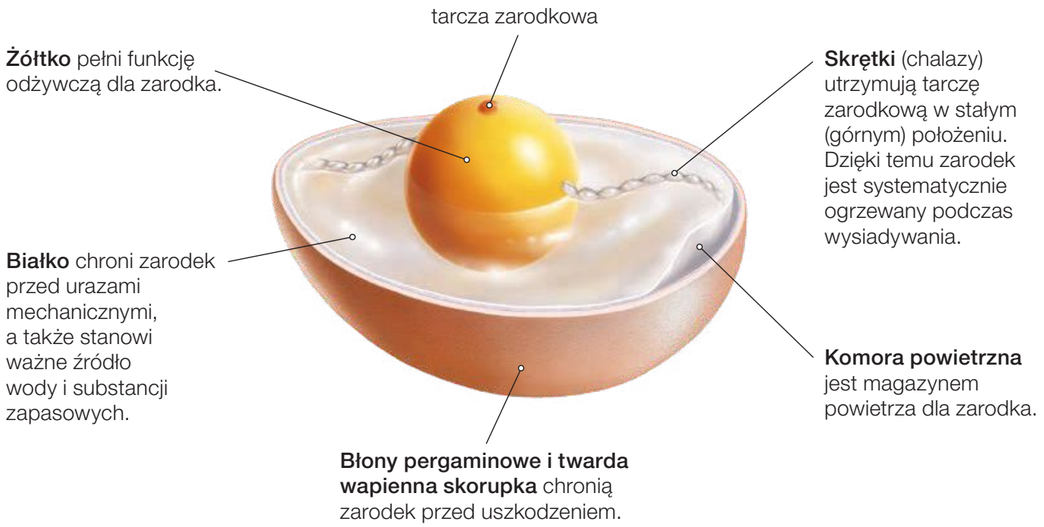
Ptaki cechuje **zapłodnienie wewnętrzne** – u większości do zapłodnienia dochodzi w wyniku zetknięcia się otworów kloakalnych samca i samicy. Wszystkie ptaki są jajorodne i należą do owodniowców (→s. 336). Samica składa jaja w gnieździe. Następnie jaja są wysiadywane przez jednego lub oboje rodziców, co zapewnia zarodkowi stałą temperaturę niezbędną do rozwoju. W zależności od stanu fizjologicznego piskląt i ich zachowania się tuż po wylęgu ptaki dzieli się na gniazdowniki i zagniazdowniki.



Samice ptaków są zazwyczaj mniej kolorowe od samców – dzięki temu są niewidoczne dla drapieżników podczas wysiadywania jaj w gnieździe.

Porównanie gniazdowników z zagniazdownikami

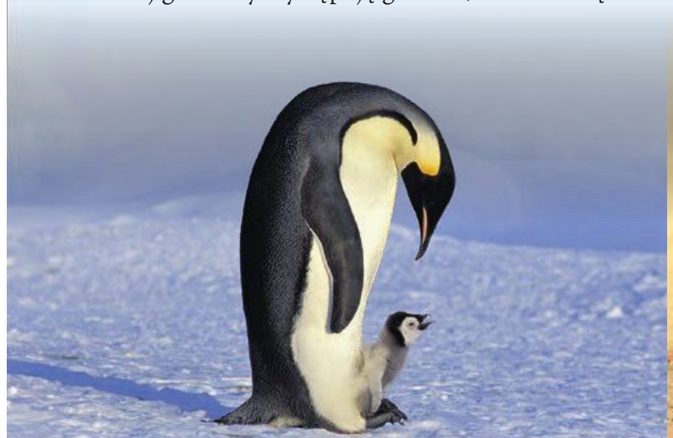
Gniazdowniki	Zagniazdowniki
• Wylęgają się głuche, ślepe i nagie.	• Zaraz po wylęgu widzą, słyszą i są pokryte gęstym puchem.
• Wymagają długiej opieki rodzicielskiej.	• Są zdolne do życia poza gniazdem i nie wymagają intensywnej opieki rodzicielskiej.
• Przykład: sikory, sowy, sokoły.	• Przykład: kaczki, kuraki, gęsi.



Budowa zapłodnionego jaja ptaków.

Ptaki niezdolne do lotu

Zdecydowana większość ptaków jest przystosowana do aktywnego lub biernego lotu. Niemniej wśród przedstawicieli tej gromady występują gatunki, które nie są zdolne do latania.



Pingwin cesarski

Żyje w Antarktyce. Mimo że jest gatunkiem nielotnym, ma grzebień na mostku. Do grzebienia są przyczepione silne mięśnie piersiowe, które poruszają płetwiastymi skrzydłami – dzięki nim pingwin cesarski doskonale pływa i nurkuje.



Struś czerwonoskóry

Zamieszkuje Afrykę. Jest największym gatunkiem ptaka na świecie. Ma silnie rozwinięte kończyny tylne, dzięki którym bardzo szybko biega. Jego jaja osiągają ogromne rozmiary i ważą do 2 kg.

Kiwi północny

Występuje w Nowej Zelandii. Ma nietypowe upierzenie, które przypomina włosy. Rozmiar jego jaj w stosunku do rozmiaru ciała jest największy spośród wszystkich gatunków ptaków.





Kazuar hełmiasty

Żyje w gęstych lasach Australii i Nowej Gwinei. Może biegać z prędkością do 50 km/h. Ma silnie umięśnione kończyny tylne, które są zaopatrzone w ostre szpony służące do obrony. Składa zielone jaja.



Jaja kazuara.

PRZYSTOSOWANIA PTAKÓW DO LOTU

W toku ewolucji ptaki wykształciły wiele przystosowań, które umożliwiły im aktywny lot. Dzięki zdolności latania ptaki mogą pokonywać duże odległości w poszukiwaniu pożywienia, partnera do rozrodu i odpowiedniego miejsca do gniazdowania.



1 **SKRZYDŁA** (czyli przekształcone kończyny przednie) tworzą powierzchnię lotną i umożliwiają lot, m.in. dzięki obecności lotek.

2 **AERODYNAMICZNY KSZTAŁT CIAŁA** zmniejsza opór powietrza podczas lotu, a tym samym ogranicza wydatek energetyczny organizmu.

3 **STERÓWKI** umożliwiają wykonywanie manewrów podczas lotu.

Pustułka.

4 **ZREDUKOWANIE NIEKTÓRYCH NARZĄDÓW** (brak prawego jajnika, prawego jajowodu i pęcherza moczowego, a także sezonowe zmniejszenie masy jąder) zmniejsza masę ciała.

5 **RURECZKOWATE PŁUCA Z WORKAMI POWIETRZNYMI** umożliwiają wymianę gazową podczas wdechu i wydechu.

6 **PRZYSTOSOWANIA W BUDOWIE SZKIELETU:**



- **Kości pneumatyczne** dzięki obecności jamek wypełnionych powietrzem zmniejszają masę ciała.
- **Obojczyki zrośnięte w widełki** zapobiegają nadmiernemu zbliżaniu się stawów barkowych oraz ściśnięciu klatki piersiowej przez kurczące się mięśnie piersiowe.
- **Zrośnięta mózgoczaszka i brak uzębienia** zmniejszają masę ciała.
- **Zrośnięte kręgi odcinka piersiowego i odcinka krzyżowego kręgosłupa** stabilizują tułów podczas lotu.
- **Pygostyl** (kość powstała w wyniku zrośnięcia ostatnich kręgów ogonowych) jest miejscem osadzenia sterówek.
- **Grzebień na mostku** jest miejscem przyczepu mięśni, które poruszają skrzydłami.
- **Masywna kość krucza** stanowi oparcie dla skrzydeł.

MECHANIZMY POŚREDNIO UŁATWIAJĄCE LOT



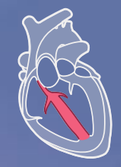
Wysokie tempo przemian metabolicznych pokrywa duże zapotrzebowanie energetyczne organizmu.



Dobrze rozwinięty móżdżek ułatwia koordynację ruchową.

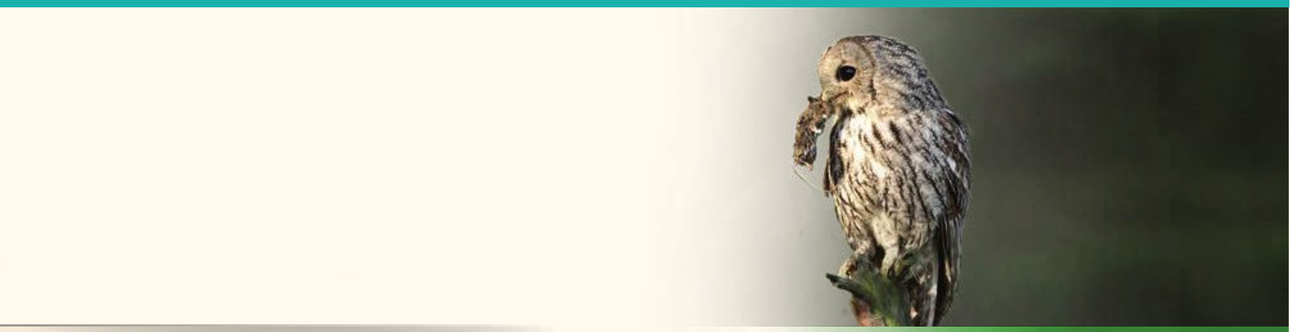


Dobrze rozwinięte narządy zmysłów i zmysł magnetyczny ułatwiają orientację w przestrzeni.



Serce z całkowitą przegrodą zwiększa wydajność transportu gazów oddechowych przez krew.

Znaczenie ptaków w przyrodzie i dla człowieka



Zapylanie roślin i rozsiewanie nasion

Ptaki odżywiające się nektarem, np. kolibry i nektarniki, zapylają rośliny. Z kolei ptaki odżywiające się owocami, np. jemiołuszki i sójki, rozsiewają nasiona.



Źródło pożywienia

Ptaki i ich jaja są ważnym źródłem pożywienia dla wielu zwierząt, w tym ludzi. Szczególnie duże znaczenie gospodarcze mają kaczki, gęsi, kury i indyki.



Szkody w gospodarce

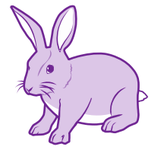
Ptaki mogą niszczyć uprawy roślin zbożowych, a także zjadać rośliny warzywne i owoce (np. kosy). Ponadto ptaki drapieżne (np. jastrzębie i myszołowy) czasami polują na ptactwo domowe.



Polecenia kontrolne

1. Podaj cechy ptaków – morfologiczne, anatomiczne i fizjologiczne – stanowiące przystosowanie do lotu.
2. Wyjaśnij, dlaczego mechanizm podwójnego oddychania stanowi przystosowanie ptaków do lotu.
3. Podaj dwa przykłady znaczenia ptaków w życiu człowieka.
4. Opisz przystosowania wybranych gatunków ptaków do:
   a. drapieżnictwa,
   b. odżywiania się pokarmem roślinnym,
   c. zdobywania pokarmu w wodzie.

5.6. Ssaki – kręgowce wszechstronne i ekspansywne



Ważne w tym temacie!

- cechy charakterystyczne ssaków

Ssaki to zwierzęta stałocieplne, które żyją na wszystkich kontynentach – w wodach i na lądzie. Wśród ssaków wyróżnia się prassaki, ssaki niższe i ssaki wyższe zwane łożyskowcami (→ s. 392).

Pokrycie ciała ssaków

Ciało ssaków jest pokryte skórą (zbudowaną z naskórka i ze skóry właściwej) oraz tkanką podskórną.

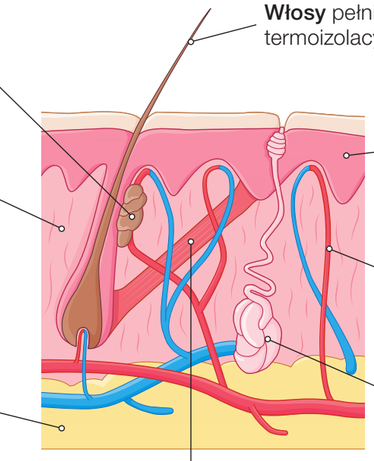
Wytworami naskórka są struktury rogowe zbudowane z keratyny, m.in. włosy, pazury, paznokcie, róg nosorożca oraz fiszbiny (struktury, które występują w jamie gębowej niektórych wielorybów i służą do filtrowania pokarmu z wody). Naskórek ssaków wytwarza także gruczoły: potowe, łojowe, zapachowe i mlekowe.

Wytworami skóry właściwej są:

- rogi – puszki rogowe osadzone na wyrostkach kości czołowych. Rogi rosną przez całe życie. Występują m.in. u bydła domowego;
- poroże – twór kostny, który wyrasta z kości czołowych. Poroże jest zrzucane co roku. Występuje np. u samców jeleniowatych.

Wytwory naskórka i skóry właściwej ssaków

Wytwory naskórka				Wytwory skóry właściwej
struktury rogowe		gruczoły		
• włosy • pazury i paznokcie • kopyta	• łuski • róg nosorożca • fiszbiny	• łojowe • potowe	• zapachowe • mlekowe	• rogi • poroże



Włosy pełnią funkcje termoizolacyjne i ochronne.

Gruczoły łojowe wydzielają łój, który natłuszcza skórę i włosy oraz pełni funkcję bakteriobójczą.

Naskórek jest zbudowany z nabłonka wielowarstwowego płaskiego rogowaciejącego. Pełni funkcje ochronne.

Skóra właściwa jest zbudowana z tkanki łącznej włóknistej, która zapewnia wytrzymałość i elastyczność.

Naczynia włosowate odżywiają naskórek i biorą udział w termoregulacji.

Tkanka podskórna składa się głównie z tkanki tłuszczowej, która stanowi rezerwę energetyczną organizmu, a także chroni ciało przed utratą ciepła i urazami mechanicznymi.

Gruczoły potowe wydzielają pot, który uczestniczy w termoregulacji, osmoregulacji i wydalaniu.

Mięsień przywłosowy unosi włosy podczas skurczu (tzw. stroszenie).

Budowa powłoki ciała ssaka.

Różnorodność ssaków

Obecnie wyróżnia się ok. 6 tys. gatunków ssaków. Zwierzęta te dzieli się na trzy grupy: prassaki, ssaki niższe i ssaki wyższe (łożyskowce).

Prassaki

Do prassaków należą stekowce. Współcześnie żyjącymi przedstawicielami tej grupy są dziobaki i kolczatki.

Stekowce wyróżniają się brakiem zębów (u osobników dorosłych) i sutków, a także występowaniem kloaki (steku) i kości kruczej. Stekowce jako jedyne ssaki składają jaja.



Dziobak australijski.

Ssaki niższe

Do ssaków niższych zalicza się torbacze. Przedstawicielami tej grupy są m.in. kangury, koale i oposy.

Torbacze charakteryzują się brakiem właściwego łożyska i krótką ciążą. Młode rozwijają się w torbie lęgowej, która znajduje się na brzuchu samicy.



Diabeł tasmański.

Łożyskowce

Do łożyskowców należą m.in. naczelne, owadożerne, szczerbaki, nietoperze, parzystokopytne, nieparzystokopytne, gryzonie, drapieżne i walenie.

Naczelne są wyposażone w chwytne kończyny przednie, palce zakończone paznokciami i przeciwstawny kciuk.



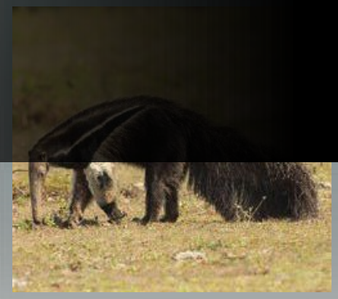
Orangutan borneański.

Owadożerne są najstarszą grupą łożyskowców. Mają niezróżnicowane zęby i gładką korę mózgową. Prowadzą nocny tryb życia.

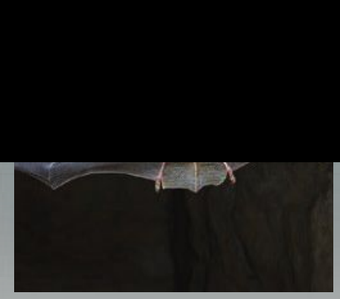


Jeż zachodni.

Szczerbaki nie mają zębów lub mają tylko zęby policzkowe. Ich przednie kończyny są dobrze rozwinięte i zakończone potężnymi pazurami.



Mrówkojad wielki.



Nocek duży.



Sarna europejska.

Trzeci palec **nieparzystokopytnych** jest zakończony kopytem. Pozostałe palce są zwykle zredukowane.



Koń Przewalskiego.

Gryzonie mają długie, rosnące przez całe życie siekacze, które u większości gatunków są oddzielone od zębów policzkowych diastemą (→ s. 396).



Bóbr europejski.

Drapieżne mają duże kły i ostre siekacze. Ich zęby przedtrzonowe i trzonowe są przystosowane do rozrywania zdobyczy.



Ryś euroazjatycki.

Walenie to ssaki wodne o opływowym kształcie ciała. Ich kończyny przednie przekształciły się w płetwy, a kończyny tylne zanikły.



Morświn zwyczajny.

Układ szkieletowy ssaków

Szkielet ssaków jest bardzo skostniały (zawiera niewiele elementów chrzęstnych). Składa się ze szkieletu osiowego oraz ze szkieletu obręczy i kończyn.

Szkielet osiowy

Czaszka ssaków jest zbudowana z mózgoczaszki i trzewioczaszki. Mózgoczaszka tworzy puszkę, która chroni mózgowie. W obrębie trzewioczaszki występują m.in.:

- zbudowana z jednej kości żuchwa, która jest połączona ruchomo z mózgoczaszką,
- trzy kosteczki słuchowe w uchu środkowym: młoteczek, kowadełko i strzemiączko,
- jama nosowa i jama gębowa, które są oddzielone kostnym podniebieniem.

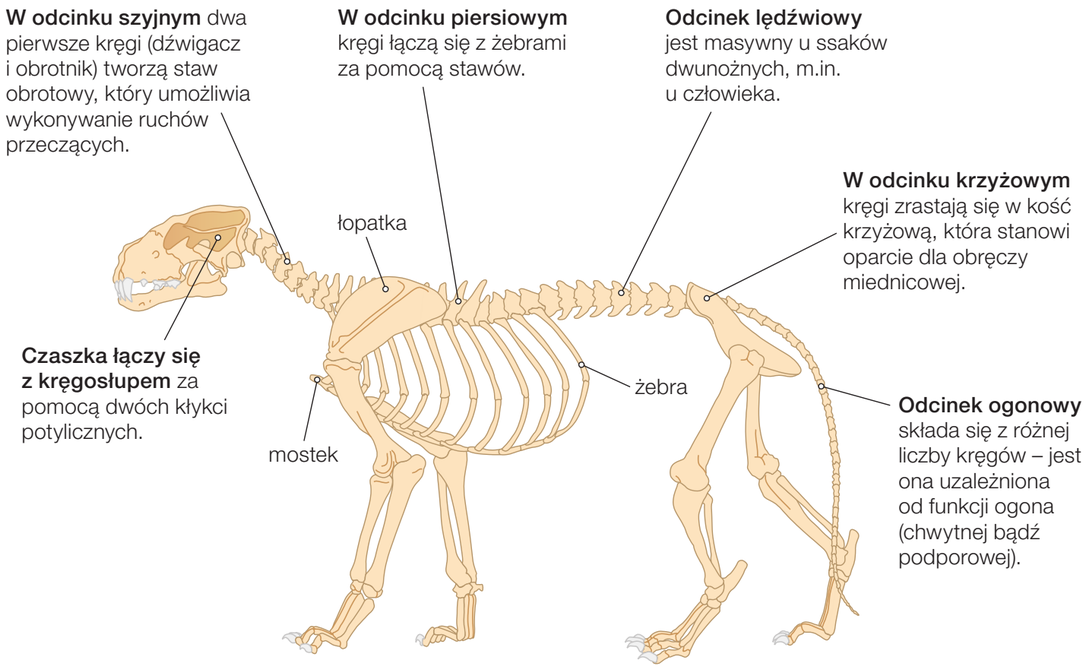
Kręgosłup ssaków jest zbudowany z pięciu odcinków: szyjnego, piersiowego, lędźwiowego, krzyżowego i ogonowego. Kręgi piersiowe łączą się z żebrami. Żebra zrastają się z mostkiem za pomocą chrząstki. Kręgi piersiowe, żebra i mostek tworzą **klatkę piersiową**.

Szkielet obręczy i kończyn

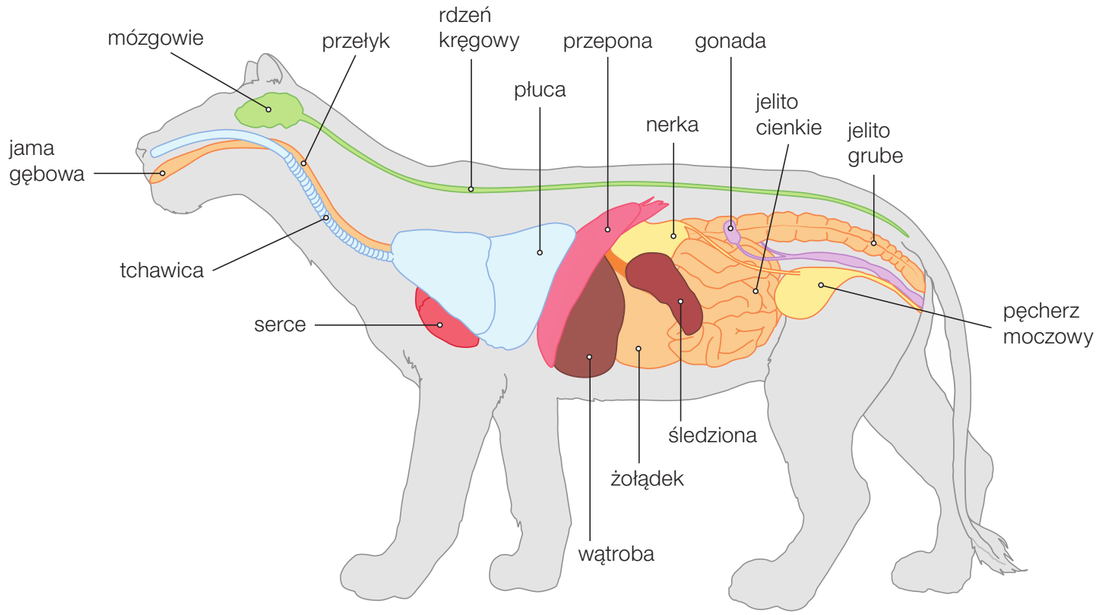
Obręcz barkową ssaków buduje łopatka. Dodatkowo w obręczy barkowej może występować obojczyk – zwłaszcza u ssaków, które wykorzystują kończyny przednie do wykonywania ruchów odwodzących i przywodzących (np. małpy). Ssaki kopytne i drapieżne poruszają kończynami tylko w jednej płaszczyźnie, dlatego nie mają obojczyków. W obręczy barkowej stekowców znajduje się kość krucza, która u pozostałych ssaków zrasta się z łopatką, tworząc wyrostek kruczy łopatki.

Obręcz miednicowa ssaków jest zrośnięta z częścią krzyżową kręgosłupa. Budują ją parzyste kości miednicowe, powstałe wskutek zrośnięcia kości biodrowych, kulszowych i łonowych. U waleni kości miednicowe są silnie uwstecznione i nie łączą się z kręgosłupem, co jest spowodowane zanikiem kończyn tylnych.

Kończyny ssaków z reguły znajdują się pod tułowiem, co usprawnia poruszanie się. Budowa kończyn zależy od trybu i środowiska życia danego gatunku.



Budowa szkieletu ssaka.



Budowa wewnętrzna ssaka.

Układ pokarmowy ssaków

Pierwszym pokarmem wszystkich ssaków jest mleko matki. Jest ono wytwarzane przez gruczoły mlekowe, które są przekształconymi gruczołami potowymi. Mleko zawiera wszystkie składniki niezbędne do rozwoju młodego osobnika.

U stekowców gruczoły mlekowe są rozproszone po brzusznej stronie ciała. U pozostałych ssaków są one skupione w brodawkach sutkowych, przez które mleko uchodzi na zewnątrz ciała.

Dorosłe ssaki mogą być roślinożerne, mięsożerne lub wszystkożerne. Od rodzaju spożywanego pokarmu zależą m.in. uzębienie (→ s. 396) oraz długość przewodu pokarmowego, zwłaszcza jelit (→ s. 397).

Układ pokarmowy ssaków składa się z:

- przewodu pokarmowego – zachodzą w nim trawienie pokarmu i wchłanianie produktów trawienia,
- gruczołów trawiennych – produkują enzymy trawienne (np. ślinianki) i żółć (wątroba).

Przewód pokarmowy rozpoczyna się **otworem gębowym**, który przechodzi w **jamę gębową** zaopatrzoną w zęby i w język. **Zęby** służą do rozdrabniania pokarmu. Niektóre gatunki, m.in. mrówkojady, walenie fiszbinowe oraz dorosłe dziobaki, nie mają zębów. Większość ssaków ma dwie generacje zębów – zęby mleczne i zęby stałe. Zęby mleczne występują u osobników młodych i są wymieniane na zęby stałe. Ponadto do jamy gębowej uchodzą przewody wyprowadzające **gruczołów ślinowych**.

Układ pokarmowy ssaków		
przewód pokarmowy		**gruczoły trawienne**
• jama gębowa • gardziel (gardło) • przełyk	• żołądek • jelito cienkie • jelito grube	• ślinianki • wątroba • trzustka

Z jamy gębowej pokarm przemieszcza się do **gardzieli**, a następnie – do **przełyku** i do **żołądka**. U mięsożerców żołądek jest prosty i jednokomorowy. U wielu gatunków ssaków roślinożernych żołądek jest duży i wielokomorowy (→ s. 397).

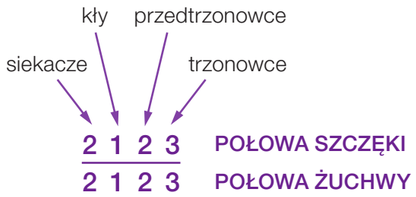
Z żołądka pokarm dostaje się do **jelita cienkiego**, do którego uchodzą przewody wyprowadzające wątroby i trzustki. **Wątroba** wydziela żółć ułatwiającą trawienie tłuszczów. Z kolei **trzustka** uwalnia do jelita liczne enzymy hydrolityczne, które umożliwiają trawienie różnych związków organicznych, m.in. sacharydów, tłuszczów i białek. W jelicie cienkim zachodzi również wchłanianie drobnocząsteczkowych produktów trawienia. **Jelito ślepe** znajduje się na granicy jelita cienkiego oraz jelita grubego. U gryzoni jest ono dobrze rozwinięte, ponadto zasiedlają je symbiotyczne mikroorganizmy rozkładające celulozę (→ s. 397). Jelito grube kończy się **odbytem**. U stekowców przed odbytem występuje kloaka.

Uzębienie ssaków

Zęby ssaków wyrastają z zębodołów szczęki i żuchwy. Cechą charakterystyczną ssaków jest heterodontyzm, czyli zróżnicowanie uzębienia. Zęby ssaków dzieli się na siekacze, kły, przedtrzonowce i trzonowce.

Wzory zębowe

Wzór zębowy to zapis układu i liczby poszczególnych rodzajów zębów rosnących w połowie szczęki i żuchwy.



Specjalizacja uzębienia ssaków

Liczba, budowa i rozmieszczenie zębów zależą od rodzaju spożywanego pokarmu.



$\frac{3\,1\,4\,2}{3\,1\,4\,3}$

Wilki są drapieżnikami. Mają długie kły, a ostatni górny przedtrzonowiec i pierwszy dolny trzonowiec są przekształcone w łamacze, które służą do łamania kości.



$\frac{0\,0\,3\,3}{3\,0\,3\,3}$

Krowy są roślinożercami. Nie mają kłów i górnych siekaczy. Dobrze rozwinięte są u nich zęby przedtrzonowe i trzonowe, które mają dużą powierzchnię trącą. Między siekaczami a przedtrzonowcami występuje przerwa – tzw. diastema.



$\frac{1\,0\,2\,3}{1\,0\,1\,3}$

Bobry są gryzoniami. Nie mają kłów. Odżywiają się twardym pokarmem roślinnym, dlatego mają dobrze rozwinięte siekacze – zęby te są pozbawione korzeni, dzięki czemu stale rosną. Między siekaczami a przedtrzonowcami występuje diastema.

Przystosowania układu pokarmowego ssaków

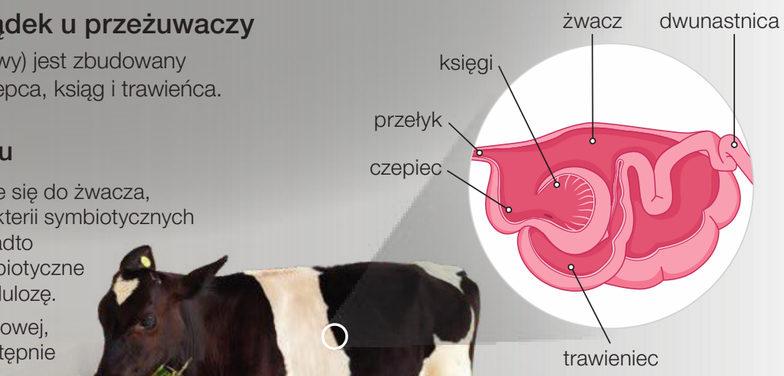
Budowa układu pokarmowego ssaków jest uzależniona od rodzaju spożywanego pokarmu.

Wielokomorowy żołądek u przeżuwaczy

Żołądek przeżuwaczy (np. krowy) jest zbudowany z czterech komór: żwacza, czepca, ksiąg i trawieńca.

Etapy trawienia pokarmu

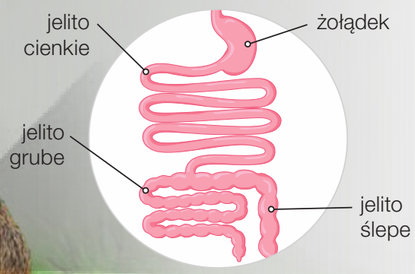
1. Nieprzeżuty pokarm dostaje się do żwacza, gdzie wskutek działania bakterii symbiotycznych zachodzi fermentacja. Ponadto w żwaczu znajdują się symbiotyczne orzęski, które rozkładają celulozę.
2. Pokarm wraca do jamy gębowej, gdzie zostaje przeżuty. Następnie rozdrobniony pokarm trafia do kolejnych komór żołądka – czepca, ksiąg i trawieńca.
3. W trawieńcu odbywa się trawienie enzymatyczne. Wówczas strawiony pokarm dostaje się do dwunastnicy.



Żołądek wielokomorowy przeżuwacza.

Długie jelito ślepe u gryzoni i zajęczaków

Gryzonie (np. mysz) i zajęczaki (np. królik) odżywiają się pokarmem roślinnym, który jest bogaty w celulozę. To dlatego ssaki te mają bardzo długie jelito ślepe, które jest zasiedlane przez bakterie symbiotyczne trawiące ten cukier.



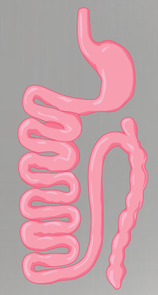
Układ pokarmowy królika.

Przewody pokarmowe roślinożercy i drapieżnika

Roślinożercy (np. koń) oraz drapieżniki (np. wilk) różnią się długością przewodu pokarmowego.



Przewód pokarmowy roślinożerców jest bardzo długi – może być co najmniej kilkanaście razy dłuższy od długości ciała. Wynika to z faktu, że pokarm roślinny jest trudno przyswajalny.



Przewód pokarmowy drapieżników jest stosunkowo krótki – zaledwie kilka razy dłuższy od długości ciała. Ma to związek z szybkim trawieniem oraz z wchłanianiem pokarmu zwierzęcego.

Układ oddechowy ssaków

Narządem wymiany gazowej ssaków są płuca pęcherzykowate. Powietrze dociera do nich przez **drogi oddechowe**, w których skład wchodzą: jama nosowa, gardziel, krtań, tchawica i dwa oskrzela główne.

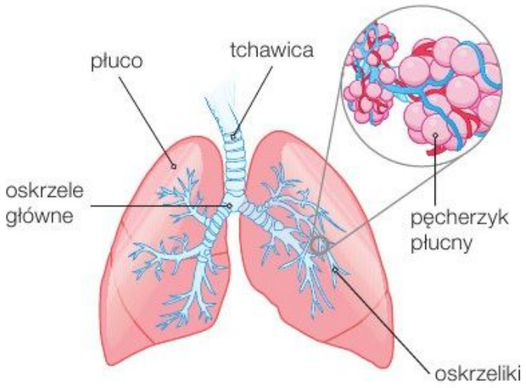
Krtań jest oddzielona od gardzieli **nagłośnią**, czyli fałdem zbudowanym z chrząstki pokrytej nabłonkiem. Podczas przełykania nagłośnia zamyka krtań, dzięki czemu cząstki pokarmu nie dostają się do dróg oddechowych, co groziłoby zadławieniem. W krtani znajdują się struny głosowe odpowiedzialne za wydawanie dźwięków. Ich napięcie wpływa na wysokość głosu wydawanego przez zwierzę. Krtań prowadzi do tchawicy, a tchawica – do oskrzeli głównych. Oskrzela główne wnikają do płuc, gdzie się rozgałęziają, tworząc coraz drobniejsze oskrzeliki zakończone **pęcherzykami płucnymi**. Ściany pęcherzyków płucnych są zbudowane z nabłonka jednowarstwowego płaskiego. Oplata je sieć włosowatych naczyń krwionośnych. Taka budowa zwiększa powierzchnię wymiany gazowej, a także umożliwia wymianę tlenu i dwutlenku węgla między powietrzem pęcherzykowym a krwią. Wentylacja płuc odbywa się za sprawą ruchów klatki piersiowej i przepony – mięśnia oddzielającego jamę klatki piersiowej od jamy brzusznej.

Układ krwionośny ssaków

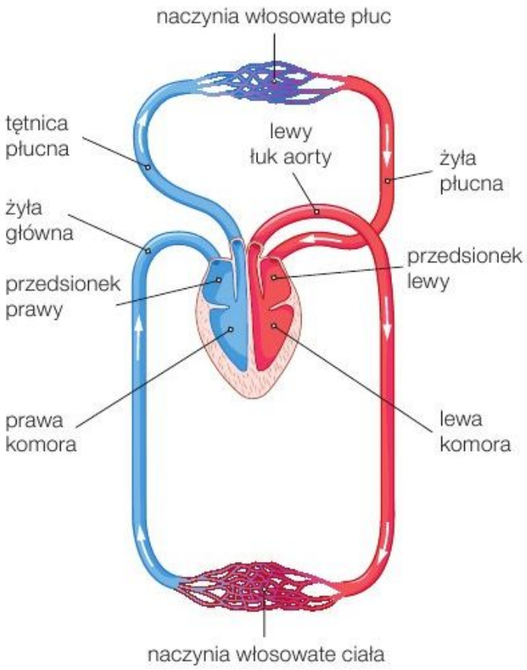
Układ krwionośny ssaków składa się z dwóch obiegów: **obiegu płucnego** (małego) i **obiegu obwodowego** (dużego).

Serce jest zbudowane z dwóch przedsionków i dwóch komór. Prawa część serca (żylna) zbiera z organizmu krew bogatą w dwutlenek węgla, a następnie tłoczy ją do tętnic płucnych. Lewa strona serca (tętnicza) zbiera z płuc krew bogatą w tlen, po czym przekazuje ją do systemu tętnic, które rozprowadzają ją po całym ciele.

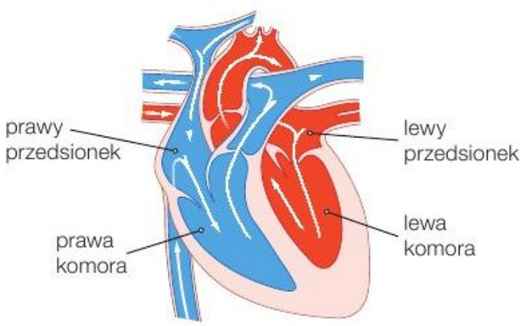
Na ilość transportowanego tlenu wpływa również budowa erytrocytów. Dojrzałe erytrocyty ssaków nie mają jądra komórkowego (są wtórnie bezjądrzaste) i mitochondriów, co pozwala na transport większej ilości tlenu do tkanek ciała.



Budowa płuc ssaków.



W układzie krwionośnym ssaków występuje tylko lewy łuk aorty.

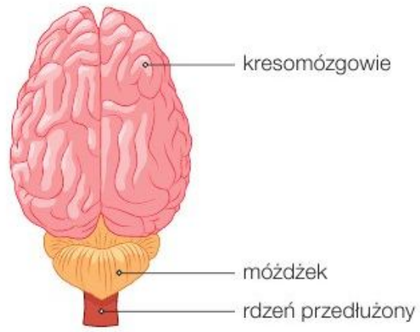


Budowa serca ssaków.

Układ nerwowy ssaków

Ssaki mają najlepiej rozwinięty układ nerwowy spośród wszystkich zwierząt. Ich mózgowie składa się z pięciu części: z kresomózgowia, z międzymózgowia, ze śródmózgowia, z móżdżku oraz z rdzenia przedłużonego.

Kresomózgowie jest zbudowane z dwóch połączonych półkul, które pokrywa silnie pofałdowana kora mózgowa. Kora mózgowa odpowiada za zdolność analizowania i zapamiętywania. Z kolei dobrze rozwinięty **móżdżek** umożliwia sprawną koordynację ruchową.

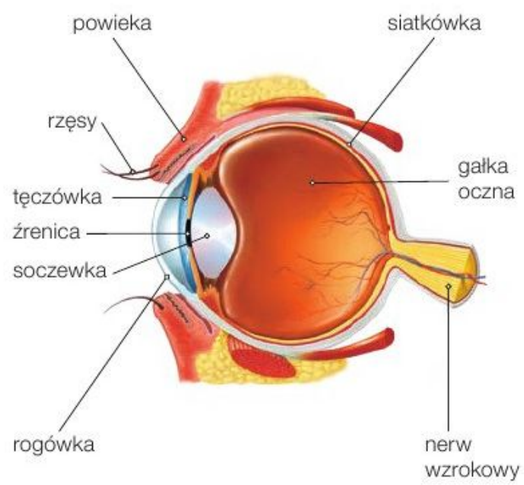


Budowa mózgowia ssaków na przykładzie mózgu człowieka.

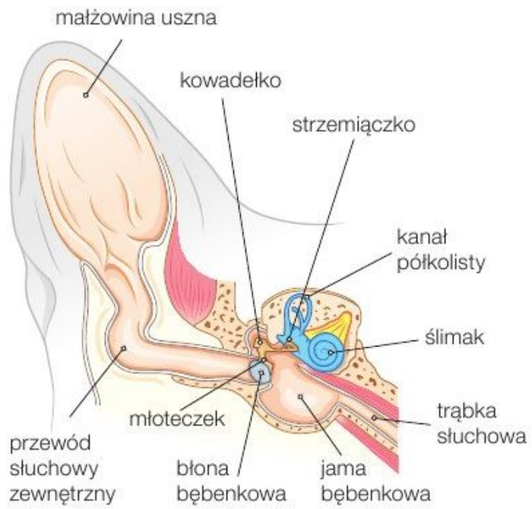
Narządy zmysłów

Do głównych zmysłów ssaków należą:

- **wzrok**. Narządem wzroku jest oko. Jest ono zbudowane z gałki ocznej, nerwu wzrokowego oraz narządów dodatkowych, m.in. dwóch powiek zaopatrzonych w rzęsy (zatrzymują cząstki kurzu i pyłów) i w gruczoły łzowe (nawilżają gałkę oczną). Akomodacja oka ssaków odbywa się wyłącznie w wyniku zmiany kształtu soczewki;
- **słuch**. Narządem słuchu jest narząd spiralny znajdujący się w uchu wewnętrznym (w ślimaku). W odbiorze bodźców dźwiękowych biorą też udział m.in. małżowina uszna (kieruje fale dźwiękowe do błony bębenkowej), błona bębenkowa (przekształca fale dźwiękowe w sygnały mechaniczne – drgania), kosteczki słuchowe, czyli młoteczek, kowadełko i strzemiączko (wzmacniają i przenoszą drgania na okienko owalne ucha wewnętrznego, gdzie znajduje się właściwy narząd słuchu). W uchu wewnętrznym znajduje się także **narząd równowagi** – tzw. błędnik;
- **węch**. Narząd węchu jest stosunkowo duży i mieści się w rozbudowanej jamie nosowej;
- **smak**. Narządy smaku, czyli kubki smakowe, są zlokalizowane przede wszystkim na języku;
- **dotyk**. Receptory dotyku są rozmieszczone w skórze. Niektóre ssaki, np. koty, odbierają bodźce mechaniczne za pomocą włosów czuciowych (wibrysów).



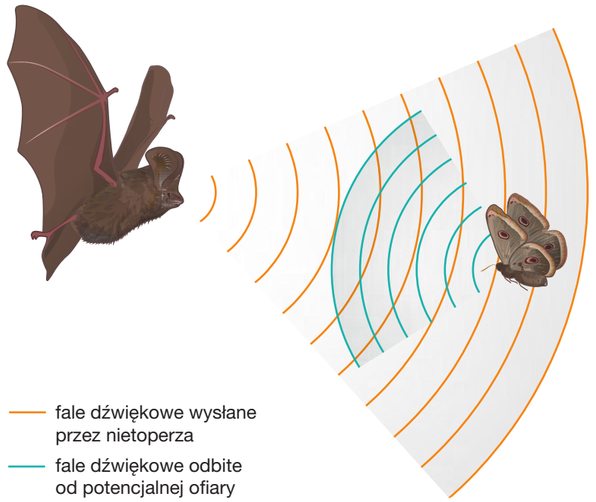
Budowa oka ssaków.



Budowa ucha ssaków na przykładzie ucha psa.

Echolokacja

Echolokacja to sposób orientowania się w przestrzeni, który jest wykorzystywany m.in. przez nietoperze i delfiny. Echolokacja polega na wydawaniu ultradźwięków (dźwięków o wysokiej częstotliwości), które odbijają się od przeszkody, a następnie powracają jako echo. Echo jest rejestrowane przez narządy zmysłów, dzięki czemu zwierzęta echolokujące otrzymują informacje o wielkości i odległości przeszkody lub potencjalnej ofiary.



Echolokacja ułatwia nietoperzom polowanie w ciemności.

Układ wydalniczy ssaków

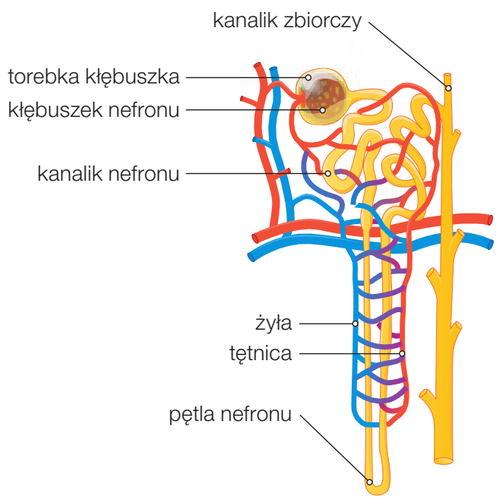
Narządami wydalniczymi ssaków są nerki typu **zanercza**, nazywane nerkami ostatecznymi. Podstawową jednostką funkcjonalną nerki jest **nefron**. Nefron składa się z **ciałka nerkowego** i **kanalika nerkowego** (kanalika nefronu). W skład ciałka nerkowego wchodzą kłębuszek nerkowy (sieć włosowatych naczyń krwionośnych) oraz torebka kłębuszka zbudowana z nabłonka.

W ciałkach nerkowych odbywa się filtracja kłębuszkowa. Polega ona na przenikaniu wody i rozpuszczonych w niej substancji drobnocząsteczkowych z osocza krwi do torebki kłębuszka. W ten sposób powstaje **mocz pierwotny**, który oprócz zbędnych i szkodliwych produktów przemiany materii zawiera również wiele składników potrzebnych organizmowi.

Mocz pierwotny podlega licznym modyfikacjom, m.in. zagęszczaniu i zwrotnemu wychwycaniu niektórych substancji, zachodzącym głównie w pętli nefronu. W efekcie powstaje **mocz ostateczny**, który jest wydalany do środowiska za pośrednictwem **moczowodów**, **pęcherza moczowego** i **cewki moczowej**. Stekowce nie mają cewki moczowej – ich mocz uchodzi z pęcherza moczowego do kloaki.

Większość ssaków jest ureoteliczna – oznacza to, że głównym produktem azotowej przemiany materii jest u nich mocznik.

Niektóre ssaki, zwłaszcza zwierzęta pustynne i spożywające wodę morską, wytwarzają silnie stężony mocz. Ssaki te mają długie pętle nefronów, w których zachodzi intensywna resorpcja wody z moczu do krwi, a w efekcie – intensywne zagęszczanie moczu.



Budowa nefronu.

Rozmnażanie się i rozwój ssaków

Wszystkie ssaki są **rozdzielnopłciowe** i należą do **owodniowców** (w ich rozwoju wykształcają się błony płodowe). U ssaków zachodzą **zapłodnienie wewnętrzne** oraz **rozwój prosty**. Jednak rozmnażanie i rozwój przebiegają inaczej u stekowców, torbaczy i łożyskowców.

Stekowce

Stekowce to jedyne ssaki, u których rozwój zarodka odbywa się najpierw w jajowodzie i w macicy, a następnie – po mniej więcej 20 dniach inkubacji – wewnątrz jaja. Samice dziobaków składają jaja do specjalnej nory lęgowej. Z kolei kolczatki składają zwykle pojedyncze jajo do skórnej torby, która rozwija się w okresie lęgowym. Jaja stekowców są otoczone miękką, pergaminową osłonką. By opuścić jajo, młode używają tzw. zęba jajowego. Po wylęgu stekowce są karmione mlekiem, które zlizują z sierści matki (stekowce nie mają sutków).

Torbacze

U torbaczy młode rozwijają się wewnątrz ciała samicy. Układ rozrodczy torbaczy ma nietypową budowę – u samic występują dwie macice i dwie pochwy, których ujścia otwierają się do zatoki moczowo-płciowej. Młode rodzą się po 9–40 dniach i natychmiast po przyjściu na świat pełzną do jednego z sutków umieszczonych w torbie lęgowej. Tam następuje ich dalszy rozwój, który trwa znacznie dłużej niż sama ciąża.



U większości gatunków ssaków obserwuje się dymorfizm płciowy. Na przykład samce lwów są większe od samic oraz mają charakterystyczne grzywy.

Łożyskowce

U łożyskowców zarodek rozwija się w macicy i odżywia się za pośrednictwem łożyska. Łożysko to narząd, który powstaje z tkanek matki i z tkanek płodu. Łożysko łączy się z rozwijającym się zarodkiem za pomocą sznura pępowinowego, wewnątrz którego znajdują się naczynia krwionośne odżywiające zarodek. U niewielkich ssaków czas trwania ciąży jest krótki (np. u gryzoni – 3 tygodnie), a u większych ssaków – długi (np. u słoni – 22 miesiące).

Porównanie rozrodu ssaków, torbaczy i łożyskowców

Stekowce	Torbacze	Łożyskowce
		
Najpierw rozwój zarodka odbywa się w jajowodzie i w macicy, a następnie – wewnątrz jaja.	Rozwój zarodka odbywa się w macicy. Po urodzeniu dalszy rozwój zachodzi w torbie lęgowej.	Rozwój zarodka odbywa się w macicy. Występuje łożysko.

Przystosowania ssaków do życia w różnych środowiskach

Większość ssaków żyje na lądzie, a część wtórnie zasiedliła zbiorniki wodne.



Ssaki wtórnie wodne

Należą do nich m.in. walenie, np. delfin butlonosy. Kończyny przednie tych ssaków przekształciły się w płetwy, a kończyny tylne całkowicie zanikły. Narządem ruchu delfinów jest płetwa ogonowa. Delfiny oddychają za pomocą płuc, dlatego przed zanurzeniem wykonują głęboki wdech. Większość pobranego tlenu magazynują w mięśniach, co pozwala im na długie nurkowanie.

Ssaki ziemno-wodne

Należy do nich np. hipopotam nilowy. W ciągu dnia hipopotamy przebywają głównie w wodzie, dlatego ich oczy, uszy i nozdrza znajdują się wysoko na głowie, a pysk jest szeroki – przystosowany do odcedzania pokarmu z wody. Zwierzęta te mają zredukowane owłosienie, a między palcami kończyn występuje u nich błona pławna. Nocą wychodzą na ląd, gdzie żywią się roślinami.



Ssaki lądowe

Większość gatunków ssaków to zwierzęta typowo lądowe. Niektóre z nich przystosowały się do podziemnego trybu życia, inne wykształciły umiejętność lotu.



Nietoperze dzięki przekształceniu kończyn przednich w skrzydła są jedynymi ssakami zdolnymi do aktywnego lotu. Nietoperze prowadzą nocny tryb życia i wykorzystują mechanizm echolokacji, m.in. do wykrywania pokarmu lub zagrożenia.

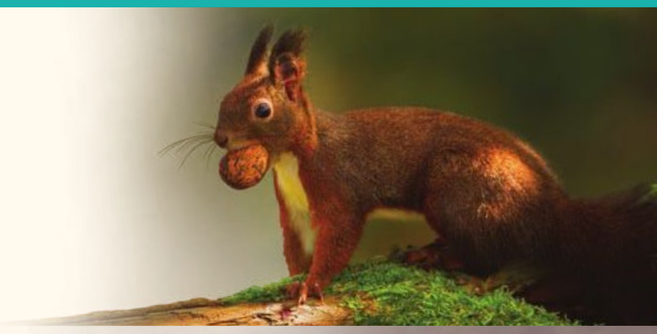


Podziemny tryb życia prowadzą m.in. krety. Zwierzęta te drążą w glebie tunele za pomocą silnych kończyn przednich, które są wyposażone w pazury. Mają małe oczy o uproszczonej budowie oraz dobrze rozwinięte wibrysy.



Do ssaków lądowych należą m.in. zające. Zwierzęta te poruszają się za pomocą skoków, dlatego ich tylne kończyny są znacznie dłuższe od przednich. Ciało zajęcy pokrywa gęsta sierść, która pełni m.in. funkcję termoizolacyjną.

Znaczenie ssaków w przyrodzie i dla człowieka



Regulacja liczebności populacji

Ssaki stanowią ważny element wielu sieci troficznych. Na przykład roślinożerne bawoły stanowią pożywienie dla drapieżników, m.in. lwów i lampartów.



Rolnictwo i gospodarka

Udomowione ssaki, np. świnie, owce, bydło domowe, są źródłem pokarmu (mięso, tłuszcz, mleko) oraz surowców (skóra, wełna, futro).



Szkody gospodarcze i choroby

Ssaki drapieżne, np. wilki, w okresie niedostatku pokarmu mogą atakować zwierzęta hodowlane, co powoduje szkody w gospodarstwach. Część ssaków przenosi groźne choroby (np. lisy przenoszą bąblowicę oraz wściekliznę).



Polecenia kontrolne

1. Podaj cechy budowy charakterystyczne wyłącznie dla ssaków.
2. Podaj nazwy gruczołów występujących w skórze ssaków i określ funkcję każdego z nich.
3. Wykaż związek między budową układu pokarmowego ssaków roślinożernych a sposobem ich odżywiania.
4. Przedstaw różnice między rozmnażaniem się ssaków łożyskowych a rozmnażaniem się torbaczy.
5. Na podstawie wiarygodnych źródeł opisz przystosowania ssaków do życia w powietrzu, pod ziemią oraz na gałęziach drzew.

Podsumowanie

1 Cechy charakterystyczne kręgowców

- W ich ciele można wyróżnić głowę, tułów i ogon; u niektórych występuje też szyja.
- Przedni odcinek ich cewki nerwowej jest przekształcony w mózgowie, a pozostała część tworzy rdzeń kręgowy.
- Występuje u nich chrzęstny lub kostny szkielet wewnętrzny.
- Mają dobrze rozwinięty zmysł równowagi.
- Ich narządem ruchu są kończyny.
- Mają zamknięty układ krwionośny.

2 Porównanie cech grup kręgowców

<table>
<tr><th>Ryby</th><th>Płazy</th><th>Gady</th><th>Ptaki</th><th>Ssaki</th></tr>
<tr><td>pierwotnie wodne
Są pierwotnie przystosowane do życia w wodzie.</td><td colspan="4">pierwotnie lądowe
Są pierwotnie przystosowane do życia na lądzie.</td></tr>
<tr><td>skrzelodyszne
Oddychają skrzelami.</td><td colspan="4">płucodyszne
Oddychają płucami.</td></tr>
<tr><td colspan="2">bezowodniowce
Nie mają błon płodowych.</td><td colspan="3">owodniowce
Występują u nich błony płodowe.</td></tr>
<tr><td colspan="3">zmiennocieplne
Nie utrzymują stałej temperatury ciała.</td><td colspan="2">stałocieplne
Utrzymują stałą temperaturę ciała.</td></tr>
</table>

3 Pokrycie ciała kręgowców

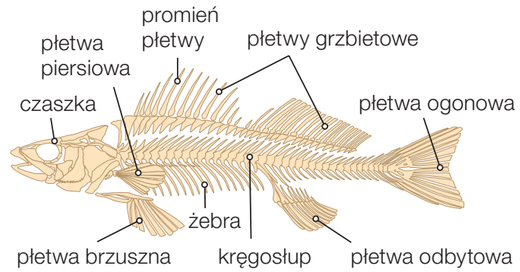
Skóra kręgowców jest zbudowana z naskórka oraz ze skóry właściwej. Skóra pełni wiele funkcji, m.in. zabezpiecza organizm przed urazami i wnikaniem drobnoustrojów chorobotwórczych.

Gromada	Pokrycie ciała	Wytwory naskórka	Wytwory skóry właściwej
Ryby	cienka, pokryta śluzem skóra	gruczoły śluzowe	łuski
Płazy	cienka, naga, pokryta śluzem skóra	gruczoły: śluzowe, jadowe	–
Gady	gruba, sucha skóra z silnie zrogowaciałym naskórkiem	twory rogowe: łuski, tarczki, płytki, pazury, rogowe listwy	–
Ptaki	cienka skóra pozbawiona gruczołów (wyjątek: gruczoł kuprowy)	twory rogowe: pióra, łuski, pazury, dziób	–
Ssaki	gruba skóra o złożonej budowie; zewnętrzne warstwy naskórka są zrogowaciałe i stale się łuszczą	twory rogowe: włosy, pazury, paznokcie, kopyta, łuski, róg nosorożca, fiszbiny, płytki; gruczoły: łojowe, potowe, zapachowe, mlekowe	rogi, poroże

4 Układ szkieletowy kręgowców

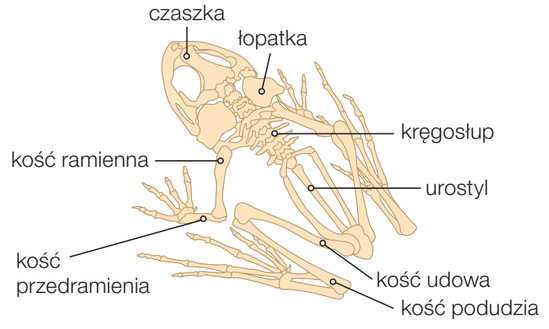
Ryby

- szkielet zbudowany ze szkieletu osiowego, szkieletu obręczy barkowej i miednicowej oraz szkieletu płetw
- nieruchome połączenie czaszki z kręgosłupem
- szczęka oraz żuchwa
- kręgosłup zbudowany z dwóch odcinków: tułowiowego i ogonowego
- ości (skostniałe ścięgna)



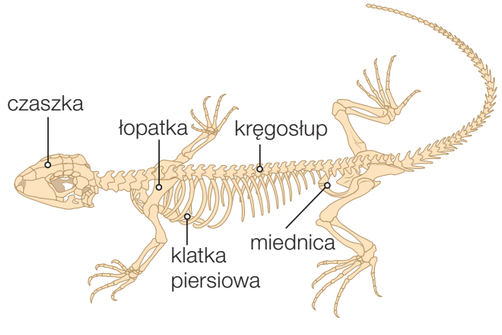
Płazy

- ażurowa konstrukcja czaszki
- czaszka połączona z kręgosłupem za pomocą dwóch kłykci potylicznych
- kręgosłup zbudowany z czterech części: szyjnej, tułowiowej, krzyżowej i ogonowej
- brak klatki piersiowej
- u płazów bezogonowych kręgi ogonowe zrośnięte w jedną kość – urostyl
- kończyny zlokalizowane po bokach ciała



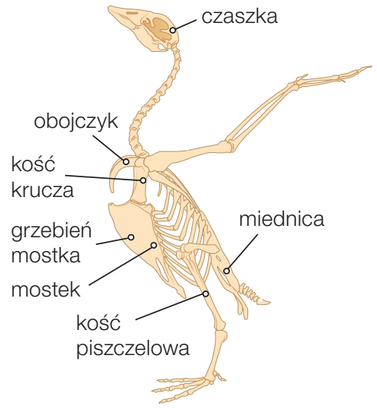
Gady

- masywna, skostniała czaszka
- czaszka połączona z kręgosłupem za pomocą jednego kłykcia potylicznego
- dźwigacz i obrotnik
- klatka piersiowa
- kończyny częściowo wsunięte pod tułów



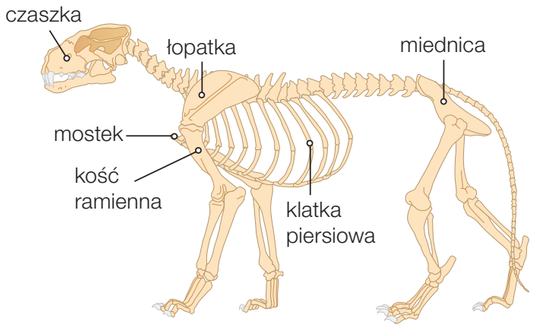
Ptaki

- kości pneumatyczne
- szczęka i żuchwa pozbawione zębów
- czaszka połączona z kręgosłupem za pomocą jednego kłykcia potylicznego
- dźwigacz i obrotnik
- zrośnięcie kręgów piersiowych i lędźwiowo-krzyżowych
- grzebień kostny na mostku
- kości krucze
- otwarta miednica



Ssaki

- żuchwa zbudowana z jednej kości
- czaszka połączona z kręgosłupem za pomocą dwóch kłykci potylicznych
- zrośnięte kręgi w odcinku krzyżowym
- kończyny zlokalizowane pod tułowiem



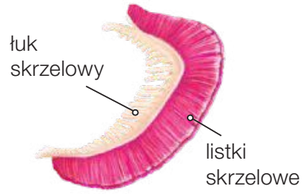
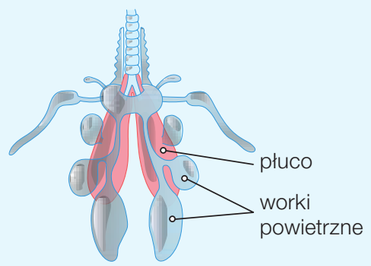
5 Układ pokarmowy kręgowców

Układ pokarmowy wszystkich kręgowców jest drożny i zbudowany z tych samych elementów: jamy gębowej, gardzieli, przełyku, żołądka, jelita cienkiego i jelita grubego (zakończonego odbytem lub kloaką).

Gromada	Budowa układu pokarmowego
Ryby	• W jamie gębowej nie ma gruczołów ślinowych, u wielu gatunków występują zęby. • U wielu ryb o kostnym szkielecie ujście pęcherza pławnego otwiera się do jelita. • Jelito grube jest zakończone odbytem (u niektórych gatunków występuje kloaka).
Płazy	• W jamie gębowej znajdują się gruczoły ślinowe, język i – u większości – zęby. • Jelito grube uchodzi do kloaki.
Gady	• W jamie gębowej występują zęby, które u większości gatunków nie są osadzone w zębodołach. • U niektórych gadów (węży, jaszczurek) wykształcają się zęby jadowe. • Na granicy jelita cienkiego i jelita grubego znajduje się jelito ślepe. • Jelito grube uchodzi do kloaki.
Ptaki	• W jamie gębowej nie ma zębów. • U większości ptaków żołądek dzieli się na żołądek gruczołowy i żołądek mięśniowy. • Jelito uchodzi do kloaki.
Ssaki	• W jamie gębowej znajdują się gruczoły ślinowe i zęby osadzone w zębodołach. • W jelicie cienkim występują kosmki jelitowe. • Jelito grube u stekowców kończy się kloaką, a u pozostałych kręgowców – odbytem.

6 Układ oddechowy kręgowców

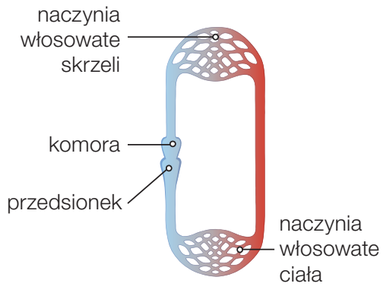
Narządem wymiany gazowej kręgowców wodnych są skrzela, a kręgowców lądowych – płuca. U kręgowców lądowych powietrze dociera do płuc przez drogi oddechowe.

Gromada	Narządy i mechanizm wymiany gazowej	
Ryby	• skrzela wewnętrzne, u ryb dwudysznych – płuca • wymiana gazowa odbywa się sprawnie dzięki obecności pokryw skrzelowych oraz przepływowi krwi przez skrzela na zasadzie przeciwprądów	
Płazy	• płuca workowate (u larw – skrzela), skóra, śluzówka jamy gębowej • wentylacja płuc odbywa się dzięki współpracy ruchów dna jamy gębowej z ruchami mięśni gardzieli	
Gady	• płuca gąbczaste • wentylacja płuc odbywa się dzięki ruchom klatki piersiowej	
Ptaki	• sztywne płuca rurkowate połączone z rozciągliwymi workami powietrznymi • wentylacja płuc odbywa się dzięki ruchom klatki piersiowej	
Ssaki	• płuca pęcherzykowate • wentylacja płuc odbywa się dzięki ruchom klatki piersiowej oraz skurczom przepony	

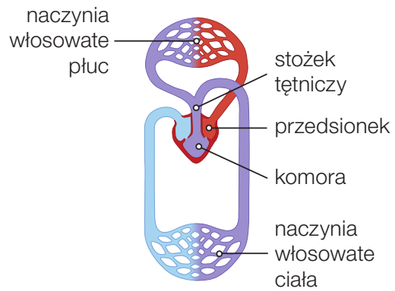
7 Układ krwionośny kręgowców

U wszystkich kręgowców występuje zamknięty układ krwionośny. Składa się on z serca oraz systemu naczyń, wśród których wyróżnia się tętnice, żyły i naczynia włosowate.

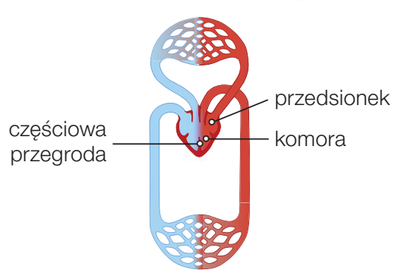
Ryby
- Jeden obieg krwi.
- Serce dwudziałowe (zbudowane z przedsionka i komory), przez które przepływa wyłącznie krew odtlenowana, a także zatoka żylna i stożek tętniczy.



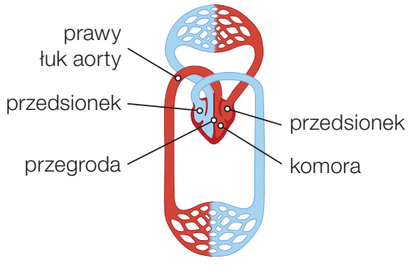
Płazy
- Dwa obiegi krwi.
- Serce trójdziałowe (zbudowane z dwóch przedsionków i komory) oraz stożek tętniczy.
- W komorze dochodzi do częściowego wymieszania się krwi odtlenowanej z krwią utlenowaną.
- Krew jest wzbogacana w tlen również w naczyniach włosowatych skóry.
- Dwa łuki aorty.



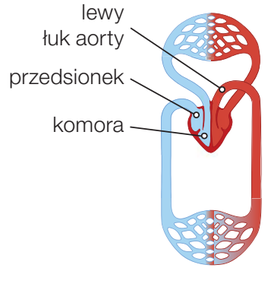
Gady
- Dwa obiegi krwi.
- Serce trójdziałowe (zbudowane z dwóch przedsionków i komory, w której występuje częściowa przegroda; jedynie u krokodyli występuje przegroda całkowita).
- Dwa łuki aorty.



Ptaki
- Dwa obiegi krwi.
- Serce czterodziałowe (zbudowane z dwóch przedsionków i dwóch komór).
- Prawy łuk aorty.



Ssaki
- Dwa obiegi krwi.
- Serce czterodziałowe (zbudowane z dwóch przedsionków i dwóch komór).
- Lewy łuk aorty.



8 Układ nerwowy kręgowców

U wszystkich kręgowców mózgowie składa się z pięciu części: z kresomózgowia, z międzymózgowia, ze śródmózgowia, z móżdżku i z rdzenia przedłużonego.

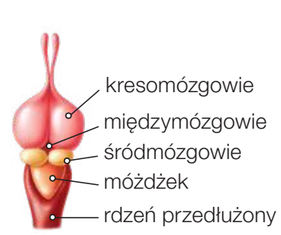
Ryby
- Mózgowie składa się z pięciu elementów podobnej wielkości, które są ułożone liniowo. Gatunki posługujące się zmysłem węchu mają silnie rozwinięte kresomózgowie i opuszki węchowe. Gatunki, u których duże znaczenie odgrywa wzrok, mają dobrze rozwinięte śródmózgowie. Z kolei u gatunków szybko i długo pływających dobrze wykształcił się móżdżek.



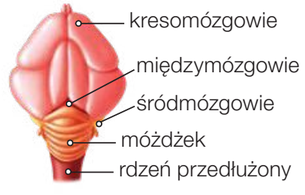
Płazy
- Mózgowie składa się z pięciu elementów ułożonych liniowo. Występuje w nim silnie rozwinięte kresomózgowie zbudowane z dwóch półkul mózgowych. Móżdżek jest słabo rozwinięty.



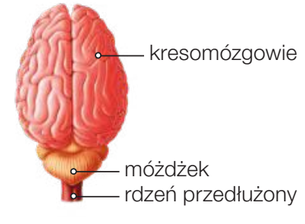
Gady
- Części mózgowia nie są ułożone liniowo. Mózgowie składa się z silnie rozwiniętego kresomózgowia. Kresomózgowie jest zbudowane z dwóch wyraźnie oddzielonych od siebie półkul mózgowych, które są pokryte korą mózgową. Kresomózgowie przykrywa całkowicie sąsiadujące z nim międzymózgowie. Móżdżek jest niewielki, ale dobrze rozwinięty.



Ptaki
- W mózgowiu występuje silnie rozwinięty móżdżek, co jest związane z umiejętnością lotu. Kresomózgowie jest bardziej rozwinięte niż u gadów.



Ssaki
- Kresomózgowie jest zbudowane z silnie pofałdowanych półkul, które nasuwają się od góry na międzymózgowie i śródmózgowie.



9 Układ wydalniczy kręgowców

Gromada	Budowa układu wydalniczego	Końcowy produkt azotowej przemiany materii
Ryby	parzyste nerki typu pranercza, parzyste moczowody, pęcherz moczowy, otwór wydalniczy lub kloaka (u spodoustych)	u ryb chrzęstnoszkieletowych – mocznik; u ryb o kostnym szkielecie – amoniak
Płazy	parzyste nerki typu pranercza, parzyste moczowody, pęcherz moczowy, kloaka	mocznik (u larw – amoniak)
Gady	parzyste nerki typu zanercza, parzyste moczowody, pęcherz moczowy (wyjątek: węże i krokodyle), kloaka	kwas moczowy (u gadów żyjących w wodzie – również amoniak i mocznik)
Ptaki	parzyste nerki typu zanercza, parzyste moczowody uchodzące do kloaki, brak pęcherza moczowego (wyjątek: strusie)	kwas moczowy
Ssaki	parzyste nerki typu zanercza, parzyste moczowody, pęcherz moczowy, cewka moczowa uchodząca bezpośrednio na zewnątrz lub do kloaki (u stekowców)	mocznik

10 Rozmnażanie się i rozwój kręgowców

Kręgowce rozmnażają się płciowo. Rozmnażanie się ryb i płazów odbywa się w wodzie. Rozmnażanie gadów, ptaków i ssaków nie jest zależne od obecności wody – w ich rozwoju zarodkowym występują błony płodowe.

Gromada	Forma rozmnażania płciowego	Zapłodnienie	Rozwój
Ryby	• w większości rozdzielnopłciowe, niektóre gatunki są obojnacze	• u większości ryb o kostnym szkielecie – zewnętrzne • u ryb chrzęstnoszkieletowych – wewnętrzne	• prosty lub złożony
Płazy	• rozdzielnopłciowe	• u płazów ogoniastych i beznogich – wewnętrzne • u płazów bezogonowych – zewnętrzne	• u większości rozwój złożony
Gady	• rozdzielnopłciowe	• wewnętrzne	• prosty
Ptaki	• rozdzielnopłciowe	• wewnętrzne	• prosty
Ssaki	• rozdzielnopłciowe	• wewnętrzne	• prosty

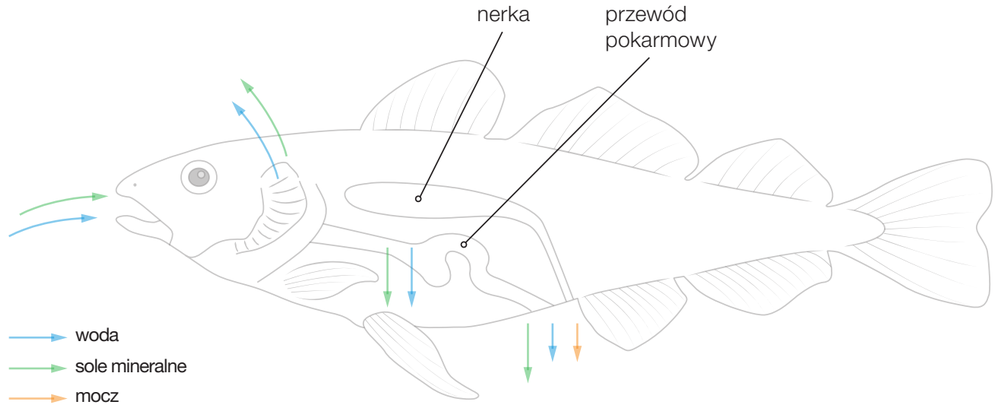
11 Funkcje błon płodowych

Błona płodowa	Funkcje
Owodnia	Tworzy środowisko wodne wokół zarodka.
Omocznia	Gromadzi zbędne produkty przemiany materii i ma zdolność do zwrotnego wchłaniania wody.
Kosmówka	Pośredniczy w wymianie gazowej.
Pęcherzyk żółtkowy	Jest magazynem substancji odżywczych dla zarodka.

Sposób na zadania

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Schemat przedstawia mechanizm osmoregulacji u morskiej ryby o kostnym szkielecie.



Na podstawie: T. Heese, C. Przybyszewski, *Życie ryb,* Koszalin 1993, s. 35.

a) Oceń, czy poniższe informacje dotyczące osmoregulacji u morskich ryb o kostnym szkielecie są prawdziwe. Wybierz P, jeśli informacja jest prawdziwa, albo F – jeśli jest fałszywa.

Zastanów się, czy płyny ustrojowe morskich ryb o kostnym szkielecie są hipertoniczne, hipotoniczne czy izotoniczne w stosunku do wody morskiej. Ustal kierunek osmozy wody.

Osmoza polega na przenikaniu wody przez błonę biologiczną. Jeśli roztwory mają różne stężenia, to woda przepływa z roztworu mniej stężonego do roztworu bardziej stężonego.

1.	Ciało morskich ryb o kostnym szkielecie traci wodę na drodze osmozy.	P	F
2.	U morskich ryb o kostnym szkielecie jony soli mineralnych są usuwane przez skrzela, przewód pokarmowy i układ wydalniczy.	P	F
3.	Morskie ryby o kostnym szkielecie wydalają niewielką ilość silnie stężonego moczu.	P	F

Przeanalizuj schemat. Zwróć uwagę na strzałki przedstawiające przemieszczanie się soli mineralnych.

Przeanalizuj schemat. Zwróć uwagę na strzałki przedstawiające kierunek przemieszczania się wody. Zastanów się, czy morskie ryby o kostnym szkielecie muszą zapobiegać odwodnieniu czy usuwać nadmiar wody wraz z moczem.

Rozwiązanie:
1. – P, 2. – P, 3. – P

b) Podaj nazwę głównego azotowego produktu przemiany materii u morskich ryb o kostnym szkielecie.

Przypomnij sobie główne produkty przemiany materii, które wydalają ryby.

Zastanów się, w jaki sposób środowisko życia morskich ryb wpływa na rodzaj wydalanej substancji.

Rozwiązanie:
amoniak

c) Dokończ zdanie. Wybierz odpowiedź (A–C) oraz jej uzasadnienie (1–3).

Przypomnij sobie, jak są zbudowane poszczególne typy nerek. Zastanów się – budowa którego typu nerek odpowiada budowie nerek dorosłych ryb?

U większości dorosłych ryb występują nerki typu

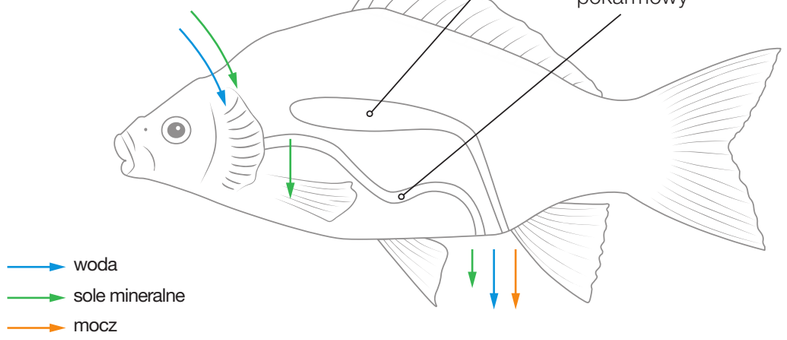
A.	przednercza,	które są zbudowane z	1.	orzęsionych lejków.
B.	pranercza,		2.	kłębuszków nerkowych.
C.	zanercza,		3.	orzęsionych lejków i kłębuszków nerkowych.

Rozwiązanie:
B3

Zadanie analogiczne

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Schemat przedstawia mechanizm osmoregulacji u słodkowodnej ryby o kostnym szkielecie.



Na podstawie: T. Heese, C. Przybyszewski, *Życie ryb*, Koszalin 1993, s. 35.

a) Oceń, czy poniższe informacje dotyczące osmoregulacji u słodkowodnych ryb o kostnym szkielecie są prawdziwe. Wybierz P, jeśli informacja jest prawdziwa, albo F – jeśli jest fałszywa.

1.	Płyny ustrojowe słodkowodnych ryb o kostnym szkielecie są hiperosmotyczne w stosunku do środowiska ich życia.	P	F
2.	U słodkowodnych ryb o kostnym szkielecie jony soli mineralnych są pobierane przez skrzela.	P	F
3.	Słodkowodne ryby o kostnym szkielecie wydalają dużą ilość silnie rozcieńczonego moczu.	P	F

b) Podaj nazwę głównego azotowego produktu przemiany materii u słodkowodnych ryb o kostnym szkielecie.

c) Dokończ zdanie. Wybierz odpowiedź (A–C) oraz jej uzasadnienie (1–3).

U zarodków ryb występują nerki typu

A.	przednercza,	które są zbudowane z	1.	orzęsionych lejków.
B.	pranercza,		2.	kłębuszków nerkowych.
C.	zanercza,		3.	orzęsionych lejków i kłębuszków nerkowych.

Zadania powtórzeniowe

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Skóra kręgowców jest zbudowana z naskórka i ze skóry właściwej. Dodatkowo u różnych gatunków mogą występować specyficzne wytwory naskórka lub skóry właściwej, takie jak łuski, włosy czy pióra.

a) Podaj nazwy tkanek budujących naskórek i skórę właściwą.

b) Przerysuj tabelę do zeszytu. Określ, które z poniższych struktur są wytworami naskórka, a które – wytworami skóry właściwej. Wstaw znak X w odpowiednie miejsca tabeli.

		Wytwór naskórka	Wytwór skóry właściwej
1.	Rybie łuski	?	?
2.	Gruczoły śluzowe	?	?
3.	Pióra	?	?

c) Uzupełnij poniższe zdania tak, aby zawierały prawdziwe informacje dotyczące budowy komórek naskórka. Wybierz właściwe określenia spośród podanych.

Charakterystyczną cechą zrogowaciałych komórek naskórka jest duża zawartość (*keratyny* / *kolagenu*), czyli substancji należącej do (*rozpuszczalnych* / *nierozpuszczalnych*) w wodzie (*węglowodanów* / *białek*).

2 Tabela przedstawia parametry rozrodcze populacji orła przedniego w Karpatach w latach 2008–2011.

Parametry rozrodcze	Lata badań				
	2008	2009	2010	2011	2008–2011
Liczba zajętych rewirów	26	27	24	26	–
Liczba par przystępujących do lęgu (liczba lęgów)	14	12	11	17	54
Liczba lęgów pomyślnych	11	7	3	13	34
Sukces gniazdowy par przystępujących do lęgu [%]	78,6	58,3	27,3	76,5	63,0
Liczba młodych ogółem	13	7	3	14	37
Liczba młodych na parę z udanym lęgiem	1,18	1,00	1,00	1,07	1,08
Liczba młodych na parę przystępującą do lęgu	0,93	0,58	0,27	0,82	0,68

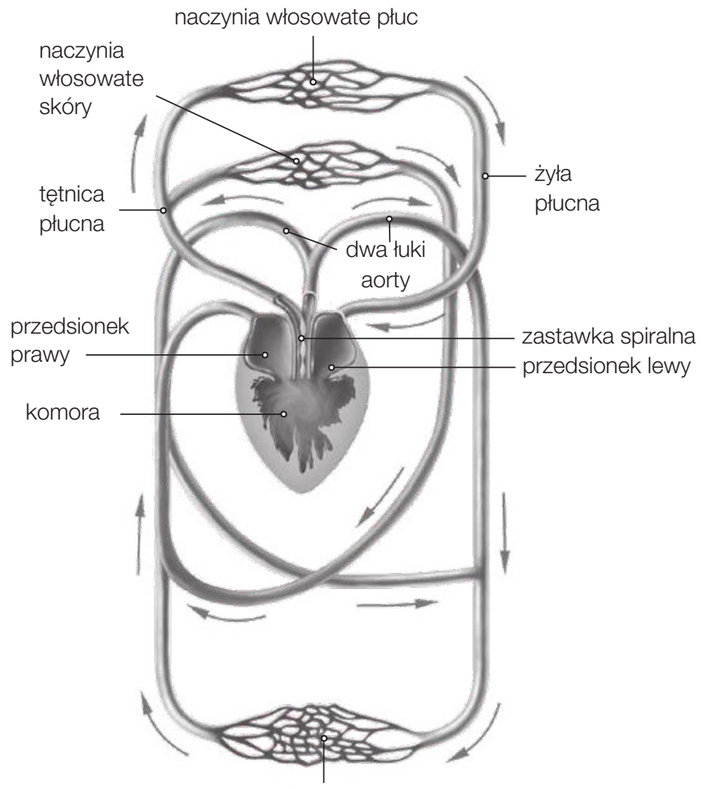
Źródło: M. Stój, B. Kozik, B. Kwarciany, *Orzeł przedni* Aquila chrysaetos *w polskiej części Karpat w latach 2008–2011*, „Chrońmy Przyrodę Ojczystą” 2011, 67(6), s. 489.

a) Oblicz średnią liczbę par przystępujących do lęgu w latach 2008–2011.

b) Oblicz wartość mediany liczby lęgów pomyślnych.

c) Podaj dwie funkcje, jakie białko pełni w jaju ptasim.

3 Schemat przedstawia układ krwionośny dorosłego płaza.



a) Wyjaśnij, dlaczego u dorosłych płazów występują dwa obiegi krwi.

b) Przerysuj tabelę do zeszytu. Przyporządkuj podane elementy układu krwionośnego płazów odpowiedniemu obiegowi krwi. Wpisz określenia „obieg płucny” lub „obieg ustrojowy” we właściwe miejsca tabeli.

Elementy układu krwionośnego	Rodzaj obiegu krwi
Przedsionek lewy	?
Przedsionek prawy	?
Tętnica płucna	?
Aorta	?
Żyła płucna	?

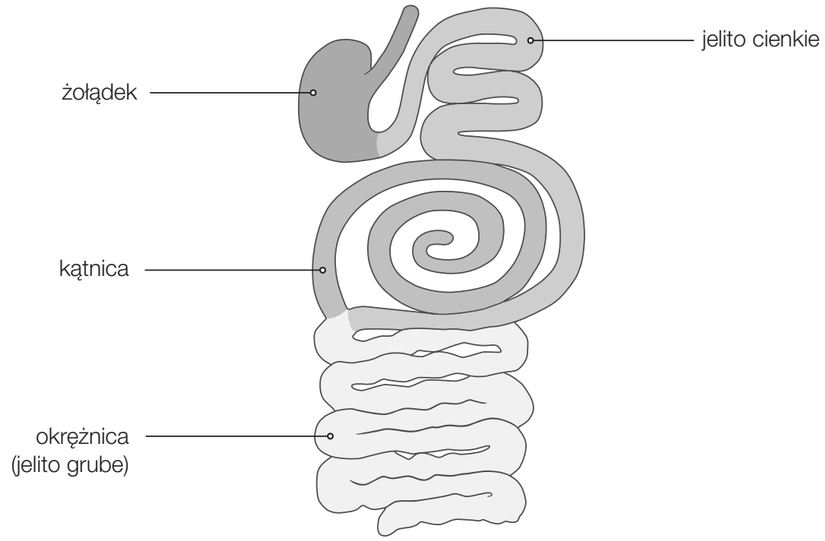
c) Wyjaśnij, dlaczego sieć naczyń włosowatych w skórze płazów jest silnie rozwinięta.

4 W wyniku rozkładu białek oraz nukleotydów powstają szkodliwe związki azotowe – amoniak, mocznik i kwas moczowy.

Wyjaśnij, dlaczego zwierzęta wodne mogą wydalać amoniak, a zwierzęta lądowe muszą go przetwarzać w mocznik lub kwas moczowy.

5 Koala australijski żywi się liśćmi eukaliptusa. Między jelitem cienkim a okrężnicą tego zwierzęcia występuje długa kątnica (jelito ślepe), która jest zasiedlona przez symbiotyczne bakterie.

Schemat przedstawia fragment układu pokarmowego koali.



Przewód pokarmowy koali.

Na podstawie: N.A. Campbell i in., *Biologia*, Poznań 2013, s. 891.

a) Wykaż związek między rodzajem pokarmu spożywanego przez koalę a występującą w jego układzie pokarmowym długą kątnicą zasiedloną przez symbiotyczne bakterie. W odpowiedzi uwzględnij nazwę związku chemicznego, który dominuje w pożywieniu koali, oraz pełną nazwę trudno rozkładalnego wiązania chemicznego, które znajduje się w tym związku.

b) Podaj jedno przystosowanie w uzębieniu ssaków roślinożernych do pobierania i obróbki pokarmu roślinnego. W odpowiedzi uwzględnij rolę tego przystosowania.

6 Mimo bliskiego pokrewieństwa gady i ptaki istotnie różnią się pod względem anatomii oraz fizjologii.

Przerysuj tabelę do zeszytu. Określ, które cechy (A–G) występują wyłącznie u gadów, a które – wyłącznie u ptaków. Wpisz litery w odpowiednie miejsca w tabeli.

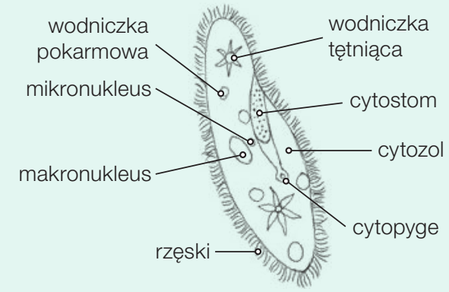
A. obecność błon płodowych
B. obecność klatki piersiowej
C. obecność komory serca z częściową przegrodą
D. wydalanie kwasu moczowego
E. stałocieplność
F. obecność kloaki
G. obecność umięśnionego języka

		Cecha (A–G)
1.	Gady	?
2.	Ptaki	?

Sposób na zadania – odpowiedzi

<table>
<tr><th>Strona</th><th>Propozycja poprawnej odpowiedzi</th></tr>
<tr><td colspan="2">1. Wirusy, bakterie, protisty i grzyby</td></tr>
<tr><td rowspan="3">65</td><td>a) Schemat przedstawia fagocytozę, ponieważ trawienie nie jest kompletne – niestrawione resztki są usuwane z komórki (na drodze egzocytozy).</td></tr>
<tr><td>b) wodniczka pokarmowa / fagosom</td></tr>
<tr><td>c) Endocytoza u pantofelka może zachodzić tylko w określonym miejscu komórki / tylko przez cytostom, ponieważ jego komórka jest pokryta pellikulą.</td></tr>
<tr><td colspan="2">2. Różnorodność roślin</td></tr>
<tr><td rowspan="2">172</td><td>a) Oleander / Nerium oleander jest kserofitem. Świadczą o tym cechy, które umożliwiają mu przetrwanie w warunkach suszy (i wysokiej temperaturze) dzięki ograniczeniu transpiracji / parowania wody oraz ochronie przed przegrzaniem (dwie cechy spośród podanych):
– wielowarstwowa skórka/epiderma (górna i dolna),
– gruba warstwa kutykuli na skórce / epidermie (górnej / dolnej),
– aparaty szparkowe we wgłębieniach skórki, otoczone licznymi włoskami,
– miękisz palisadowy po obu stronach blaszki liściowej,
– małe przestwory międzykomórkowe w miękiszu gąbczastym.</td></tr>
<tr><td>b)
<table>
<tr><td>Rodzina: toinowate Apocyanaceae</td><td>2</td></tr>
<tr><td>Gatunek: oleander Nerium oleander</td><td>5</td></tr>
<tr><td>Rząd: goryczkowce Gentianales</td><td>3</td></tr>
<tr><td>Gromada: okrytonasienne Angiospermae</td><td>1</td></tr>
<tr><td>Rodzaj: oleander Nerium</td><td>4</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td colspan="2">3. Funkcjonowanie roślin</td></tr>
<tr><td rowspan="3">227</td><td>a) Przykładowe rozwiązania:
– Wpływ temperatury na intensywność fotosyntezy u Agropyron smithii.
– Czy temperatura wpływa na intensywność fotosyntezy u Agropyron smithii?</td></tr>
<tr><td>b) 25°C</td></tr>
<tr><td>c) Wzrost temperatury spowodowałby wzrost intensywności transpiracji u Agropyron smithii / badanej trawy.</td></tr>
<tr><td colspan="2">4. Różnorodność bezkręgowców</td></tr>
<tr><td rowspan="2">328</td><td>a) Żywicielem pośrednim tasiemca uzbrojonego jest świnia, ponieważ w jej organizmie bytuje postać larwalna / nierozmnażająca się płciowo postać tasiemca (uzbrojonego) / pasożyta.</td></tr>
<tr><td>b) 1. – F, 2. – P, 3. – F</td></tr>
<tr><td colspan="2">5. Różnorodność kręgowców</td></tr>
<tr><td rowspan="3">412</td><td>a) 1. – P, 2. – P, 3. – P</td></tr>
<tr><td>b) amoniak</td></tr>
<tr><td>c) A1</td></tr>
</table>

Doświadczenia i obserwacje – odpowiedzi

<table>
<tr><th>Strona</th><th>Tytuł doświadczenia lub obserwacji</th><th>Propozycja poprawnej odpowiedzi</th></tr>
<tr><td colspan="3">1. Wirusy, bakterie, protisty i grzyby</td></tr>
<tr><td>33</td><td>Obserwacja mikroskopowa pantofelka</td><td>Przewidywany wynik:
 

Pantofelek – powiększenie 400 ×.</td></tr>
<tr><td colspan="3">3. Funkcjonowanie roślin</td></tr>
<tr><td>179</td><td>Identyfikacja tkanki przewodzącej wodę w roślinie</td><td>Przewidywany wynik:
Liść selera zabarwi się na granatowo. Na przekroju poprzecznym ogonka liściowego pojawią się granatowe punkty.</td></tr>
<tr><td>183</td><td>Badanie wpływu braku światła na wystąpienie gutacji</td><td>Wniosek:
Brak światła powoduje usuwanie wody z liści nasturcji na drodze gutacji.</td></tr>
<tr><td>183</td><td>Obserwacja płaczu roślin – zjawiska powodowanego parciem korzeniowym</td><td>Przewidywany wynik:
Z miejsca przecięcia łodygi niecierpka będzie wypływała woda.</td></tr>
<tr><td>185</td><td>Badanie wpływu obecności światła na intensywność transpiracji</td><td>Wniosek:
Transpiracja u pelargonii zachodzi intensywniej w świetle.</td></tr>
<tr><td>186</td><td>Badanie rozmieszczenia aparatów szparkowych u higrofitów, mezofitów i kserofitów</td><td>Wniosek:
Higrofity tracą wodę przez obie powierzchnie liścia, a mezofity i kserofity – głównie przez dolną powierzchnię liścia.</td></tr>
<tr><td>188</td><td>Badanie wpływu 0,5% roztworu NaCl na pobieranie wody przez rośliny</td><td>Wniosek:
Umieszczenie liści pelargonii w 0,5% roztworze NaCl ogranicza pobieranie przez nie wody.</td></tr>
<tr><td>203</td><td>Obserwacja różnych typów kiełkowania nasion</td><td>Przewidywany wynik:
Słonecznik wykazuje kiełkowanie nadziemne, a kukurydza – kiełkowanie podziemne.</td></tr>
</table>

204	Badanie wpływu obecności wody na kiełkowanie nasion	Wniosek: Do kiełkowania nasion fasoli jest potrzebna woda.
205	Badanie wpływu niskiej temperatury na kiełkowanie nasion	Wniosek: Niska temperatura ogranicza kiełkowanie nasion fasoli.
205	Badanie wpływu światła na kiełkowanie nasion	Wniosek: Do kiełkowania nasion sałaty jest potrzebne światło.
206	Badanie wpływu liścieni na wzrost i rozwój siewek fasoli	Wniosek: Prawidłowy wzrost i prawidłowy rozwój siewek fasoli wymagają obecności obu liścieni.
210	Badanie roli stożka wzrostu pędu w dominacji wierzchołkowej	Wniosek: Obecność stożka wzrostu pędu hamuje rozwój pąków bocznych u pomidora.
212	Badanie wpływu etylenu na dojrzewanie owoców	Wniosek: Etylen przyspiesza dojrzewanie owoców bananowca.
218	Badanie różnic w geotropizmie korzenia i pędu	Przewidywany wynik: Korzenie siewek fasoli będą wyginały się do dołu, a pędy – do góry.
218	Badanie różnic w fototropizmie korzenia i pędu	Wniosek: Pod wpływem światła kierunkowego korzeń fasoli wykazuje fototropizm ujemny, a pęd – fototropizm dodatni.

Przydatne terminy

akson – długa, rozgałęziona na końcu wypustka neuronu, która przekazuje impuls z ciała komórki w kierunku innego neuronu, komórki mięśniowej lub gruczołu.

anabioza – przejściowy, odwracalny stan, w który przechodzi organizm w niekorzystnych warunkach środowiska, np. bakterie w czasie anabiozy spowalniają tempo metabolizmu i wytwarzają formy przetrwalnikowe (cysty lub endospory).

analogia – podobieństwo dotyczące całego organizmu lub jego poszczególnych elementów, które nie wynika z pokrewieństwa, lecz z prowadzonego trybu życia lub funkcjonowania w podobnym środowisku.

anizogamia – sposób rozmnażania płciowego, który polega na łączeniu się dwóch gamet różniących się pod względem budowy i wielkości: większej gamety żeńskiej (makrogamety) z mniejszą gametą męską (mikrogametą).

antybiotyki – związki stosowane w leczeniu chorób bakteryjnych. Mogą działać bakteriobójczo, powodując śmierć bakterii, lub bakteriostatycznie, hamując ich podziały.

aplanospory – nieruchliwe zarodniki występujące np. u grzybów lądowych.

auksyny – hormony roślinne regulujące wzrost i rozwój roślin. Odpowiadają m.in. za wzrost wydłużeniowy komórek, wzrost i ruchy organów roślinnych, stymulację podziałów komórkowych, powstawanie tkanki przyrannej (kalusowej).

autotrofizm (samożywność) – rodzaj odżywiania się polegający na wytwarzaniu związków organicznych ze związków nieorganicznych. Do autotrofizmu zalicza się fotosyntezę i chemosyntezę.

bakteriofag – wirus atakujący komórki bakterii.

barwniki oddechowe – białka uczestniczące w przenoszeniu tlenu i dwutlenku węgla dzięki zdolności odwracalnego wiązania tych gazów. Należą do nich m.in. hemoglobina i hemocyjanina.

bielmo – tkanka spichrzowa, która otacza zarodek, złożona z komórek triploidalnych. Występuje w nasionach roślin okrytonasiennych.

bielmo pierwotne – występuje w nasionach roślin nagonasiennych. To wielokomórkowy gametofit żeński, który jest zbudowany z miękiszu zawierającego substancje zapasowe wykorzystywane przez zarodek i siewkę.

blastula – wczesne stadium rozwoju zarodka, powstałe w wyniku wielokrotnych podziałów mitotycznych zygoty. Ma postać pęcherzyka, którego ściana jest zbudowana z jednej warstwy komórek, wnętrze jest zaś wypełnione płynem.

bruzdkowanie – pierwszy etap rozwoju zarodkowego, polegający na podziałach mitotycznych zygoty. W efekcie bruzdkowania powstaje blastula.

bulwy – krótkie, silnie zgrubiałe podziemne lub nadziemne łodygi o ograniczonym wzroście. Występują u bylin, np. u kalarepy lub ziemniaka. Są organem rozmnażania wegetatywnego, pełnią funkcje spichrzowe i przetrwalnikowe.

celuloza – polisacharyd budujący ścianę komórkową roślin i niektórych protistów.

cewki – martwe komórki o wrzecionowatym kształcie, które ściśle do siebie przylegają. Budują tkankę przewodzącą u paprotników i roślin nagonasiennych. W ich zdrewniałych ścianach komórkowych znajdują się liczne jamki, przez które woda przepływa z komórki do komórki.

cewki Malpighiego – narządy wydalnicze owadów i niektórych pajęczaków. Są to ślepo zakończone, rurkowate uwypuklenia przewodu pokarmowego, wyrastające na granicy jelita środkowego i jelita tylnego. Z jamy ciała zbierają produkty przemiany materii i przekazują je do wnętrza przewodu pokarmowego, z którego są usuwane przez otwór odbytowy wraz z niestrawionymi resztkami pokarmu.

chemoautotrofy – organizmy autotroficzne, które wytwarzają związki organiczne ze związków nieorganicznych z udziałem energii chemicznej.

chemotaksja – ruch komórki w odpowiedzi na kierunkowy bodziec chemiczny pochodzący ze środowiska zewnętrznego. Może być dodatnia, gdy ruch odbywa się w kierunku związku chemicznego, lub ujemna, gdy ruch odbywa się w kierunku przeciwnym.

chityna – polisacharyd budujący ścianę komórkową grzybów oraz oskórek (pancerz) stawonogów.

chromosom bakteryjny – koliście zamknięta cząsteczka DNA, zawierająca geny niezbędne do prawidłowego funkcjonowania komórki bakterii. Chromosom leży w obszarze cytozolu zwanym nukleoidem.

chwytniki – jedno- lub wielokomórkowe struktury służące do przytwierdzania organizmu do podłoża oraz pobierania z niego wody i składników mineralnych. Występują u mszaków, na przedroślach paprotników, a także u niektórych gatunków protistów roślinopodobnych.

ciernie – 1. sztywne, zaostrzone, silnie zdrewniałe odgałęzienia boczne łodygi. Występują np. u śliwy tarniny. 2. silnie zredukowane, sztywne, zaostrzone i zwykle zdrewniałe liście. Występują np. u kaktusów. Chronią roślinę przed zwierzętami roślinożernymi oraz ograniczają transpirację.

ciśnienie osmotyczne (π) – ciśnienie, jakie panuje na granicy dwóch roztworów przedzielonych błoną półprzepuszczalną. Ciśnienie osmotyczne ma zawsze wartość dodatnią i rośnie wraz ze wzrostem stężenia roztworu.

ciśnienie turgorowe – ciśnienie hydrostatyczne wywierane przez protoplast komórki.

cykl lityczny – proces infekcyjny wirusa, który kończy się rozpadem (lizą) zainfekowanej przez wirusa komórki.

cykl lizogeniczny – proces infekcyjny wirusa, w którym jego kwas nukleinowy zostaje wbudowany w materiał genetyczny komórki i razem z nim ulega replikacji.

cysta – 1. forma przetrwalnikowa bakterii, która powstaje wskutek odwodnienia i otoczenia grubą ścianą całej komórki bakteryjnej. W tym stanie bakteria może oczekiwać na bardziej sprzyjające warunki. 2. stadium rozwojowe pasożytów lub dojrzała postać pasożyta bytująca w tkankach żywiciela.

czapeczka – okrycie stożka wzrostu korzenia zbudowane z tkanki miękiszowej. Chroni stożek wzrostu przed uszkodzeniami mechanicznymi.

dendryty – krótkie, rozgałęzione wypustki neuronu doprowadzające impuls nerwowy do ciała komórki.

desmosomy – połączenia, które łączą sąsiednie komórki nabłonka w sposób mechaniczny.

dymorfizm płciowy – zróżnicowanie budowy zewnętrznej osobników obu płci.

dwupienność – występowanie na różnych osobnikach rodni i plemni lub kwiatów męskich i żeńskich.

efyra – stadium rozwojowe niektórych parzydełkowców. Powstaje w wyniku podziału poprzecznego (strobilizacji) polipa i jest młodą, słabo rozwiniętą meduzą.

ekstremofile – organizmy żyjące w środowiskach ekstremalnych, np. gorących źródłach, solankach czy pokrywach lodowych obszarów okołobiegunowych.

ektoderma – zewnętrzna warstwa zarodka w stadium gastruli, jeden z listków zarodkowych.

endoderma – wewnętrzna warstwa zarodka w stadium gastruli, jeden z listków zarodkowych.

endospora – przetrwalnik powstający u bakterii wskutek podziału komórki na dwie nierówne części, z których mniejsza zostaje otoczona nową, grubą ścianą komórkową.

endosymbioza – rodzaj symbiozy polegający na współżyciu dwóch gatunków, przy czym jeden z nich (prokariotyczny lub eukariotyczny) żyje we wnętrzu komórki lub narządu drugiego (organizmu eukariotycznego).

epiderma – 1. u parzydełkowców: warstwa komórek wywodzących się z ektodermy, okrywająca ciało od zewnątrz. 2. u roślin: skórka pokrywająca pęd rośliny.

filogenetyka – nauka określająca pokrewieństwo ewolucyjne między taksonami.

felogen (miazga korkotwórcza) – wtórna tkanka twórcza roślin, która wytwarza wtórną tkankę okrywającą (korek – felem – oraz pasma tkanki miękiszowej – felodermę).

fimbrie – krótkie, białkowe włókna, występujące u bakterii i archeowców, które umożliwiają m.in. przyczepianie się komórek do podłoża.

fitohormony – drobnocząsteczkowe związki organiczne naturalnie występujące w roślinach, regulujące ich wzrost i rozwój. Do fitohormonów należą m.in. auksyny i etylen.

floem (łyko) – tkanka przewodząca u roślin, zbudowana z komórek żywych (komórki sitowe, człony rurek sitowych, komórki przyrurkowe) oraz komórek martwych (włókna łykowe). Transportuje produkty fotosyntezy z liści i łodygi do pozostałych części roślin.

fotoautotrofy – organizmy autotroficzne, które wytwarzają związki organiczne ze związków nieorganicznych z udziałem energii świetlnej.

gametofit – pokolenie haploidalne roślin, rozmnażające się za pomocą gamet.

gastrula – stadium rozwoju zarodka następujące po blastuli, zbudowane z dwóch (ektodermy i endodermy) lub trzech (ektodermy, mezodermy i endodermy) warstw komórek. Dwuwarstwowa gastrula występuje u parzydełkowców, trójwarstwowa – u pozostałych zwierząt.

genom – kompletna informacja genetyczna organizmu lub wirusa.

gutacja – zjawisko wydzielania kropli wodnistego płynu na brzegach i wierzchołkach liści przez specjalne otwory (hydatody). Zachodzi, gdy transpiracja jest utrudniona, a zawartość wody w glebie – duża.

halofit (roślina słonolubna, słonoroślę) – roślina naturalnie występująca w środowisku o silnym zasoleniu.

hemolimfa – płyn krążący w otwartych układach krwionośnych stawonogów i większości mięczaków, który pełni funkcje analogiczne do krwi i limfy. Jej charakterystycznymi składnikami są zdolne do fagocytozy komórki pełzakowate oraz rozpuszczone w osoczu barwniki przenoszące tlen i dwutlenek węgla.

hermafrodytyzm (obojnactwo) – występowanie u jednego osobnika jednocześnie męskich i żeńskich narządów rozrodczych, wytwarzających komórki jajowe i plemniki. Występuje przede wszystkim u bezkręgowców, m.in. płazińców, pierścienic, ślimaków.

heterotrofizm (cudzożywność) – rodzaj odżywiania się, który polega na pobieraniu związków organicznych wytworzonych przez inne organizmy.

higrofity – rośliny stanowisk wilgotnych.

hipoderma – jednowarstwowy nabłonek o budowie komórkowej lub syncytialnej, występujący pod oskórkiem u niektórych gatunków zwierząt bezkręgowych, np. nicieni.

homologia – podobieństwo całego organizmu lub jego poszczególnych elementów budowy, wynikające ze wspólnego pochodzenia.

hydrofity – rośliny wodne.

hymenofor – spodnia część owocnika grzybów zawierająca warstwę rodzajną (hymenium). Hymenofory mają postać blaszek (np. u pieczarek) lub rurek (np. u borowików).

izogamia – sposób rozmnażania płciowego polegający na łączeniu się dwóch gamet: męskiej i żeńskiej, identycznych pod względem morfologicznym (izogamety).

jednopienność – występowanie na tym samym osobniku rodni i plemni lub kwiatów męskich i kwiatów żeńskich.

kalus – tkanka przyranna. Występuje w miejscach uszkodzenia rośliny i uczestniczy w zasklepianiu uszkodzonych tkanek.

kambium – wtórna tkanka twórcza roślin. Powoduje wtórny przyrost na grubość korzeni i łodyg, wytwarza łyko wtórne i drewno wtórne.

kapsyd – białkowa otoczka wirusa złożona z niewielkich jednostek strukturalnych (kapsomerów). Zapewnia wirusowi ochronę i umożliwia mu rozpoznawanie komórek gospodarza.

kiełkowanie epigeiczne (nadziemne) – kiełkowanie roślin polegające na tym, że szybciej wydłuża się hipokotyl, czyli podliścieniowa część łodygi. Liścienie zostają wyniesione ponad powierzchnię gleby i pełnią funkcję organu przeprowadzającego fotosyntezę do momentu wykształcenia się liści. Występuje np. u fasoli, słonecznika, dyni.

kiełkowanie hipogeiczne (podziemne) – kiełkowanie roślin polegające na tym, że szybciej wydłuża się epikotyl, czyli nadliścieniowa część łodygi. Liścienie zostają pod ziemią, a fotosyntezę zaczynają przeprowadzać pierwsze liście. Występuje np. u grochu, leszczyny.

kłącza – wieloletnie, zgrubiałe, podziemne łodygi. Występują u paprotników i bylin, np. u imbiru, konwalii oraz kosaćca. Pełnią funkcje spichrzową i przetrwalnikową, są organem rozmnażania wegetatywnego.

kolenchyma (zwarcica) – rodzaj tkanki wzmacniającej. Jest zbudowana z żywych, wydłużonych, ściśle do siebie przylegających komórek o nierównomiernie zgrubiałych ścianach komórkowych. Występuje głównie w rosnących pędach roślin.

komórka płomykowa – komórka wydalnicza występująca u płazińców. Ma w środku kanalik, wewnątrz którego znajduje się pęczek wici ułożonych w kształt płomienia. Komórki płomykowe odprowadzają z jamy ciała nadmiar wody i produkty przemiany materii, a ruch wici powoduje przemieszczanie się tych związków w kierunku otworów wydalniczych.

kompleks sorpcyjny – kompleks stałych elementów gleby, utworzony przez koloidy glebowe (wiążące K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}, NH_4^+). Stanowi źródło substancji mineralnych dla roślin.

koneksony – kompleksy białkowe tworzące kanały, przez które kontaktują się cytoplazmy sąsiadujących komórek u zwierząt.

kosmopolityczny organizm – organizm o szerokim zasięgu geograficznym, występujący na całym świecie lub na większości kontynentów.

kosmówka – najbardziej zewnętrzna błona płodowa zarodka owodniowców. Pośredniczy w odżywianiu zarodka i wymianie gazowej pomiędzy zarodkiem a środowiskiem.

kserofity – rośliny stanowisk suchych. Zalicza się do nich sklerofity i sukulenty.

ksylem (drewno) – tkanka przewodząca u roślin zbudowana z komórek martwych (cewki, człony naczyń, włókna drzewne) oraz komórek żywych (miękisz drzewny). Transportuje wodę i sole mineralne w kierunku od korzeni do łodygi i liści.

kutner – warstwa martwych włosków kutnerowatych na powierzchni pędów roślin. Chroni rośliny przed nadmierną transpiracją oraz niekorzystną temperaturą.

kutykula – 1. u roślin: ochronna warstwa kutyny na epidermie chroniąca przed nadmiernym wyparowywaniem wody, wnikaniem drobnoustrojów chorobotwórczych i urazami mechanicznymi. 2. u zwierząt: warstwa ochronna (oskórek) wytwarzana przez komórki nabłonka u części bezkręgowców.

kutyna – substancja o charakterze lipidowym, nieprzepuszczająca wody i gazów, odporna na działanie czynników chemicznych. Tworzy warstwę ochronną (kutykulę) na powierzchni nadziemnych części roślin.

kwas moczowy – nietoksyczny, bardzo słabo rozpuszczalny w wodzie produkt azotowej przemiany materii, wydalany przez niektóre zwierzęta, m.in. owady, ślimaki lądowe, gady i ptaki.

lęgnia – jednokomórkowe gametangium żeńskie, występujące m.in. u protistów roślinopodobnych i grzybów.

lignina – substancja wysycająca ściany komórkowe elementów przewodzących drewna oraz komórek sklerenchymatycznych.

listki zarodkowe – warstwy komórek budujących zarodek, powstające podczas gastrulacji. Zwierzęta mogą wykształcać dwa listki zarodkowe: ektodermę i endodermę (zwierzęta dwuwarstwowe) lub trzy listki zarodkowe: ektodermę, endodermę i mezodermę (zwierzęta trójwarstwowe).

liścienie – liście zarodkowe, pierwsze liście powstające w zarodku roślin nasiennych.

łagiewka pyłkowa – struktura powstająca podczas kiełkowania ziaren pyłku u roślin nasiennych. Służy do transportu komórek plemnikowych do gametofitu żeńskiego, dzięki czemu dochodzi do zapłodnienia.

łożysko – narząd występujący w macicy ciężarnych samic ssaków łożyskowych. Umożliwia wymianę substancji między zarodkiem a organizmem matki.

merystem – tkanka twórcza roślin, zbudowana z żywych komórek zdolnych do regularnych podziałów mitotycznych, w wyniku których powstają nowe generacje komórek różnicujących się w tkanki. Dzięki temu zachodzi wzrost organów już istniejących lub tworzą się nowe organy.

metanefrydium – narząd, który pełni funkcje wydalnicze i osmoregulacyjne u pierścienic. Jest zbudowany z orzęsionego lejka, który otwiera się do jamy ciała i filtruje płyn celomatyczny, oraz z przewodu wydalniczego, który otwiera się do środowiska w następnym segmencie ciała.

mezoderma – środkowa warstwa zarodka w stadium gastruli, jeden z listków zarodkowych. Występuje u trójwarstwowców.

mezofity – rośliny stanowisk umiarkowanie wilgotnych.

miękisz – stała tkanka roślinna zbudowana z żywych komórek. Stanowi główną część organów roślin. Może ulegać przekształceniu do wtórnych tkanek twórczych. Ze względu na budowę i pełnione funkcje dzieli się na miękisz: zasadniczy, asymilacyjny, spichrzowy i powietrzny.

mikoryza – symbioza między roślinami a grzybami. Strzępki grzyba oplatają korzenie roślin (mikoryza ektotroficzna) lub wnikają do wnętrza komórek korzenia (mikoryza endotroficzna). Grzyb zapewnia roślinie lepszy dostęp do wody, składników mineralnych oraz substancji regulujących wzrost i rozwój, natomiast korzenie dostarczają grzybowi substancje organiczne wytworzone przez roślinę podczas fotosyntezy.

miksocel – jama ciała stawonogów, powstała podczas rozwoju zarodkowego w wyniku połączenia pozostałości pierwotnej jamy ciała (blastocelu) z jamą wtórną (celomą).

mitospory – zarodniki powstające w wyniku mitozy, np. u grzybów.

mejospory – haploidalne zarodniki powstające w wyniku mejozy, np. u grzybów i roślin.

mocznik – produkt rozkładu białek wydalany przez ryby chrzęstnoszkieletowe, dorosłe płazy i ssaki.

mureina – związek chemiczny z grupy pepydoglikanów, budujący ścianę komórkową bakterii.

naczynia – 1. u roślin: elementy drewna (ksylemu), długie rurki zbudowane z martwych komórek (członów naczyń) ułożonych jedna na drugiej. Uczestniczą w transporcie wody i soli mineralnych, nadają organom roślinnym sztywność i mechaniczną wytrzymałość. 2. u zwierząt: elementy układu krwionośnego, którymi płynie krew lub limfa.

narząd tympanalny (bębenkowy) – narząd owadów rejestrujący dźwięki. Ma postać cienkich, kutykularnych błon, rozpiętych w specjalnych jamkach pancerza. Jest zlokalizowany na odnóżach krocznych (prostoskrzydłe, np. świerszcz domowy), u podstawy pierwszej pary skrzydeł lub na granicy tułowia i odwłoka (motyle).

narządy homologiczne – narządy o wspólnym pochodzeniu, niekoniecznie podobne do siebie, np. kończyny przednie: płetwa foki i skrzydło nietoperza.

narządy analogiczne – narządy niemające wspólnego pochodzenia, lecz zewnętrznie podobne do siebie wskutek pełnienia takich samych funkcji, np. skrzydło owada i skrzydło ptaka.

nasiona – organy przetrwalnikowe roślin nasiennych, składające się z zarodka, tkanki spichrzowej i łupiny nasiennej. Służą do rozprzestrzeniania się roślin nasiennych.

nastie – reakcje ruchowe organów roślinnych niezależne od kierunku działania bodźca. Są zwykle ruchami turgorowymi, rzadziej – wzrostowymi. Przykładem jest składanie się pierzastych liści mimozy w odpowiedzi na działanie bodźca mechanicznego.

neotenia – zjawisko osiągania dojrzałości płciowej i zdolności do rozrodu w stadium larwalnym. Występuje m.in. u aksolotla – larwy ambystomy meksykańskiej.

neuron – komórka nerwowa zbudowana z ciała komórki oraz dwóch rodzajów wypustek: dendrytów i aksonu. Przewodzi impulsy nerwowe.

nóżki ambulakralne – zakończenia odgałęzień układu ambulakralnego (wodnego) szkarłupni.

odwrotna transkryptaza – enzym, który umożliwia odwrotną transkrypcję, czyli przepisanie informacji z RNA na DNA. Występuje u retrowirusów, m.in. u wirusa HIV.

okolnica (perycykl) – zewnętrzna warstwa walca osiowego w korzeniu. Jest zbudowana z komórek miękiszowych, które zachowały zdolność podziałową. Funkcją okolnicy jest m.in. wytwarzanie korzeni bocznych.

ommatidium – element budujący oko złożone, zawierający aparat optyczny, a także komórki receptorowe i barwnikowe. Występuje m.in. u owadów.

omocznia – błona płodowa zarodka owodniowców, która znajduje się między owodnią a kosmówką. Omocznia magazynuje zbędne produkty przemiany materii zarodka. Ma zdolność do zwrotnego wchłaniania wody, dzięki czemu woda może być wielokrotnie wykorzystana przez zarodek.

oogamia – proces zapłodnienia, w którym uczestniczą duża, nieruchliwa gameta żeńska (komórka jajowa) i znacznie mniejsza, ruchliwa gameta męska (plemnik).

ości – drobne, skostniałe ścięgna występujące w mięśniach ryb o kostnym szkielecie.

otolity (statolity) – kryształki węglanu wapnia lub fosforanu wapnia znajdujące się w narządach zmysłu równowagi zwierząt. Zmiana położenia organizmu w przestrzeni powoduje zmianę położenia otolitów, a tym samym – podrażnienie komórek zmysłowych i przekazanie przez nie bodźca do układu nerwowego. U poszczególnych grup zwierząt otolity są zlokalizowane w różnych miejscach, np. u kręgowców występują w błędniku błoniastym.

owodnia – błona płodowa bezpośrednio otaczająca zarodek owodniowców. Tworzy komorę, w której znajduje się płyn zapewniający zarodkowi środowisko wodne.

parapodia – pranóża, dwugałęziste wyrostki boczne z chitynowo-białkowymi szczecinami, funkcjonujące jako narządy lokomotoryczne u wieloszczetów.

parcie korzeniowe – mechanizm, który wykorzystuje dodatnie ciśnienie hydrostatyczne do tłoczenia wody w górę (od korzeni do łodygi i liści). Jego przejawem jest gutacja oraz tzw. wiosenny płacz roślin.

parenchyma – wywodząca się z mezodermy tkanka wypełniająca przestrzenie między narządami. Występuje u płazińców. Składa się z różnokształtnych komórek połączonych wypustkami, które m.in. rozprowadzają substancje odżywcze do innych tkanek.

partenogeneza (dzieworództwo) – rodzaj rozmnażania polegający na rozwoju organizmu potomnego z niezapłodnionego jaja. Występuje u nicieni, niektórych owadów i skorupiaków.

pasożytnictwo – rodzaj oddziaływania, w którym jeden organizm, nazywany pasożytem, żyje kosztem drugiego organizmu, nazywanego żywicielem.

pellikula – zewnętrzna powłoka zbudowana m.in. z błony komórkowej i znajdujących się pod nią mikrotubul. Występuje u niektórych protistów (np. orzęsków). Nadaje komórce wytrzymałość i giętkość.

peryderma (korkowica) – tkanka okrywająca u roślin wieloletnich. W jej skład wchodzą: miazga korkotwórcza (felogen), miękisz (feloderma) i korek (felem). Felogen to tkanka merystematyczna, która wytwarza dwa pozostałe składniki korkowicy.

pęd – zwykle nadziemna część rośliny, zbudowana z łodygi, liści oraz organów generatywnych.

pierwotna jama ciała (blastocel) – wypełnione płynem wnętrze blastuli.

pilusy – długie, białkowe włókna, występujące u bakterii i archeowców, które uczestniczą w procesach płciowych.

plazmid – mała, kolista cząsteczka DNA stanowiąca część genomu, m.in. bakterii. Zawiera geny warunkujące cechy, które nie zawsze są niezbędne do życia (np. oporność na antybiotyki).

plecha – ciało słabo zróżnicowane lub niezróżnicowane na tkanki. Nie wyróżnia się w nim także organów. Występuje np. u protistów wielokomórkowych, roślin pierwotnie wodnych.

plemnia – gametangium męskie, komórka lub struktura rośliny, w którym powstają gamety męskie.

podwójne oddychanie – mechanizm wymiany gazowej u ptaków, charakteryzujący się tym, że świeże powietrze przepływa przez płuca zawsze w jednym kierunku (od tyłu do przodu), zarówno podczas wdechu, jak i podczas wydechu.

podwójne zapłodnienie – typ zapłodnienia występujący u roślin okrytonasiennych. Polega na tym, że jedna z komórek plemnikowych łączy się z komórką jajową, w wyniku czego powstaje zygota, z której rozwija się zarodek, natomiast druga komórka plemnikowa łączy się z komórką centralną woreczka zalążkowego, dając początek bielmu – tkance spichrzowej nasienia.

pokładełko – specjalny narząd w postaci rurki u owadów, umożliwiający składanie jaj np. w glebie, pod korą drzew, a nawet we wnętrzu ciała innych zwierząt. Dzięki temu jaja są zabezpieczone przed wpływem środowiska, a larwy po wykluciu mają zapewnione pożywienie.

polimeraza DNA – enzym, który przeprowadza replikację DNA, czyli proces powielania DNA, prowadzący do powstania dwóch cząsteczek DNA identycznych z cząsteczką wyjściową.

polimeraza RNA – enzym, który przeprowadza transkrypcję, czyli przepisanie informacji z DNA na mRNA.

połączenia szczelinowe (neksus) – połączenia, które umożliwiają transport jonów i małych cząsteczek polarnych między komórkami. Są zbudowane z koneksonów.

połączenia zamykające – połączenia występujące wyłącznie w tkankach nabłonkowych, usytuowane w szczytowych częściach komórek. Uszczelniają warstwę nabłonka.

potencjał ciśnienia turgorowego (potencjał turgorowy) – wpływ napięcia ściany komórkowej na potencjał wody. Przyjmuje wartości dodatnie, ujemne lub wartość równą zeru.

potencjał wody – Ψ_W (psi) – wyrażany w megapaskalach (MPa), jest miarą zdolności komórki do pobierania lub oddawania wody na drodze osmozy. Zależy od potencjału osmotycznego roztworu – Ψ_S – oraz od potencjału ciśnienia turgorowego – Ψ_P.

pranercze – parzysty narząd wydalniczy większości ryb i larw płazów. Składa się z orzęsionych lejków i kłębuszków nerkowych.

pręcik – 1. u roślin: męski organ rozmnażania płciowego występujący w kwiatach roślin nasiennych. 2. u zwierząt: jeden z rodzajów komórek receptorowych występujących w siatkówce oka kręgowców. Pręciki umożliwiają rozróżnianie kształtów oraz rejestrowanie ruchu.

procesy płciowe (paraseksualne) – procesy, które zapewniają rekombinację materiału genetycznego, ale nie prowadzą do zwiększenia się liczby osobników populacji. Występują m.in. u bakterii (koniugacja, transformacja, transdukcja) oraz u orzęsków (koniugacja).

profag – wirus, który wbudował swój genom w genom komórki bakterii.

prowirus – wirus, który wbudował swój genom w genom komórki gospodarza.

protonefrydia – narządy wydalnicze występujące u niektórych bezkręgowców (np. płazińców). Składają się z systemu rozgałęzionych, biegnących wzdłuż ciała kanałów, które z jednej strony otwierają się na zewnątrz otworami wydalniczymi, a z drugiej strony są zakończone komórkami płomykowymi.

przednercze – narząd wydalniczy występujący w rozwoju zarodkowym kręgowców. Składa się wyłącznie z orzęsionych lejków.

przetchlinka – 1. u roślin: zespół luźno ułożonych komórek, między którymi występują obszerne przestwory międzykomórkowe. Umożliwia wymianę gazową między wnętrzem organu a otoczeniem. 2. u stawonogów: otwory w ścianie ciała, którymi powietrze dostaje się do tchawek lub płucotchawek.

przetrwalniki – twory wytwarzane przez organizmy (np. cysty lub endospory u bakterii) w niesprzyjających warunkach środowiska (zima, susza), odporne na czynniki fizyczne i chemiczne. W sprzyjających warunkach rozwijają się z nich organizmy aktywne metabolicznie.

pseudopodia (nibynóżki) – różnokształtne wypustki cytoplazmatyczne. Umożliwiają ruch komórek, odżywianie się na drodze endocytozy i reagowanie na bodźce. Występują m.in. u niektórych gatunków protistów.

rabdity – struktury w kształcie pręcików wytwarzane przez komórki nabłonka niektórych płazińców (wirokształtnych). Pełnią funkcje obronne i ułatwiają zdobywanie pokarmu. Mogą być wyrzucane na zewnątrz ciała w razie jego podrażnienia.

rodnia – gametangium żeńskie zbudowane z kilku komórek, w którym powstają gamety żeńskie. Występuje u mszaków, paprotników oraz nagonasiennych.

ropalia (ciałka brzeżne) – struktury występujące u meduz w obwodowej części parasola, zawierające narządy równowagi (statocysty) i skupiska komórek światłoczułych (tzw. oczka).

rośliny monokarpiczne – rośliny, które kwitną i wytwarzają owoce tylko raz w ciągu życia.

rośliny polikarpiczne – rośliny, które kwitną i owocują wiele razy w ciągu życia.

rośliny partenokarpiczne – rośliny, które wytwarzają owoce beznasienne.

rozłogi – odgałęzienia dolnej części nadziemnego pędu, płożące się po powierzchni ziemi. Występują u wielu roślin zielnych, np. u pięciornika, truskawki lub niektórych traw. Są organami rozmnażania wegetatywnego.

rozmnażanie bezpłciowe – rodzaj rozmnażania, w którym nie powstają nowe kombinacje genów. Dzięki temu potomstwo jest identyczne genetycznie z osobnikiem rodzicielskim, co prowadzi do ograniczenia zmienności genetycznej gatunku. Podstawowym procesem związanym z rozmnażaniem bezpłciowym jest mitoza.

rozmnażanie płciowe – rodzaj rozmnażania, któremu towarzyszy powstawanie nowych kombinacji genów. Dzięki temu potomstwo różni się genetycznie od osobników rodzicielskich, co prowadzi do zwiększenia zmienności genetycznej gatunku. Z rozmnażaniem płciowym związane są dwa procesy: mejoza oraz zapłodnienie.

rozmnóżki – struktury plechy porostów służące do rozmnażania bezpłciowego, formujące się wewnątrz plechy i wydostające się przez jej pęknięcia. Zawierają od jednej do kilku komórek zielenic lub sinic otoczonych strzępkami grzyba.

ryzoderma – skórka korzenia. Komórki ryzodermy zawierają duże wakuole i wytwarzają włośniki – długie wyrostki, które wielokrotnie zwiększają powierzchnię chłonną korzenia oraz pobierają wodę i sole mineralne.

saprobionty – organizmy cudzożywne, które żywią się martwą materią organiczną.

segmentacja (metameria) – podział ciała zwierząt na odcinki o podobnym planie budowy. Wyróżnia się segmentację homonomiczną (gdy segmenty są do siebie bardzo podobne i mają podobny zestaw narządów, np. u pierścienic) oraz segmentację heteronomiczną (gdy segmenty różnią się od siebie, np. u stawonogów).

sklereidy – komórki, które mogą występować w niewielkich grupach, np. w miękiszu owocu gruszy bądź pigwy (komórki żywe), lub tworzyć zwarte warstwy w formie łupin nasiennych albo zdrewniałych owocni (komórki martwe).

siła ssąca – mechanizm, który wykorzystuje transpirację do podciągania wody w elementach przewodzących drewna wbrew sile grawitacji.

sklerenchyma (twardzica) – rodzaj tkanki wzmacniającej, która składa się zwykle z martwych komórek pozbawionych protoplastu. Ich wtórne ściany komórkowe są grube i najczęściej zdrewniałe – wysycone ligniną.

sklerofity – rośliny należące do kserofitów, które wydajnie ograniczają transpirację.

skórka – pierwotna tkanka okrywająca roślin, zbudowana najczęściej z pojedynczej warstwy żywych, ściśle do siebie przylegających komórek. Wyróżnia się dwa rodzaje skórki: epidermę i ryzodermę.

słupek – żeński organ rozmnażania płciowego występujący w kwiatach roślin okrytonasiennych.

sporofil (liść zarodnionośny) – liść, na którym występują zarodnie (sporangia).

sporofilostan (kłos zarodnionośny) – skupienie liści zarodnionośnych (sporofili). Występuje np. u widłaków i skrzypów.

sporofit – pokolenie diploidalne u roślin, rozmnażające się za pomocą haploidalnych zarodników.

sporotrofofil – liść, który łączy funkcje zarodnionośną i asymilacyjną.

statocysta – narząd zmysłu równowagi występujący m.in. u parzydełkowców, płazińców i mięczaków. Składa się z wypełnionego płynem pęcherzyka, utworzonego przez komórki nabłonka czuciowego, oraz z kryształów mineralnych (statolity, otolity). Odchylenie ciała od pionu powoduje ruch płynu, zmianę położenia statolitów/otolitów i pobudzenie komórek zmysłowych, które przekazują impuls do układu nerwowego.

stek (kloaka) – końcowy odcinek układu pokarmowego, do którego uchodzą przewody układów rozrodczego, wydalniczego i pokarmowego, zakończony odbytem. Jest umiejscowiony zwykle na końcu tułowia. Występuje u wielu gatunków ryb, wszystkich płazów, gadów, ptaków i stekowców.

strobilizacja – sposób rozmnażania bezpłciowego polipów krążkopławów. Polega na podziale poprzecznym polipa na liczne krążki, które po oderwaniu się od jego ciała stają się efyrami (niedojrzałymi płciowo meduzami).

strobila – 1. ciało polipa krążkopławów w trakcie strobilizacji. 2. ciało tasiemca zbudowane z setek członów w różnym stadium rozwoju.

struna grzbietowa – szkielet wewnętrzny w postaci elastycznego pręta zbudowanego z ciasno upakowanych komórek tkanki łącznej. U większości strunowców występuje tylko w okresie rozwoju zarodkowego.

suberyna – substancja lipidowa powlekająca komórki korka (felemu).

sukulenty – rośliny należące do kserofitów, które magazynują wodę.

surowica odpornościowa – osocze krwi pozbawione fibrynogenu, w którym znajdują się przeciwciała skierowane przeciw konkretnemu rodzajowi wirusa lub przeciw określonej toksynie.

susza fizjologiczna – stan, w którym woda występująca w podłożu jest niedostępna lub słabo dostępna dla roślin, np. podczas zimy, kiedy woda w glebie zamarza.

symbioza – rodzaj oddziaływania między dwoma organizmami przynoszący korzyść każdemu z nich.

synapsa – wyspecjalizowane połączenie między aksonem komórki nerwowej a inną komórką (neuronem, receptorem, komórką mięśniową lub komórką gruczołową), pozwalające na przekazywanie impulsu nerwowego. Wyróżnia się synapsy chemiczne i elektryczne.

synapsa chemiczna – połączenie między komórkami, w którym impuls nerwowy jest przekazywany za pomocą neuroprzekaźnika.

synapsa elektryczna – połączenie między komórkami, w których impuls nerwowy jest przekazywany bezpośrednio z jednej komórki do drugiej przez kanały koneksonów.

system taksonomiczny – system klasyfikacji organizmów, utworzony w wyniku podziału organizmów na grupy zwane taksonami. Ma strukturę hierarchiczną.

systematyka – dział biologii zajmujący się klasyfikacją organizmów, czyli ich podziałem na grupy zwane taksonami.

szczepionka – preparat biologiczny przeznaczony do wywołania odporności na określoną chorobę.

takson monofiletyczny (klad) – naturalna grupa organizmów obejmująca wspólnego przodka oraz wszystkich jego potomków (np. ssaki).

takson parafiletyczny – sztuczna grupa organizmów. Wywodzi się od jednego przodka, ale w odróżnieniu od grupy naturalnej nie obejmuje wszystkich jego potomków (np. gady).

takson polifiletyczny – sztucznie wyodrębniona grupa organizmów. Obejmuje organizmy wywodzące się od różnych przodków i bardzo daleko ze sobą spokrewnione (np. glony, do których zalicza się rośliny, protisty i bakterie).

taksje – reakcje ruchowe małego, prostego organizmu lub komórki (np. bakterii, roślin pierwotnie wodnych, plemników) w odpowiedzi na bodźce fizyczne lub chemiczne pochodzące ze środowiska zewnętrznego. Mogą być dodatnie (przemieszczanie się w kierunku bodźca) lub ujemne (przemieszczanie się w kierunku przeciwnym do bodźca). W zależności od rodzaju bodźca wyróżnia się m.in. chemotaksje (reakcje na bodziec chemiczny), termotaksje (reakcje na zmiany temperatury), fototaksje (reakcje na światło).

taksonomia – nauka określająca reguły klasyfikacji i nazewnictwa systematycznego organizmów.

termofil – organizm naturalnie występujący w środowisku o wysokiej temperaturze.

tkanka zarodnikotwórcza (archesporialna) – tkanka, która występuje w zarodniach, gdzie uczestniczy w wytwarzaniu zarodników.

torfowiska – zbiorowiska roślinne rozwijające się na terenach podmokłych. Ich głównym składnikiem są mchy – torfowce.

translacja – proces syntezy białek zgodnie z informacją zawartą w mRNA.

transpiracja – zjawisko parowania wody z nadziemnych części rośliny, odbywające się przez aparaty szparkowe, przetchlinki i kutykulę.

transport apoplastyczny – transport, który odbywa się wzdłuż ścian komórkowych w przestrzeniach między włóknami celulozy oraz w przestrzeniach międzykomórkowych.

transport symplastyczny – transport, który zachodzi przez protoplasty sąsiadujących komórek. Woda przekracza błonę komórkową tylko raz, a dalej jest przenoszona za pomocą plazmodesm.

transport transmembranowy – transport, który odbywa się przez protoplasty sąsiadujących komórek. Woda przekracza błonę komórkową (membranę) wielokrotnie – za każdym razem, gdy przechodzi z komórki do komórki.

trofofil – liść, który pełni funkcję asymilacyjną.

tropizmy – ruchy organów roślinnych w odpowiedzi na bodziec zewnętrzny działający kierunkowo. Kierunek ruchu organu zależy od kierunku działania bodźca. Jeśli wygięcie organu zachodzi w kierunku działania bodźca, to jest to tropizm dodatni, jeśli natomiast zachodzi w stronę przeciwną, to jest to tropizm ujemny. Większość tropizmów jest uwarunkowana działaniem auksyn, które stymulują wzrost wydłużeniowy komórek. W zależności od rodzaju bodźca wyróżnia się m.in. chemotropizm (reakcja na bodziec chemiczny), fototropizm (reakcja na światło), geotropizm (reakcja na przyciąganie ziemskie).

turgor – stan napięcia ściany komórkowej poddanej działaniu ciśnienia hydrostatycznego (turgorowego), wywieranego przez protoplast komórki. Efektem turgoru jest stan jędrności tkanek roślinnych.

tylakoidy – struktury, które uczestniczą w fotosyntezie. Występują w chloroplastach oraz u bakterii fotosyntetyzujących.

układ ambulakralny (układ wodny) – system kanalików wypełnionych płynem, występujący wyłącznie u szkarłupni. Pełni wiele funkcji, m.in. umożliwia ruch, uczestniczy w wymianie gazowej, odżywianiu się i transporcie substancji, bierze udział w wydalaniu zbędnych lub szkodliwych produktów przemiany materii, a także umożliwia odbiór bodźców ze środowiska zewnętrznego.

wibrysy – włosy czuciowe, z reguły długie i sztywne. Stanowią bardzo czuły narząd dotyku. Występują u wielu gatunków ssaków, najczęściej na głowie. U zwierząt wibrysy wargi górnej są nazywane wąsami.

wirion – kompletna cząstka wirusa występująca w środowisku pozakomórkowym, zdolna do atakowania komórek.

wiosenny płacz roślin – zjawisko polegające na wypływaniu wodnistego płynu z pnia drzewa naciętego wczesną wiosną, kiedy nie działa jeszcze siła ssąca transpirujących liści.

wirus – czynnik zakaźny zbudowany z kwasu nukleinowego i białka. W skład niektórych wirusów mogą wchodzić dodatkowe elementy budulcowe.

włośniki – cytoplazmatyczne wypustki komórek ryzodermy (skórki korzenia), które zwiększają powierzchnię chłonną korzenia.

włókna sklerenchymatyczne – rodzaj komórek sklerenchymy. Są zwykle martwe, a ich ściany komórkowe wysyca lignina. Do włókien sklerenchymatycznych zalicza się m.in. włókna drzewne oraz włókna łykowe. Szczególnie długie są włókna łykowe lnu, konopi i juty, dlatego wykorzystuje się je m.in. do wyrobu tkanin.

woreczek pyłkowy – struktura występująca u roślin nasiennych, homologiczna z zarodnią (mikrosporangium). Rozwijają się w nim mikrospory, a następnie gametofity męskie (ziarna pyłku).

wtórna jama ciała (celoma) – przestrzeń w ciele zarodka otoczona mezodermą i wypełniona płynem, pojawiająca się w trakcie rozwoju zarodkowego pierścienic, stawonogów, mięczaków, szkarłupni, strunowców.

zalążek – struktura występująca u roślin nasiennych, homologiczna z zarodnią (makrosporangium). Rozwijają się w nim makrospory, a następnie gametofit żeński (bielmo pierwotne lub woreczek zalążkowy). Po zapłodnieniu przekształca się w nasienie.

zanercze (nerka ostateczna) – parzysty narząd wydalniczy występujący u dorosłych gadów, ptaków i ssaków. Jego podstawowym elementem funkcjonalnym jest nefron złożony z ciałka nerkowego i kanalików nerkowych (kanalików nefronów). Filtracja zachodzi w ciałku nerkowym (filtracja kłębuszkowa).

zapłodnienie – połączenie się gamety żeńskiej z gametą męską. W wyniku zapłodnienia powstaje zygota.

zarodnia – jedno- lub wielokomórkowy organ, wewnątrz którego powstają zarodniki. Występuje u protistów, grzybów i roślin.

zarodnik (spora) – komórka służąca do rozmnażania się protistów, grzybów i roślin.

zoospory – ruchliwe zarodniki zaopatrzone w wici wytwarzane przez większość protistów roślinopodobnych i niektóre protisty grzybopodobne.

zwierzęta amonioteliczne – zwierzęta, u których końcowym produktem azotowej przemiany materii jest amoniak. Należą do nich zwierzęta wodne, tj. niektóre bezkręgowce, ryby i żółwie wodne.

zwierzęta ureoteliczne – zwierzęta, u których końcowym produktem azotowej przemiany materii jest mocznik. Należą do nich przede wszystkim zwierzęta lądowe, m.in. płazy i ssaki.

zwierzęta urikoteliczne – zwierzęta, u których końcowym produktem azotowej przemiany materii jest kwas moczowy. Należą do nich zwierzęta lądowe, które prowadzą oszczędną gospodarkę wodną, związaną z wykształceniem zdolności lotu (owady, ptaki) lub życiem w środowiskach suchych, np. na pustyniach (gady pustynne).

zygota – komórka powstała w wyniku zapłodnienia, czyli połączenia się komórki jajowej z plemnikiem.

Indeks

A
akson 251, 252, 419
amoniak 26, 198, 236, 237, 286, 299, 311, 320, 350, 351, 374, 410, 426
anabioza 27, 419
analogia 16, 419
anapsydy 371
anizogamia 41, 62, 419
aparat
– czepny 270
– gębowy 292, 303
– optyczny 298, 422
– szczękowy (patrz: latarnia Arystotelesa)
– szparkowy 84, 86, 102, 110–113, 162, 163, 184, 186, 194, 195, 223
aplanospory 39, 54, 419
apoplast 178, 179, 190
archeowce 19, 20, 29–31, 60
auksyny 199–200, 207–211, 215, 216, 224–225, 419, 420

B
bakterie
– asymilujące azot 26
– autotroficzne 19, 21, 25
– beztlenowe 25, 27
– cylindryczne 23
– denitryfikacyjne 27, 61
– glebowe 24, 26, 198
– Gram-dodatnie 21, 22, 60
– Gram-ujemne 21, 22, 60
– heterotroficzne 19, 20, 24
– kuliste 23
– nieregularne 23
– nitryfikacyjne 26, 61, 198
– pasożytnicze 31
– spiralne 23
– symbiotyczne 26, 30, 31, 198
– tlenowe 27
bakteriofagi 7–10, 28, 58, 61, 419
blastula 233, 419
bruzdkowanie 233, 419
bezczaszkowce 335
bezowodniowce 336, 340, 404
bielmo 144, 145, 151, 211, 419
– pierwotne 133, 135–137, 167, 169, 419
bilans wodny 120, 187, 220, 221
blastocel 233, 423
blastula 233, 419
blaszki skrzelowe 346, 347
błędnik 349, 399
brunatnice 36, 43, 48, 74
bruzdkowanie 233, 419
bulwy 87, 100, 106, 151, 161, 197, 198, 209, 213, 419

C
celoma 233–235, 281, 306, 314, 334, 426
celuloza 24, 30, 33, 62, 72, 74, 77, 78, 81, 88, 397, 419
cewka nerwowa 335, 404
cewki Malpighiego 299, 326, 419
chemoreceptory 268, 277, 285, 298, 310, 373
chromosom bakteryjny 20, 21, 60, 419
chwytniki 43, 46, 73, 74, 77, 116–118, 123, 124, 126, 128, 156, 164–166, 419
ciałka brzeżne (patrz: ropalia)
ciernie 107, 114, 161, 419
ciśnienie
– cząstkowe (parcjalne) 347
– turgorowe 180, 181, 197, 223, 419
– hydrostatyczne 181, 182, 196, 197, 220
– osmotyczne 180, 419
cykl
– infekcyjny wirusów 8–11
– lityczny 8, 58, 420
– lizogeniczny 9, 58, 420
cysty
– bakterii 27, 61
– bezkręgowców 269, 273, 280
człony naczyń 90, 179
człony rurek sitowych 91, 197, 223

D
dendryty 251, 252, 420
desmosomy 242, 420
diapsydy 371
drewno (ksylem) 78, 79, 81, 90, 92, 104, 105, 110, 122, 124, 130, 133, 137, 140, 151, 157, 158, 176–179, 181, 182, 220
– pierwotne 95–97, 102, 103, 159, 161
– wtórne 96, 97, 103, 159, 161, 208
drzewo rodowe 17, 19, 340
dymorfizm płciowy 277, 300, 311, 352, 363, 374, 386, 401, 420
dzieworództwo (patrz: partenogeneza)

E
efyra 262, 263, 420, 424
ektoderma 233, 235, 238, 251, 257, 320, 420
endoderma
– u roślin (patrz: śródskórnia)
– u zwierząt 233–235, 238, 257, 266, 320, 420
endospory 27, 61, 419, 420
epiderma
– u roślin 84–86, 88, 92, 102, 103, 110–113, 117, 124, 158, 161–165, 177, 179, 184, 186, 194, 223, 420
– u zwierząt 257, 258, 260, 261, 325, 420
erytrocyty 44, 250, 348, 362, 398
etylen 199, 200, 208, 211–214, 224, 420

F
feloderma 86, 96, 103, 159, 161, 208
felogen 82, 83, 86, 93, 96, 103, 159, 161, 208, 420
filogeneza 15
filtratory 308, 310
fimbrie 28, 60, 420
fiszbiny 391, 404
fitohormony 199, 200, 207, 210, 211, 224, 420
floem (patrz: łyko)
fragmentacja plechy 39, 53, 62, 63

G
gametangiogamia 53
gametofit 40, 41, 46, 62, 75, 77, 116–119, 122–130, 133–135, 137, 141, 145, 151, 156, 164–169, 420
gametogamia 53
gamety 39–41, 44, 46, 53, 62, 63, 75, 77, 118, 119, 123, 125–129, 133, 135, 145, 232, 233, 235, 262, 263, 269, 286, 318
gardziel 42, 267, 276, 282–284, 295, 308, 325, 326, 335, 346, 360, 361, 363, 372, 380, 395, 396, 398, 406, 407
gastroderma 257, 258, 260, 261, 325
gastrula 233, 420
gastrulacja 233
gruczoł wątrobowo-trzustkowy 295, 308
gruczoły
– biodrowe 299
– czułkowe 299
– jadowe 295, 302, 315, 357, 371, 404
– łojowe 239, 391, 404
– mlekowe 340, 391, 395, 404
– potowe 391, 395, 404
– szczękowe 299
– ślinowe 295, 308, 345, 380, 395, 406
– śluzowe 267, 281, 341, 357, 404
– zapachowe 391, 404
grzybnia 50, 51, 53, 63
gutacja 92, 176, 177, 179, 182, 183, 220, 420

H
hatterie 367, 368, 374
hemocyjanina 296, 309, 419
hemoglobina 296, 309, 348, 419
hemolimfa 243, 250, 289, 296, 297, 309, 322, 323, 420
hermafrodytyzm (obojnactwo) 269, 420
heterocyty 26
heterogonia 300
heterostylia 144
hibernacja 246
hipoderma 275, 289, 325, 420
hydatoda 92, 112, 163, 182
hymenofor 54, 420

I
ikra 352
impuls nerwowy 251–254, 324
izogamia 41, 62, 75, 420

J
jama ciała
– pierwotna (patrz: blastocel)
– wtórna (patrz: celoma)
– gastralna 257, 258, 260, 325, 326

K
kalus 82, 421
kambium (miazga) 82, 83, 92, 93, 96, 97, 102–105, 158, 159, 161, 200, 208, 224, 421
kanały
– promieniste 316
– żywiczne 92, 111, 163
kapsyd 6–11, 58, 421
kariogamia 53
kategoria taksonomiczna 15, 19
kiełkowanie nasion
– epigeiczne 203, 225, 421
– hipogeiczne 203, 225, 421
kijanka 364
klad 17, 59, 425
kladogram 18
kłącza 100, 105, 106, 123, 124, 126–128, 151, 161, 165, 166, 187, 197, 198, 209, 213, 221, 421
kłos zarodnionośny 126–129, 166, 424
kłykcie potyliczne 359, 370, 379, 394, 405, 406
kohezja 181
kolce 86, 315, 344
kolenchyma (zwarcica) 81, 88, 102, 108, 158, 421
kolonia 27, 34, 36, 61, 73, 74, 257, 259, 262, 264
kompleks sorpcyjny 190, 191, 221, 421
komórki
– barwnikowe 298, 341, 357, 367
– płomykowe 268, 326, 421
– przyrurkowe 91, 196, 197
– sitowe 91, 124, 133
– szparkowe 84, 184
konchiolina 306
koneksony 242, 252, 324, 421
kora pierwotna 95–97, 102, 103, 159, 161, 177, 178
korale madreporowe 264
korek 81, 86, 184, 208
korkowica 79, 81–84, 86, 96, 97, 103, 104, 133, 134, 157–159, 161, 208, 423
korzenie przybyszowe 93, 97, 100, 123, 124, 126, 128, 165, 166, 200, 208, 224
korzeń
– boczny 93–96, 159, 200, 208, 224
– czepny 99, 160
– główny 93, 94, 97, 159, 201
– oddechowy (pneumatofor) 99, 160, 194, 223
– podporowy 98, 160
– powietrzny 98, 160
– spichrzowy 98, 141, 160, 187, 197, 221
kosmówka 336, 375, 410, 421
kości pneumatyczne 379, 380, 389, 406
kresomózgowie 349, 362, 373, 384, 399, 409
ksylem (patrz: drewno)
kutykula
– u roślin 84, 85, 110–113, 116, 162, 163, 184, 194, 195, 223, 421
– u zwierząt 239, 289, 421
kutyna 84, 110, 421
kwas moczowy 236, 237, 299, 311, 320, 374, 385, 410, 421
kwiatostan 115, 134, 136, 143, 150, 167
kwitnienie 190, 201, 210, 224

L
latarnia Arystotelesa 316
leghemoglobina 26
leukocyty 250
lęgnie 41, 46, 53, 75, 421
linia boczna 341, 349, 354, 363, 364
linienie 275, 277, 289, 301, 367
listki zarodkowe 233, 234, 238, 257, 334, 421
liściaki 115, 163
liście
– czepne 115, 163
– łuskowate 115, 163
– pułapkowe 114, 163
– spichrzowe 100, 114, 163
liścienie 151, 170, 201, 203, 206, 207, 225, 421

Ł
łagiewka pyłkowa 133, 135, 141, 144, 145, 166, 421
łodyga
– spichrzowa 107, 161, 198
– zdrewniała 104, 134, 140, 160, 198
– zielna 102, 104, 160
łodyżka 77, 87, 116, 117, 118, 164
łożysko 336, 401, 421
łuk skrzelowy 336, 337, 345, 346, 407
łupina nasienna 89, 136, 144, 151, 167, 170, 201, 202, 204, 211
łyko (floem) 81, 90–92, 104, 110, 124, 133, 140, 158, 162, 163, 192, 194, 196, 197, 199, 208, 209, 223
– pierwotne 95–97, 102, 103, 105, 159, 161
– wtórne 96, 97, 103, 159, 161

M
mechanizm przeciwprądów 347, 384, 407
mechanoreceptory 268, 277, 285, 298, 371
merystem
– boczny 82, 83, 96, 103, 158
– pierwotny 81–83, 158
– wierzchołkowy 82, 94, 95, 158
– wstawowy (interkalarny) 82, 83, 158
– wtórny 81–83, 87, 96, 158
metameria (patrz: segmentacja)
metanefrydia 281, 286, 299, 326, 421
mezenchyma 243
mezoderma 233–235, 238, 251, 266, 320, 421
mezoglea 257, 258, 325
międzymózgowie 349, 362, 373, 384, 399, 409
międzywęźla 82, 83, 101, 106, 126, 152, 158, 160, 166
miękisz asymilacyjny 85, 87, 110–113, 117, 158, 177, 179, 192, 195, 197, 223
– gąbczasty 87, 110, 113, 162, 179
– palisadowy 87, 110, 113, 162, 179
– wieloramienny 87, 111, 163
miękisz
– drzewny 90, 97
– łykowy 91
– powietrzny 87, 105, 112, 158, 163, 194, 223
– spichrzowy 87, 98, 114, 124, 158, 165
– wodny 87, 107, 113, 163, 187, 221
– zasadniczy 87, 95, 158
mikoryza 52, 422
– ektotroficzna 52
– endotroficzna 52
mikrokosmki 238, 240, 276, 321
miksocel 289, 422
miodniki 92, 147
mitospory 54, 63, 422
mejospory 40, 41, 46, 47, 54, 62, 63, 75, 77, 117–119, 122, 125–127, 129, 170, 422
mocznik 236, 237, 286, 311, 320, 350, 351, 360, 363, 374, 400, 410, 422

N
nabłonek
– jednowarstwowy 239–241, 267, 275, 276, 289, 306, 321, 398
– płaski 239, 240, 321, 391, 398
– sześcienny 239, 240, 321
– walcowaty 239, 240, 321
– wielorzędowy 241, 256, 321
– wielowarstwowy 239–241, 321, 341, 391
narząd Jacobsona 363, 373
narządy
– analogiczne 16, 310, 422
– homologiczne 16, 422
– tympanalne 298, 299, 422
nasada liścia 82, 108, 162, 214
nastie 215, 219, 225, 422
nefron 350, 374, 385, 400, 426
neotenia 363, 422
neuron 251–254, 324, 422
nibynóżki (pseudopodia) 35, 38, 62, 423
nitrogenaza 26
nóżki ambulakralne 314–317, 325, 422

O
obojnactwo (patrz: hermafrodytyzm)
oczko 266, 268
ogonek liściowy 88, 108, 115, 162, 163, 192, 214, 219
oko złożone 298, 303
okolnica 95, 96, 102, 159, 177, 178, 422
ommatidium 298, 422
omocznia 336, 375, 410, 422
oogamia 41, 46, 53, 62, 118, 122, 130, 137, 151, 233, 422
organogeneza 233
organowce 77, 117, 118, 122, 130, 137, 151, 164, 165
organy
– generatywne 77, 78, 84, 100, 132, 140, 156, 166, 167, 199
– wegetatywne 77, 78, 93, 100, 101, 108, 132, 156, 159, 160, 161, 166, 167, 176, 199, 207, 208
oskórek 239, 275, 277, 281, 289, 295, 296, 325
osmoregulacja 38, 189, 221, 268, 286, 299, 318, 350, 351, 391
osocze 12, 250, 323, 350, 400
osteon 249, 323
ości 355, 405, 422
otolit 349, 422
owoc 77, 79, 82, 87, 89, 100, 101, 140, 144, 145, 148–150, 152, 153, 157, 160, 167, 170, 176, 189, 196, 198, 200, 201, 207, 210–214, 224, 274, 278, 280, 383, 390, 403
– partenokarpiczny 211, 424
owocnia 87, 89, 144, 145, 148, 150, 167, 211
owocnik 50, 51, 54
owocolistek 142, 166, 167, 169, 170
owocostan 150
owodnia 336, 375, 410, 422
owodniowce 336, 340, 367, 375, 386, 401, 404

P
parapodia 282–284, 422
parcie korzeniowe 181, 182, 220, 422
parenchyma 235, 266–268, 325, 422
partenogeneza 262, 269, 277, 286, 300, 422
parzydełka 258, 265
pąk
– boczny 101, 160, 200, 209, 210, 224
– spoczynkowy 213
– wierzchołkowy 83, 100, 101, 160, 209
pellikula 34, 35, 42, 62, 423
peryderma (patrz: korkowica)
pęcherz pławny 342, 343, 345, 346, 348, 349, 354, 355, 406
pęd
– płonny 126, 127
– zarodnionośny 126, 127
pępowinowy sznur 401
pierzenie 377
plazmogamia 53
plecha 34, 39, 43, 46, 48, 50, 53, 55, 62, 63, 73, 75, 76, 123, 128, 165, 166, 423
– komórczakowa 34, 43, 47, 73
– nibytkankowa 34, 73, 74
– nitkowata 34, 73
– tkankowa 34
plemnia 41, 46, 53, 75, 117–119, 122–125, 127, 129, 165, 166, 168, 423
płacz roślin (patrz: gutacja)
płuca
– kręgowców 340, 343, 346, 360–362, 364, 365, 370–372, 375, 379–381, 384, 388, 395, 398, 402, 404, 407
– mięczaków 309, 325
– wodne 317, 325
płucotchawki 296, 297, 325
pneumatofory (patrz: korzeń oddechowy)
podwójne
– oddychanie 381, 423
– zapłodnienie 144, 145, 423
pokładełko 300, 423
połączenia międzykomórkowe
– szczelinowe 242, 252, 423
– zamykające 241, 242, 321, 423
półdesmosomy 242
pragęba 318
pranercza 350, 363, 410, 423
prassaki 391, 392
pręciki
– u roślin 79, 134, 135, 142, 144–147, 153, 166, 167, 169, 170, 423
– u zwierząt 349, 385, 423
profag 9, 423
protonefrydia 268, 423
prowirus 9, 11, 58, 423
przednercza 350, 423
przemiana faz jądrowych 39–41, 44–47, 62, 75, 263
przemiana pokoleń 40, 62, 75, 77, 118, 119, 125, 127, 129, 130, 135, 137, 145, 151, 262
– heteromorficzna 41, 46, 77, 116, 122, 132, 140, 156, 164, 165, 166
– izomorficzna 41, 75
przeobrażenie 364
– niezupełne 300, 301
– zupełne 300, 301
przetchlinki
– u roślin 86, 184, 194, 223, 423
– u zwierząt 296, 297, 423
pseudopodia (patrz: nibynóżki)

R
rabdity 267, 424
rąbek
– migawkowy 238
– szczoteczkowy 238
rdzeń
– kręgowy 334, 345, 349, 360, 371, 395, 404
– przedłużony 349, 362, 373, 384, 399, 409
rodnia 117–119, 122–125, 127, 129, 133, 135, 137, 141, 165–169, 424
ropalia (ciałka brzeżne) 258, 260, 424
rośliny
– dwupienne 118, 119, 122, 123, 126–129, 133, 137, 142, 166
– jednopienne 118, 122–125, 133, 135, 142, 166
– monokarpiczne 211, 214, 424
– nasienne 90, 100, 132, 133, 137, 151, 160, 166, 167, 170, 201, 224
– partenokarpiczne 211, 424
– polikarpiczne 211, 214, 424
– zarodnikowe 118, 122, 130, 164, 165
rozładunek łyka 196, 197, 223
rozłogi 106, 151, 161, 209, 424
rozmnażanie
– bezpłciowe 27, 39, 53, 55, 62, 63, 97, 262, 269, 286, 318, 326, 424
– płciowe 39, 53, 55, 62, 63, 79, 100, 132, 140, 144, 210, 211, 262, 269, 277, 286, 287, 300, 311, 318, 410, 424
– wegetatywne 97, 106, 151, 161, 209, 269, 286
rozmnóżki 55, 209, 424
roztwór glebowy 85, 177, 178, 180, 181, 187–191, 220–222
rozwój
– prosty 262, 269, 287, 300, 311, 326, 352, 374, 401, 410
– rodowy (patrz: filogeneza)
– zarodkowy 201, 233, 234, 266, 307, 318, 320, 334–336, 348, 410
– złożony 262, 263, 269, 287, 300, 301, 311, 318, 326, 363, 410
rurki sitowe 91, 140, 196, 197, 223
ryzoderma 84, 85, 95–97, 158, 159, 177, 178, 190, 424

S
samosterylność 144
samozapłodnienie 269
samozapylenie 144
segmentacja (metameria) 281, 302, 424
– homonomiczna 281
– heteronomiczna 281, 289
siodełko 282, 283, 286, 287
sklereidy 89, 424
sklerenchyma (twardzica) 81, 88, 89, 101, 102, 111, 115, 123, 158, 163, 424
skórka 79, 81, 84, 86, 95, 98, 116, 157, 158, 178, 424
– pędu (patrz: epiderma)
– korzenia (patrz: ryzoderma)
skrzela 240, 282, 284, 296, 297, 302, 308, 309, 317, 321, 325, 336, 340, 341, 345–348, 350, 351, 354, 361, 363, 364, 404, 407, 408
skrzelotchawki 296
słupek 79, 142, 144–148, 153, 167, 170, 211, 424
somatogamia 53
sporofit 40, 41, 46, 62, 75, 77, 116–119, 122–130, 133, 135, 137, 140, 145, 151, 156, 164–169, 424
spory (patrz: zarodniki)
ssawka 99, 160
stan spoczynku 135, 202, 204, 213
– bezwzględny 202, 213
– w neuronach 253
– względny 202, 213
statocysta 260, 268, 298, 310, 317, 424
statolit 260, 422
strobilizacja 262, 263, 424
struna grzbietowa 334, 335, 345, 424
struny głosowe 398
surowica 12, 13, 31, 59, 376, 424
susza fizjologiczna 111, 187, 221, 425
symplast 178, 197
synapsa 252, 324, 425
– chemiczna 252, 324
– elektryczna 252, 324
synapsydy 371
syncytium 255, 267
system klasyfikacji 14, 15, 17
– naturalny 14, 15
– sztuczny 14
– współczesny 19
system korzeniowy 80, 93, 97–99, 157, 160, 184, 189, 194, 221, 223
– palowy 93, 134
– wiązkowy 93
systematyka 14, 59, 425
szkielet
– hydrauliczny 235, 275, 281, 325
– wewnętrzny 275, 307, 314, 315, 318, 325, 334, 404
– zewnętrzny 239, 257, 289, 306, 307, 325
szparka 79, 84, 157, 177
– wodna (patrz: hydatoda)

Ś
śluźnia 36, 43, 47
śródmózgowie 349, 362, 373, 384, 399, 409
śródskórnia 95, 97, 102, 159, 177, 178, 190

T
tagmy 289, 290
takson 14, 15, 17–19, 59, 122
– monofiletyczny 17, 59, 425
– parafiletyczny 17, 33, 59, 425
– polifiletyczny 17, 59, 425
tarło 352
tchawki 296, 297, 299, 325
transpiracja 80, 84, 85, 102, 108, 110–114, 157, 161, 176, 177, 179, 180–187, 196, 220, 221, 425
– kutykularna 184
– przetchlinkowa 184
– szparkowa 184
transport
– apoplastyczny 178, 179, 190, 220, 425
– asymilatów 110, 192, 196, 197, 223
– składników mineralnych w roślinie 189–191, 221
– symplastyczny 178, 179, 190, 220, 425
– transmembranowy 178, 179, 190, 220, 425
– wody w roślinie 79, 90, 94, 110, 157, 176–188, 220
trombocyty 250
tropizmy 215–218, 225, 425
tryskawka 342, 346, 347
turgor 176, 180, 184, 188, 219, 425
twardzica (patrz: sklerenchyma)

U
układ ambulakralny (wodny) 316, 425
urostyl 359, 405

W
walec osiowy 95, 102, 159, 177, 178, 182
wibrysy 399, 402, 425
wirion 6–8, 11, 58, 425
włoski
– czepne 86
– kutnerowate 86
– parzące 86
włókna
– drzewne 89, 90
– łykowe 89, 91
– mięśniowe (komórki mięśniowe) 254, 255
– sklerenchymatyczne 89–91, 102, 155, 426
wodniczka
– pokarmowa 42
– tętniąca 38, 42
wole 284, 295, 380
woreczek
– pyłkowy 134, 135, 142, 145, 166, 167, 169, 170, 426
– zalążkowy 141, 145, 151, 167, 169
worek trzewiowy 306, 307, 309
worki powietrzne 297, 380, 381, 388, 407
wór powłokowo-mięśniowy 267, 275, 281, 289, 306, 325
wtórna jama ciała (patrz: celoma)

Z
zalążek 132–136, 142, 145, 148, 166, 167, 169, 170, 211, 426
załadunek łyka 196, 197, 223
zanercza 374, 385, 400, 410, 426
zapłodnienie
– krzyżowe 269, 286, 287, 311, 326
– podwójne (patrz: podwójne zapłodnienie)
– wewnętrzne 262, 269, 277, 286, 300, 311, 352, 364, 374, 386, 401, 410
– zewnętrzne 262, 263, 286, 287, 311, 318, 352, 364, 410
zapylenie 135, 136, 142, 144, 146, 147, 167, 211
– krzyżowe 144
zarodnia 41, 46, 47, 50, 54, 75, 82, 117–119, 123–127, 129, 158, 164–166, 168, 170, 426
zarodniki (spory) 39, 41, 46, 47, 50, 53, 54, 57, 62, 63, 75, 77, 78, 82, 117–119, 122–130, 133, 135, 145, 158, 164, 165, 168, 170, 426
zastawka spiralna 362
ziarno pyłku 133–135, 137, 141, 142, 144–146, 151, 167, 169, 211
zoospory 39, 46, 54, 75, 426
zwarcica (patrz: kolenchyma)
zwierzęta
– acelomatyczne 234, 235, 266, 320
– amonioteliczne 236, 237, 320, 374, 426
– celomatyczne 234, 235, 306, 314, 320
– dwuwarstwowe 234, 257, 320
– ektotermiczne 338
– endotermiczne 338, 339, 377
– pseudocelomatyczne 234, 235, 275, 320
– segmentowane 281, 289
– stałocieplne 337, 339, 340, 373, 377, 391, 404
– trójwarstwowe 234, 235, 266, 275, 281, 289, 306, 314, 320, 334
– ureoteliczne 236, 237, 320, 363, 374, 400, 426
– urykoteliczne 236, 237, 320, 385
– zmiennocieplne 337, 340, 341, 357, 367, 404
zygota 40, 41, 44, 46, 47, 62, 75, 119, 125, 127, 129, 135, 136, 144, 145, 168, 169, 201, 233, 263, 426

Ż
żywiciel
– ostateczny 44, 269, 271–274, 278
– pośredni 44, 269, 271–274, 277, 278, 312, 356

Literatura uzupełniająca

Abramowicz J. i in., *Ilustrowana encyklopedia zwierząt Polski*, Carta Blanca, Warszawa 2009.
Berger L., *Gady i płazy Polski*, PWN, Warszawa 2000.
Błaszak C., *Zoologia*, t. 1, cz. 1: *Bezkręgowce*, PWN, Warszawa 2014.
Błaszak C., *Zoologia*, t. 1, cz. 2: *Bezkręgowce*, PWN, Warszawa 2014.
Błaszak C., *Zoologia*, t. 2, cz. 1: *Stawonogi*, PWN, Warszawa 2013.
Błaszak C., *Zoologia*, t. 2, cz. 2: *Stawonogi*, PWN, Warszawa 2012.
Błaszak C., *Zoologia*, t. 3, cz. 1: *Szkarłupnie – płazy*, PWN, Warszawa 2015.
Dzik J., *Zoologia. Różnorodność i pokrewieństwa zwierząt*, Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 2015.
Futuyma D.J., *Ewolucja*, Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 2008.
Hejnowicz Z., *Anatomia i histogeneza roślin naczyniowych*, PWN, Warszawa 2012.
Hempel-Zawitkowska J., *Zoologia dla uczelni rolniczych*, PWN, Warszawa 2007.
Jura C., Klag J., *Podstawy embriologii zwierząt i człowieka*, PWN, Warszawa 2005.
Jura C., Krzanowska H., *Leksykon biologiczny*, Wiedza Powszechna, Warszawa 1992.
Krzymowski T., Przała J., *Fizjologia zwierząt*, PWRiL, Warszawa 2005.
Kunicki-Goldfinger W.J.H., *Życie bakterii,* PWN, Warszawa 2008.
Lewak S., Kopcewicz J., *Fizjologia roślin. Wprowadzenie*, PWN, Warszawa 2012.
Malinowski E., *Anatomia roślin*, PWN, Warszawa 1987.
Markiewicz Z., Kwiatkowski Z.A., *Bakterie antybiotyki lekooporność*, PWN, Warszawa 2012.
Murray P.R. i in., *Mikrobiologia*, Edra Urban & Partner, Wrocław 2017.
Moore J., *Wprowadzenie do zoologii bezkręgowców*, Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 2011.
Müller E., Loeffler W., *Zarys mikologii dla przyrodników i lekarzy*, PWRiL, Warszawa 1987.
Nicklin J. i in., *Mikrobiologia. Krótkie wykłady*, PWN, Warszawa 2012.
Piekarowicz A., *Podstawy wirusologii molekularnej*, PWN, Warszawa 2013.
Rajski A., *Zoologia*, PWN, Warszawa 1997.
Salyers A.A., Whitt D.D., *Mikrobiologia. Różnorodność, chorobotwórczość i środowisko*, PWN, Warszawa 2010.
Sawicki W., *Histologia*, PZWL, Warszawa 2016.
Schlegel H.G., *Mikrobiologia ogólna*, PWN, Warszawa 2005.
Solomon E.P., Berg L.R., Martin D.W., Villee C.A., *Biologia*, MULTICO Oficyna Wydawnicza, Warszawa 2011.
Szweykowska A., Szweykowski J., *Botanika. Morfologia*, PWN, Warszawa 2013.
Szweykowska A., Szweykowski J., *Botanika. Systematyka*, PWN, Warszawa 2012.
Schmidt-Nielsen K., *Fizjologia zwierząt. Adaptacja do środowiska*, PWN, Warszawa 2008.
Szarski H. (red.), *Anatomia porównawcza kręgowców*, PWN, Warszawa 1987.
Wójciak H., *Porosty, mszaki, paprotniki*, Multico, Warszawa 2007.
Zamachowski W., Zyśk A., *Strunowce – Chordata*, Wydawnictwo Naukowe WSP, Kraków 2002.
Zasieczna B., *Wielka encyklopedia roślin*, MUZA SA, Warszawa 2005.

Projekty graficzne:

Elena Grikurova-Wojnowska: 146–147, 233, 240–241, 270, 282–283, 290–291, 397; **Elena Grikurova-Wojnowska**, **Marcin Kołacz:** 208–209, 312–313, 358, 387; **Klaudia Jarocka:** 24–25, 134, 140–141, 149, 368–369, 392–393; **Klaudia Jarocka**, **Grażyna Truchlińska:** 343; **Klaudia Jarocka**, **Marcin Kołacz:** 42–43, 142, 143; **Marcin Kołacz:** 7, 15, 19, 22, 23, 30–31, 34, 35, 36, 48, 56–57, 72, 76, 83, 84–85, 86, 88, 89, 94, 100, 104–105, 112–113, 114–115, 116–117, 120, 124, 131, 132, 137, 138–139, 150, 152–153, 192, 200, 214, 235, 248–249, 253, 255, 259, 261, 264–265, 274, 280, 288, 294, 298–299, 302–303, 304–305, 307, 319, 338–339, 344, 356, 365, 366, 375, 376, 381, 382–383, 402, 403; **Krzysztof Mrawiński:** 388–389;**Marcin Oleksak**: 354–355; **Agnieszka Skopińska:** 390; **Zuzanna Sri:** 52,353; **Grażyna Truchlińska:** 54, 154–155, 292–293, 315, 343; **Zuzanna Sri**, **Sławomir Włodarczyk:** 98–99, 106–107.

Autorzy ilustracji:

Ewelina Baran: 44 (cykl malarii), 46 (cykl listownicy), 55, 63, 70, 75 (il. dolna), 83 (roślina), 85 (roślina), 94 (budowa korzenia), 95 (il. dolna), 125 (cykl), 128 (ikona paprociowe), 129 (il. cykl), 141 (ziarno pyłku, woreczek zalążkowy), 146 (kwiat), 165 (budowa morfologiczna), 167 (il. po prawej stronie), 181 (il. górna), 271 (cykl), 272 (cykl), 273 (cykl), 278 (cykl), 290, 295, 296 (il. górna), 297 (skorupiak, pajęczak, owad), 299, 307 (ślimak), 308 (il. górna), 309 (il. górna), 311, 336 (łuki skrzelowe), 337 (łuki skrzelowe), 340 (ryba, płaz, gad, ptak), 346 (skrzela i strzałki na głowie ryby, il. druga i trzecia), 347 (ruchy pokryw skrzelowych, działanie tryskawki), 359, 361 (żaby), 370, 375 (jajo), 380 (il. płuca ptaka), 388 (płuca ptaka), 391 (il. skóry), 395, 398 (il. górna), 398 (serce), 400 (il. dolna), 405 (płaz, gad), 407 (ryby), 407 (ptaki), 411; **Katarzyna Borek-Polkowska:** 7 (il. kolista), 42, 258 (budowa meduzy), 260 (il. dolna); **Elżbieta Buczkowska:** 88 (komórki kolenchymy), 89 (il. po prawej i lewej stronie), 111, 116 (przekroje), 119 (cykl), 125 (cykl), 128 (ikona skrzypowe), 143, 144, 163, 164 (budowa łodyżki i listka), 165 (budowa gametofitu), 208 (il. dolna), 249 (tkanka kostna gąbczasta kostka, il. w lupie), 251, 270, 314 (il. dolne), 328 (organy człowieka), 337 (krokodyl), 348 (il. dolna), 362 (il. po lewej stronie), 372 (il. dolna), 375 (serce), 381 (wentylacja w trakcie lotu, podwójne oddychanie), 384 (układ krwionośny), 386 (jajko), 398 (il. środkowa), 400 (il. górna i dolna), 414; **Rafał Buczkowski:** 73, 74 (morszczyn duży), 118, 164 (il. po lewej), 249 (tkanka kostna zbita kostka, il. w lupie), 257 (cechy meduzy i polipa), 263 (cykl), 270, 323 (tkanki chrzęstne, tkanka kostna zbita), 329, 345, 389 (szkielet, kość ptaka), 405 (ryba); **Marta Długokęcka:** 51, 52, 134 (il. dolne, piktogramy), 148, 151, 172, 174, 207 (zarodek rośliny), 208 (il. górna), 219, 233 (kot), 235 (dżdżownica, wyplawek, nicień, przekroje), 263 (cykl), 282, 283 (il. górna), 289 (budowa wewnętrzna), 317 (il. dolna), 329, 341 (skóra), 348 (il. dolna), 350, 357 (skóra), 362 (il. po lewej stronie), 367 (skóra), 372 (il. dolna), 374, 377 (skóra), 384 (układ krwionośny), 385 (zanercza), 391 (skóra), 398 (il. środkowa), 417; **Zuzanna Dudzic:** 39 (ręka), 142, 147 (kwiat), 170 (budowa kwiatu); **Robert Dzwonkowski:** 126, 128 (budowa sporofitu), 166 (skrzyp, widlak); **Natalia Helman:** 23, 96, 103, 164 (budowa łodyżki i listka), 194, 205 (termometry), 234, 247 (tkanka kostna), 255 (tkanki mięśniowe), 267 (powłoka ciała wypławka), 271 (ikona człowieka), 272 (ikona człowieka), 272 (cykl), 273 (ikona człowieka), 273 (ślimak w dolnym cyklu), 275 (ikona), 278 (ikona człowieka), 278 (cykl), 279 (ikona człowieka), 281 (ikona), 287, 287, 298 (il. górna), 323 (tkanka kostna gąbczasta), 324 (tkanki mięśniowe), 325 (meduza, nicień, dżdżownica, ślimak, rozgwiazda), 326 (meduza, nicień, dżdżownica, ślimak, rozgwiazda), 327 (cykl), 335, 340 (ryba, płaz, gad), 361 (wnętrze żab), 382; **Wioleta Herczyńska:** 7 (trzy pierwsze ilustracje od góry), 8, 9, 10 (il. górna), 11 (il. górna), 35, 37, 39 (plemnik), 58 (il. górna), 60, 64, 74 (moczarka kanadyjska), 83 (il. w lupach, roślina), 85 (roślina), 88 (komórki kolenchymy), 89 (il. po prawej stronie), 90, 91, 95 (il. górna), 102 (il. górna), 110, 111, 127 (cykl), 133, 135 (cykl), 145 (cykl), 156, 162, 163, 183 (korek), 192, 204, 205 (il. górne), 212 (banany), 218 (korek), 240, 241, 242, 251, 255 (tętnica), 261, 266 (tasiemiec), 267 (powłoka ciała wypławka i tasiemca), 271 (cykl), 273 (cykl), 275 (il. dolna), 276, 277, 278 (cykl), 279 (il. w lupach), 285 (il. górna), 296 (trzy ilustracje dolne), 297 (skorupiak, pajęczak), 301 (kokon), 324 (tkanki mięśniowe), 325 (motyl), 326 (motyl), 328 (tasiemiec dojrzały, mięsień), 331, 341 (budowa ryby), 357 (ikona), 360, 362 (il. po lewej stronie), 371 (budowa wewnętrzna), 379, 380 (il. po lewej stronie), 394, 399 (oko), 406, 408, 409; **Paulina Jarmusik:** 285 (il. dolna po prawej stronie), 350, 374, 385 (zanercza); **Adam Kłodecki:** 214 (warstwa odcinająca), 389 (szkielet); **Przemysław Kłosin:** 21 (budowa ściany), 159 (strefy korzenia), 184, 235 (dżdżownica, wyplawek), 249 (tkanka kostna gąbczasta, kostka i w lupie), 281 (il. dolna), 289 (budowa wewnętrzna), 301 (motyl, gąsienica), 308 (il. górna), 309 (il. górna), 311, 316 (il. środkowa), 346 (głowa ryby), 375 (jaszczurka, jajo, płuca), 378 (budowa piór), 385 (budowa oka), 395, 398 (serce), 407 (płazy, gady); **Agata Knajdek:** 22, 183 (roślina), 185 (roślina); **Laura Maziewska:** 14 (nawigator), 16 (narządy), 22 (kolor), 33 (nawigator), 39 (komórka jajowa, chromosomy), 50 (ikona), 58 (il. dolne), 72 (ikona), 74 (glon, kamienie, światło, woda, morszczyn mały), 82, 84 (il. na wyjazdach), 85 (il. po prawej), 94 (korzeń po lewej), 102 (il. dolna), 105, 111, 112, 113, 116 (piktogram, przekroje), 117 (przekroje), 118, 119 (cykl), 122 (ikona paproci), 124 (budowa łodygi), 128 (ikona widłakowe), 132, 140 (żonkile), 178 (il. dolna), 179 (il. górne), 200, 202, 234, 238, 240, 241, 243, 246 (il. górne), 256 (schemat), 257 (ikona meduza), 260 (il. górna), 261, 268 (il. dolna środkowa i dolna po prawej stronie), 271 (ikona świni), 272 (ikona ryby, widłonóg), 273 (ikona ślimaka), 279 (niebieska ikona świni), 286, 289 (ikona), 292 (kolor ilustracji), 297 (il. dolna), 298 (il. dolna), 306, 308 (il. dolna), 310, 314 (ikona), 316 (il. pierwsza i trzecia), 317 (il. górna), 340 (lew), 341 (ikona), 357 (il. skóry), 361 (płuca), 367 (ikona), 372 (płuca), 377 (ikona), 386 (ikony), 391 (ikona), 397 (il. dolne, żołądek wielokomorowy), 412; **Małgorzata Motyka:** 210; **Krzysztof Mrawiński**: 12, 28, 75 (il. dolna), 92, 93 (palowy i wiązkowy), 104, 136 (il. po prawej stronie), 159 (il. dolne), 161, 163, 170 (il. dolne), 182, 185, 195, 201, 208 (il. górna), 216 (il. górna), 217, 218 (il. górne), 233 (plemnik, komórka), 267 (powłoka ciała wypławka i tasiemca), 349 (il. górna), 362 (il. po prawej stronie), 373 (il. górna), 380 (il. płuca ptaka i powiększenie w lupie), 384 (mózgowie), 388, 389, 398 (il. górna), 399 (mózg), 407 (ptaki); **Ewa Nawrocka:** 116 (mech), 117 (mech), 124 (paproć, zarodnie, gametofit), 125 (cykl), 136 (łuska), 142, 145 (cykl), 165 (budowa morfologiczna gametofitu), 166 (paproć), 167 (il. po lewej stronie), 170 (budowa kwiatu); **Marek Nawrocki:** 361 (płuca), 372 (płuca), 346 (głowa ryby), 375 (płuca), 407 (płazy, gady); **Marcin Oleksak:** 193 (chloroplast), 233 (il. z punktów 2 i 3), 244 (il. prawy dolny róg), 255 (serce), 301 (il górna, il. dolna jaja i liście), 354, 355, 396, 399 (oko), 407 (ssaki); **Nikola Pelcer:** 284, 285 (il. dolna po lewej stronie), 361 (płuca), 372 (płuca), 381 (wentylacja w trakcie spoczynku); **Paulina Podolska:** 33 (nawigator), 93 (układ wiązkowy), 172, 266 (wyplawek, ikona), 267 (układ pokarmowy), 268 (dwa przedstawienia wypławka), 325 (wypławek), 326 (wypławek); **Poszarpani:** 6, 17, 19 (schemat dolny), 39 (schemat), 40 (schemat na dole), 41 (schematy u góry), 44 (il. górna), 45 (il. górna), 46 (il. górna), 47 (il. górna), 62, 75 (il. górna); **Joanna Ptak:** 12 (naczynia), 21 (błona zewnętrzna), 37, 39 (plemnik), 40 (cykle), 45 (cykl pantofelka), 46 (cykl listownicy), 47 (cykl mawerka), 59, 61, 64, 65, 69, 75 (il. dolna), 119 (il. górna), 122 (il. dolne), 125 (il. górna, cykl), 127 (il. górna), 129 (il. górna, cykl), 134 (piktogramy), 135 (il. górna, cykl), 136 (il. po prawej), 145(il. górna, cykl), 168, 169, 170 (roślina nagonasienna), 171, 173, 180, 182 (strzykawka), 186 (cylinder miarowy), 188 (probówka), 190, 191, 193 (schemat), 201 (il. po lewej stronie), 205 (naczynia), 206 (naczynia), 207 (bieguny korzeniowy i pędowy), 212 (probówka), 218 (il. górne), 222, 226, 227, 228, 229, 230, 243, 245, 246, 247 (tkanka chrzęstna), 248 (tkanki), 253, 258 (il. górna), 263 (il. górna, cykl), 271 (postać w cyklu), 272 (postać w cyklu), 273 (postać w cyklu), 278 (postać w cyklu), 279 (postać, świnia), 283 (il. dolna), 292, 307 (mały, głowonóg), 308 (il. górna), 309 (il. górna), 311, 322, 323 (tkanki chrzęstne), 324 (synapsy), 327 (postać w cyklu), 328 (fantom z organami, świnka, udziec, jajka, onkosfera, rozwijający się tasiemiec), 329, 332 (tkanka), 336 (jajo), 337 (mysz, wykres), 341 (il. skóry), 347 (il. dolna), 348 (il. górna), 351, 357 (skóra), 367 (skóra), 373(głowa węża), 377 (il. skóry), 385 (ptak morski), 397 (układy pokarmowe: królika, roślinożercy, drapieżnika), 399 (ucho), 411, 412, 415; **Marcin Ptak:** 384(il. dolna); **Wojciech Sendal:** 20 (komórka), 21 (komórka bakterii), 50 (komórka), 78, 205 (wata, nasiona), 212 (palnik), 232, 298 (il. dolna); **Ewa Sowulewska:** 10 (il. dolna), 11 (il. dolna), 34, 38, 40 (cykle), 41 (il. dolne), 66, 72 (il. dolna), 140 (il. dolne), 141 (il. dolne), 167 (il. po prawej), 177, 180 (il. dolna), 190, 191, 193 (schemat), 196, 197, 198, 216 (il. dolne), 228, 229, 233 (zygota), 242, 246 (il. dolna), 250, 252, 253, 254, 266 (il. wypławek, motylica), 271 (ikona krowy), 273 (ikona krowy), 289 (pokrycie ciała), 309 (il. dolna), 332 (kleszcz), 371 (typy czaszek), 381 (il. górna), 399 (ucho); **Przemysław Szukaj**: 183, 206 (roślina), 212 (gumowa rurka, folia), 218 (pudełko, słoik i roślina); **Monika Wiśniewska:** 86, 109, 178 (il. górna), 186 (liść), 188 (liść); **Magdalena Wolnicka-Maryniak:** 298 (il. dolna).

Zdjęcia pochodzą ze zbiorów:

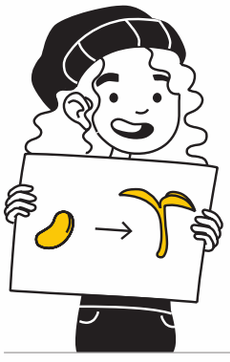
BE&W: ALAMY STOCK PHOTO - BSIP SA s. 7 (wirus zapalenia wątroby typu A, wirus SARS Cov-2), mauritius images GmbH s. 16 (delfin), Tomasz Klejdysz s. 26 (korzenie), Panther Media GmbH s. 33, David Fleetham s. 43 (chwytniki), Ernie Janes s. 54 (zarodniki purchawki), Narong Niemhom s. 54 (misecznaki), razorpix s. 56 (antybiotyki), David Fleetham s. 76 (plawikonik), Nigel Cattlin s. 85, Igor Stevanovic s. 89 (orzech włoski), Bob Gibbons s. 99 (korzenie oddechowe), Russotwins s. 100 (liście cebuli), Mikel Bilbao Gorostiaga s. 107 (śliwa tarnina), filmfoto s. 108 (użyłkowanie siatkowe), Anna Poltoratskaya s. 108 (liść ogonkowy), Alfio Scisetti s. 109 (goryczka), Christina Rollo s. 111 (gałązka sosny), Wagner Campelo s. 112 (liście koleusa), Organica s. 112 (rdestnica), Craig Russell s. 113 (aloes), mauritius images GmbH s. 114 (głowa kapusty), REDA & CO srl s. 114 (muchołówka), John De Mello s. 115 (liściaki akacji), Tromp Willem van Urk s. 115 (kwiatostan anturium), Panther Media GmbH s. 120 (szlaczkoń torfowiec), piemags/nature s. 121 (torfowiec nastroszony), Frank Hecker s. 123 (pióropusznik strusi), botanikfoto/Steffen Hauser s. 123 (paproć zwyczajna), Bringolo s. 126, botanikfoto/Steffen Hauser s. 130 (skrzyp zimowy), Arterra Picture Library s. 130 (orlica pospolita), blickwinkel s. 130 (salwinia), Bob Gibbons s. 130 (widliczka), Frank Hecker s. 134 (szpilki sosny), Monika Tymanowska s. 134 (kwiaty żeńskie sosny), Valentyn Volkov s. 139 (kosmetyki z sosny), Deb Casso s. 142 (kwiat lilii, słupki i pręciki), Bjorn Wylezich s. 143 (niezapominajka), Arco Images GmbH s. 149 (owoce grabu), kkong s. 154 (łosy), Konrad Weiss s. 154 (brzozy), Blickwinkel/W. Layer s. 155 (kwiaty lnu), Dmytro Synelnychenko s. 155 (heban), mauritius images GmbH/Reinhard Dirscherl s. 200 (palma), Garry DeLong s. 208 (komórki łodygi), Brilt s. 209 (tuja naturalna), Picture Partners s. 210 (kwiatostan marchwi), Natalia Zakhartseva s. 211 (koper), Organica s. 219 (mimoza), Life on white s. 237 (symetria promienista, japońska pokrzywa morska), Science History Images s. 245 (tkanka włóknista zbita), Jose Calvo s. 256, SeaTops s. 264 (żachwa), Shahar Shabtai s. 264 (konik morski), blickwinkel s. 286 (nereida), kkong s. 290 (pająk), blickwinkel s. 295 (krab), Denis Vesely s. 298, Auscape International Pty Ltd s. 304 (kryl), David Noton Photography s. 305 (tkanie lnu), blickwinkel s. 307 (syfony u małża), Reinhard Dirscherl s. 307 (kalmar), blickwinkel s. 313 (świdrak okrętowiec), Ethan Daniels s. 317 (czułki u strzykwy), Marco Secchi s. 319 (rozgwiazdy i inne gatunki jadalne), Hakan Soderholm s. 330 (wypławek biały), Helmut Corneli s. 335 (żachwy), Azoor Photo s. 343 (szkielet latimerii), andy lidstone s. 351 (okoń morski), Life on white s. 352 (bojowniki), Digifoto Gold s. 356 (tran), Gado Images s. 356 (jajo bruzdogłowca szerokiego), imageBROKER.com GmbH & Co. KG s. 358 (kumak górski), Premium Stock Photography GmbH s. 358 (traszka grzebieniasta), Buddy Mays s. 360, Scenics & Science s. 362, blickwinkel s. 366 (żaba), David Sewell s. 366 (traszka grzebieniasta), Naturepix s. 366 (ropucha), Vince Burton s. 366 (koliber), RooM the Agency s. 368 (wąż), Alex Hyde s. 369 (padalec), Buiten-Beeld s. 369 (jaszczurka żyworodna), coroiu octavian s. 369 (żmija), Life on white s. 369 (żółw błotny), Matthijs Kuijpers s. 369 (wąż eskulapa), Nature Photographers Ltd s. 369 (zaskroniec zwyczajny), Zoonar GmbH s. 370, Sabena Jane Blackbird s. 374 (samica pytona z jajami), Ed Brown Wildlife s. 376 (żółw morski), Media Drum World s. 376 (kameleon), Picture Partners s. 382 (wypluwka sowy), Life on white s. 383 (kaczka), mauritius images GmbH s. 387 (kiwi), Dave Watts s. 387 (gniazdo kazuara), Marc Anderson s. 387 (kazuar), mike lane s. 387 (struś afrykański), FLPA s. 390 (kos), tbkmedia.de s. 392 (jeż), Arco Images GmbH s. 393 (morświn), blickwinkel s. 393 (ryś), Laura Romin & Larry Dalton s. 393 (mrówkojad), Terry Whittaker Wildlife s. 393 (koń), Ann and Steve Toon s. 401 (lwy), blickwinkel s. 403 (wiewiórka), Tim Plowden s. 403 (lis); ARCO IMAGES GMBH - K.Wothe s. 136 (szyszki jodły), H. Reinhard s. 350 (jesiotr), W. Rolfes s. 383 (kruk); ARDEA.COM - M. Watson s. 288 (kret); AVALON - Avalon/Daniel Heuclin s. 376 (wyroby ze skóry); BIOPHOTO ASSOCIATES s. 248 (tkanka chrzęstna włóknista); IMAGEBROKER RM - FLPA/Mark Sisson s. 56 (storczyki), FLPA/Mike Powles s. 206, Christian GUY s. 356 (pstrąg), Jonathan Carlile s. 387 (pingwin), Franz Christoph Robiller s. 393 (nocek duży), Christian Heinrich s. 402 (hipopotam); MARY EVANS PICTURE LIBRARY - ardea.com/John Cancalosi s. 367 (wąż zrzucający wylinkę); MINT IMAGES - Frans Lanting s. 265 (meduza), s. 368 (hatteria); NATURE PICTURE LIBRARY - Sinclair Stammers s. 43 (śluznia maworka), Claudio Contreras s. 48 (żółw), Jurgen Freund s. 48 (ryba *Histrio histrio*), Solvin Zankl s. 48 (maseczka z alg), Ernie Janes s. 56 (grzyb), Sue Daly, s. 73 (*Asparagopsis*), Alex Hyde s. 77 (gametofit mszaków), Jack Dykinga s. 77 (sporofit paprotników), Felis Images s. 77 (sporofit nagozalążkowych), kerstin hinze s. 77 (sporofit okrytozalążkowych), David Woodfall s. 80 (złocień polny), Remi Masson s. 80 (grzybienie białe), Alex Hyde s. 106 (rozgi pięciornika gęsiego), Jack Dykinga s. 107 (kaktusy), MYN/Denis Palanque / s. 108 (liść bezogonkowy), MYN/Carl R. Battreall s. 109 (liczydło górskie), Niall Benvie s. 115 (liście czepne wyki), Sandra Bartocha s. 120 (torfowisko), Alan Watson s. 123 (paprocie drzewiaste), Will Watson s. 123 (długosz królewski), Bernard Castelein s. 131 (gniazdo pająka), Mike Read s. 138 (roztopy), SCOTLAND The Big Picture s. 138 (wiewiórka), Phil Savoie s. 138 (wiewiórka z szyszką), Adrian Davies s. 139 (kora cisa), MYN/Niall Benvie s. 143 (baldach złożony marchwi), Ernie Janes s. 143 (kwiatostan prosty stokrotki), Kim Taylor s. 143 (lepnica), Konrad Wothe s. 143 (kwiatostan prosty mieczyka), MYN/Eduardo Blanco s. 143 (baldach prosty czosnku), Colin Varndell s. 146 (pyląca leszczyna), Ernie Janes s. 146 (pyląca trawa), Dave Watts s. 147 (koliber), Jurgen Freund s. 149 (owoc namorzynów), TOM MANGELSEN s. 149 (owoce jarzębiny), Fabrice Cahez s. 152 (lilia złotogłów), Sandra Bartocha s. 152 (czermień błotna), Philippe Clément s. 153 (rumianek pospolity), Rod Williams s. 153 (firletka poszarpana), Wild Wonders of Europe/Wothe s. 153 (koniczyna łąkowa), Lucas Bustamante s. 154 (las równikowy), Terry Whittaker s. 154 (karczownik), Kim Taylor s. 203 (kiełkowanie grochu), Raimund Kutter s. 209 (tuja przycinana), MYN/Clay Bolt s. 237 (chrząszcz), Georgette Douwma s. 259 (koral szlachetny), Kim Taylor s. 259 (stułbia), s. 262 (stułbia), Visuals Unlimited s. 262 (strobilizacja), Claudio Contreras s. 264 (rozgwiazda), Doug Perrine s. 265 (ślimak morski), Willem Kolvoort s. 283 (pijawka), Colin Varndell s. 288 (dżdżownica), MYN/Dirk Funhoff s. 291 (chrabąszcz majowy), MYN/Matt Cole s. 292 (aparat gębowy świerszcza), Andy Sands s. 293 (pływak żółtobrzeżek), Michel Poinsignon s. 293 (modliszka), MYN/Paul van Hoof s. 293 (turkuć), John Abbott s. 294 (komar), Alex Hyde s. 299 (czułki motyla), MYN/Paul van Hoof s. 299 (świerszcz), Christophe Courteau s. 302 (wąsy pąkli), Ross Hoddinott s. 302 (krab), Michael Hutchinson s. 302 (pająk), Andy Sands s. 303 (muchołówka), Andy Sands s. 303 (chrząszcze), Duncan Murrell s. 303 (pluskwiak), Kim Taylor s. 304 (pszczoły), Emanuele Biggi s. 304 (pająk), Neil Aldridge s. 304 (żuk), Doug Wechsler s. 305 (kleszcz), Adrian Davies s. 307 (ślimak), Jan Hamrsky s. 307 (małż), Georgette Douwma s. 309, Alex Mustard s. 310 (ośmiornica), s. 312 (foka), Franco Banfi s. 315 (liliowce, rozgwiazda, jeżowce), Jose Luis Gomez de Francisco s. 319 (mewa), Sue Daly s. 319 (ogórek morski), Georgette Douwma s. 342 (płaszczka), Wild Wonders of Europe/Lundgren s. 342 (chimera), David Fleetham s. 343 (latimeria), Jane Burton s. 344 (najeżka), Wild Wonders of Europe/Lundgren s. 350 (ryba z widocznymi skrzelami), MYN/Niall Benvie s. 351 (karaś srebrzysty), Doug Perrine s. 353 (ryba głębinowa *Melanocentus*), Solvin Zankl s. 353 (ryba głębinowa *Matronica holboella*), Solvin Zankl s. 353 (ryba wężorowata), Chris & Monique Fallows s. 356 (rekin), Bruno D'Amicis s. 358 (salamandra), Pete Oxford s. 358 (marszczelec), Stefan Huwiler s. 358 (żaby), Jane Burton s. 363 (uścisk godowy u żab), Tui De Roy s. 368 (żółw), Gary K. Smith s. 382 (kulik wielki), Markus Varesvuo s. 382 (dzięcioł), Rolf Nussbaumer s. 390 (koliber), Dave Watts s. 392 (dziobak), Denis-Huot s. 401 (topi), Alex Mustard s. 402 (delfin), Jabruson s. 402 (nietoperze), SCOTLAND The Big Picture s. 402 (zając), Stephen Dalton s. 402 (kret), Anup Shah s. 403 (lew polujący na bawoła); PHOTO RESEARCHERS, INC. - Biophoto Associates s. 239 (komórki trzustki), Jean-Phillipe Varin s. 401 (dziobak z młodymi); SCIENCE HISTORY IMAGES s. 7 (wirus mozikowatości); SCIENCE SOURCE - s. 23 (krętek), Biophoto Associates s. 34, Science Stock Photography s. 335 (szparoskrzelec lancetowaty); UNIVERSAL IMAGES GROUP/De Agostini/A. Calegari s. 356 (sum); **DEPOSITPHOTOS.COM:** asimojet s. 19 (fiołek), Catalin Zestran s. 147 (pszczoła), billiondigital s. 149 (owoce mniszka), Annaev s. 190, Tono Balaguer s. 200 (pomarańcza), Juri Semjonow s. 211 (jabłka), MAREK SLUSARCZYK s. 265 (wyroby z koralowca), Valery Kirsanov s. 293 (konik polny), sciencepics s. 343 (ryba); **EAST NEWS:** Science Photo Library (SPL) s. 23 (promieniowce *Bifidobacterium animalis*), SPL s. 36 (wiciowce z rodzaju *Apocarchesium*), SPL/Visuals Unlimited s. 54 (zarodniki workowe), SPL s. 92 (miodniki), Biodisc/Visuals Unlimited, Inc. s. 112 (przekrój liścia koleusa), SPL s. 131 (las karboński, ilustracja), SPL s. 276 (larwa nicienia), BURGER/PHANIE s. 288 (pijawki), SPL s. 292 (oczy złożone muchy), SPL s. 344 (mieczniki); **GETTY IMAGES:** Moment Open/Alyssa B. Young – okładka, Moment RF/chuchart duangdaw s. 15 (koliberi), iStock/AGAMI Photo Agency s. 16 (nietoperz), SPL RF s. 23 (pałeczki bakterie e. coli), SPL RF s. 23 (przecinkowiec cholery), E+/bojan fatur s. 29 (kratery wulkanu), iStock/RomanKhomlyak s. 29 (gorące źródła),

500px/folkertgrafie s. 30 (tubin), E+/ilbusca s. 30 (odpadki biologiczne), E+/Mike Dabell s. 30 (krowy), Cultura RF/Andrew Brookes AB Still Ltd/Rafe Swan s. 31 (hodowla bakterii), SPL/Kateryna Kon s. 35 (ameby, model 3d), iStock/Manfred Ruckszio s. 36 (morszczyn pęcherzykowaty), Stone RF/Ed Reschke s. 36 (zlepniczek walcowaty), Moment RF/Douglas Klug s. 43 (podwodny las brunatnic), Moment Open/istetiana s. 56 (ciasto drożdżowe), Moment RF/Scott Portelli s. 56 (renifer), E+/Pobytov s. 57 (opieńka miodowa), Moment RF/Ippei Naoi s. 76 (wodorost w dłoniach), Oxford Scientific RM/Garry DeLong s. 83 (stożek wzrostu korzenia), Photodisc s. 92 (gutacja), Digital Vision/Yuji sakai s. 93 (marchwie), 500px Plus s. 98 (korzenie spichrzowe), Moment RF/Dario Sartini s. 98 (korzenie podporowe), imagebrokerRF/Herbert Kehrer s. 99 (jemioła), Moment RF/KAMPEE PATISENA s. 99 (bluszcz), iStock/Zerbor s. 104 (sosna, pokrój drzewa), Moment RF/R A Kearton s. 104 (jaskry), iStock/DiyanaDimitrova s. 106 (kalarepa), iStock/LenaZajchikova s. 106 (ziemniak), iStock/Mohamed Shamil s. 106 (kłącze imbiru), iStock/zhengzaishuru s. 107 (winogrona), Photographer's Choice RF/Frank Krahmer s. 109 (wyka), Photolibrary RM/Ed Reschke s. 113 (przekrój przez liść lilaka), Moment RF/Laszlo Podor s. 117 (zarodnie mchu płonnika), Moment RF/Namthip Muanthongthae s. 120 (mech z kroplami wody), Thinkstock/iStockphoto/YekoPhotoStudio s. 120 (masaż borowiną), imageBROKER RF/Dieter Hopf s. 121 (mech bezlistka siwa), E+/borchee s. 132 (świerk, pokrój drzewa), iStock/Tom Meaker s. 132 (kwiaty malwy), iStock/Viktor Nikitin Zhaubasar s. 132 (tajga), iStock/Iva Vagnerova s. 136 (owoce cisu), iStock/Tatiana Terekhina s. 136 (modrzew), iStock/ViniSouza128 s. 137 (sagowiec), iStock/ItalianFoodProduction s. 150 (ananas), Moment RF/Fiona McAllister Smith s. 175, iStock/Nancy Kennedy s. 176 (gutacja), iStock/vvvita s. 182, E+/temmuz can arsiray s. 192, E+/maiteali s. 214 (agawa), E+/Zoran Ivanovich Photo s. 214 (liście), iStock/MICHAEL WORKMAN s. 231, Moment RF/sarayut Thaneerat s. 234, Photolibrary RM/Ed Reschke s. 240 (nabłonek jednowarstwowy płaski), Moment RF/xia yuan s. 248 (tkanka chrzęstna szklista), Corbis Documentary/Micro Discovery s. 249 (tkanka gąbczasta kości), Photolibrary RM/Ed Reschke s. 249 (tkanka kostna), Universal Images Group Editorial/QAI Publishing s. 249 (przekrój przez kość), iStock/Charlotte Bleijenberg s. 259 (ukwiał koński), The Image Bank RF/Stephen Frink s. 261 (żeglarz portugalski), Nature Picture Library/Piotr Naskrecki s. 293 (odnóża chrząszcza), 500px/Climages s. 303 (motyl), iStock/barmalini s. 312 (omułki), E+/Piero Malaer s. 315 (strzykwa), Photolibrary RM/Jeff Rotman s. 315 (wężowidło), Moment RF/d3plus D.Naruse s. 319 (jeżowiec), RooM RF/LESSY SEBASTIAN s. 333, imageBROKER RF/Jürgen & Christine Sohns s. 339 (fenek), Universal Images Group Editorial s. 343 (okoń), E+/Antagain s. 365 (żaba w wodzie), E+/li jingwang s. 365 (żaba na białym tle), Westend61/Roman Märzinger s. 369 (jaszczurka zwinka), imageBROKER RF/LOTTI FABIO s. 373, E+/Julie Harris s. 376 (kobra), iStock/Jmrocek s. 393 (sarny), Moment RF/Lea Scaddan Photography s. 401 (kangurzyca z młodym); **INDIGO IMAGES:** SCIENCE PHOTO LIBRARY - Steve Gschmeissner s. 5, Eye of Science s. 7 (bakteriofag), Ami Images s. 23 (dwoinka zapalenia płuc), Dennis Kunkel Microscopy s. 23 (laseczki tężca), Eye of Science s. 23 (paciorkowiec, gronkowiec), Kateryna Kon s. 23 (maczugowiec błonicy), s. 24 (bakteria, wirus), Alfred Pasieka s. 25 (nitrobacter), Dennis Kunkel Microscopy s. 25 (bakteria), Marek Mis s. 25 (sinice), s. 26 (guzek korzeniowy), Eye of Science s. 27 (endospory), UK Health Security Agency s. 27 (podział komórki), Dennis Kunkel Microscopy s. 28, s. 30 (skorupiaki), AJ Photo/Hop Americain s. 32, Andrew Syred s. 35 (pantofelek), Dennis Kunkel Microscopy s. 35 (okrzemek), s. 36 (okrzemki), Marek Mis s. 42, s. 48 (pleśń i żuk), s. 51 (komórki drożdży), Dr Jeremy Burgess s. 51 (pleśń na pomidorze), s. 52 (mikoryza wewnętrzna), Microfield Scientific s. 53, s. 54 (penicilium, mejospory, zarodniki podstawkowe), Dr Jeremy Burgess s. 54 (zarodniki sporangialne), Nigel Downer s. 54 (rurki grzyba), s. 55 (plechy porostu), s. 57 (rdza zdźbłowa), s. 73 (zawłotnia, chlorella, skrętnica), Wim van Egmond s. 73 (toczek), s. 76 (krasnorost, komórki zielenic), s. 79 (tkanki ksylemu w korzeniu), Dennis Kunkel Microscopy s. 79 (włośniki, przetchlinki), Minden Pictures/Tim Fitzharris s. 80 (agawa), SPL s. 83 (stożek wzrostu łodygi, podział komórkowy hiacynta), s. 86 (włośniki pokrzywy, włoski liścia dziewanny, kolce róży, włoski liściowe chmielu), s. 87 (miękisz spichrzowy, miękisz powietrzny, miękisz zasadniczy w łodydze lilii), Marek Mis s. 87 (miękisz asymilacyjny w komórkach mchu), AGE Fotostock/P&R Fotos s. 88 (przekrój przez łodygę trawy), Minden Picture/Jim Brandenburg s. 88 (trawy), SPL s. 88 (kolenchyma, przekrój przez liść selera), s. 89 (las bambusowy, sklereidy), s. 90 (naczynia i cewki), s. 92 (komórki wydzielnicze epidermy), s. 97 (przekrój przez gruby korzeń rzodkiewki, roślina w naczyniu), Steve Gschmeissner s. 97 (przekrój przez cienki korzeń rzodkiewki), s. 99 (przekrój przez korzeń jemioły), s. 100 (kwiaty czosnku), s. 104 (drewno sosny spod mikroskopu), FLPA/Bob Gibbons s. 105 (wywłócznik), SPL s. 105 (przekrój przez łodygę wywłócznika, przekrój przez kłącze paproci), s. 107 (miękisz wodny), s. 111 (przekrój przez igłę sosny), s. 113 (przekrój przez liść oleandra), s. 114 (liść muchołówki), s. 116 (przekrój przez łodyżki mchu), s. 117 (przekrój przez zarodnię mchu płonnika), Marek Mis s. 117 (przekrój przez setę płonnika, sporofit mchu), Image Source/Oscar Bjarnason s. 120 (mchy porastające skały), SPL s. 124 (przekrój przez kłącze paproci, zarodnia paproci), s. 134 (pnie drzew), s. 136 (owoce jałowca), s. 142 (żeński kwiatostan wierzby, kwiaty żeńskie i męskie olszy czarnej, męski kwiatostan wierzby), s. 146 (kwiatostan trawy, pyłki), s. 147 (kwiat ciemiernika z miodnikami), s. 149 (owoc łopianu), s. 152 (trzciny, obuwik pospolity), s. 153 (kwiat dzikiej róży), All Canada Photos/John E Marriott s. 154 (ptak w gnieździe), SPL s. 155 (naparstnica purpurowa), s. 179, Minden Picture/FLPA/Nigel Cattlin s. 203 (etapy wzrostu fasoli), SPL s. 208 (akustyny), s. 238 (mikrokosmki, rzęski), s. 239 (komórki kubkowe), Jose Calvo s. 240 (nabłonek jednowarstwowy walcowaty), s. 241 (nabłonek jednowarstwowy wielorzędowy oskrzeli), SPL s. 241 (nabłonek wielowarstwowy płaski i sześcienny), s. 244 (budowa kolana, model ludzkiego serca, włókna kolagenowe ścięgna, włókna sprężyste), s. 248 (szkielet człowieka), Steve Gschmeissner s. 253, s. 255 (budowy stopy ludzkiej), s. 255 (tkanka mięśniowa poprzecznie prążkowana szkieletowa, tkanka mięśniowa gładka, tkanka mięśniowa poprzecznie prążkowana serca), s. 259 (bełtwa festonowa, osa morska), s. 260, Dennis Kunkel Microscopy s. 261 (planula kubopława), s. 265 (model białka GFP), s. 269 (motyliczka, mrówka na źdźble trawy), s. 270 (tasiemiec uzbrojony i nieuzbrojony, człon rozrodczy tasiemca, powierzchnia ciała tasiemca), s. 274 (tasiemiec, RTG klatki piersiowej), s. 276 (glista ludzka), s. 280 (mątwik ziemniaczany, nicień glebowy), s. 282 (parapodium – wąsy i szczeciny u nereidy), Connect Images/Gregory S. Paulson s. 282 (szczeciny u glisty), s. 283 (zęby i przyssawki), s. 284 (skrzela zewnętrzne u wieloszczeta), Alexander Semenov s. 285, Blickwinkel/Hecker/Sauer s. 288 (pijawka na szczupaku), World Pictures/Leonardo Olmi s. 288 (wieloszczet wędrujący), SPL s. 291 (tarantula), s. 292 (aparat typu ssącego motyla, aparat typu gryząco-liżącego osy), s. 293 (odnóże czepne wszy głowowej, wesz ludzka, odnóże modliszki), s. 294 (ważka, rozwielitka), s. 296, s. 299 (narząd słuchu świerszcza), Eye of Science s. 299 (narządy Hallera u kleszczy), s. 300 (kłowacznik władczy), s. 302 (skorpion), British Antarctic Survey s. 302 (kryl antarktyczny), s. 303 (łuski skrzydła motyla), Minden Pictures/Ingo Arndt s. 304 (szarańcza wędrowna), Mary Evans Picture Library Ltd/ardea.com/Last Refuge s. 305 (roztocze), SPL s. 305 (kołatek), s. 306, Eye of Science s. 308 (tarka u ślimaka), Louise Murray s. 308 (chitynowy dziób u głowonoga), Georgette Douwma s. 311 (samiec ośmiornicy), Wim Van Egmond s. 311 (larwy małży), Pacific Stock/Dave Fleetham s. 312 (stożek geograficzny), Mary Evans Picture Library Ltd/ardea.com/Ken Lucas s. 313 (skamieniała muszla), SPL s. 313 (matz z perłą), s. 314, s. 317 (oczy u rozgwiazdy), s. 318, AGE Fotostock/Reinhard Dirscherl s. 342 (rekin), s. 344 (koniki morskie), SPL s. 346 (skrzela ryby), s. 349 (oko pęcherzykowate, błędnik błoniasty), s. 351 (rekin), DEA Picture Library s. 353 (ryba głębinowa z rodzaju wężorowatych *Chauliodus sloani*), FLPA/Jules Cox s. 382 (sowa), SPL s. 383 (grubodziób), Arco Images/C. Kutschenreiter s. 393 (bóbr); **SHUTTERSTOCK.COM:** Alim Yakubov s. 12, Henner Damke s. 14 (rekin), Eric Isselee s. 14 (żaba), Benny Marty s. 14 (delfin), Marina Lohrbach s. 15 (stokrotka), Bachkova Natalia s. 16 (sikora), Peter Schwarz s. 16 (ważka), Sergey Rusakov s. 19 (grzyb), cynoclub s. 19 (mysz), Kateryna Kon s. 19 (bakterie, archeowce), Kmpzzz s. 22, toeytoey s. 22 (bakterie gram dodatnie i gram ujemne), Fredy Thuerig s. 24 (krowy), Kateryna Kon s. 24 (ilustracja układu oddechowego, bakterie *Streptococcus*), Sebastian Kaulitzki s. 24 (fantom z układem oddechowym, ilustracja), kram9 s. 24–25 (siewka rośliny), Anna Segeren s. 25 (dno morskie), zstock s. 30 (oczyszczalnia ścieków), HelloDecember s. 31 (choroba na cytrusach), Kateryna Kon s. 31 (ilustracja 3d układu pokarmowego człowieka bakterie symbiotyczne), Magic Mine s. 31 (ilustracja jelit), New Africa s. 31 (jogurty), panpilai paipa s. 31 (szczepionka), 3dman s. 35 (wiciowce), Erik Saanila s. 36 (dno morskie), lcrms s. 48 (kamieniołomy), 3dman s. 49 (rzęsistkowca, *Trichomonas vaginalis*), Designua s. 49 (malaria, *Plasmodium*), Designua s. 49 (toksoplazmoza, *Toxoplasma gondii*), Kateryna Kon s. 49 (lamblia jelitowa, *Giardia intestinalis*), Sergey Rusakov s. 51 (grzyb), Pieter Bruin s. 54 (grzyb jadalny), Russell Tur s. 55 (porosty ma skałach), Victoria 1 s. 57 (pleśniawki), Anetta Starowicz s. 71, Oleg Kovtun Hydrobio s. 72, AMS my life s. 73 (pełzatka), alika s. 79 (kora sosny), AnutkaT s. 79 (kwiat wiśni), Vladyslav Starozhylov s. 79 (drzewo z ukorzenieniem), Martin Fowler s. 80 (szczawik), woottigon s. 83 (goździk), dabjola s. 86 (dziewanna), Nataly Studio s. 86 (chmiel), Tatiana Volgutova s. 86 (pokrzywa), wallerichmercie s. 86 (róża), MIGUEL G. SAAVEDRA s. 88 (liście selera naciowego), Adilson Sochodolak s. 92 (muchołówka), Krasowit s. 93 (korzenie trawy), Aldona Griskeviciene s. 94 (struktura budowy korzenia, ilustracja), Valentyn Volkov s. 97 (rzodkiewka na białym tle), WanidaSri s. 98 (korzenie powietrzne storczyka), Davydenko Yuliia s. 100 (cebula), akepong srichaichana s. 101, xpixel s. 104 (przekrój przez pień sosny), Thammanoon Khamchalee s. 105 (paproć zwyczajna), MicrostockStudio s. 106 (gleba), Shamils s. 106 (imbir), Hub.-Wilh. Domroese s. 108 (użyłkowanie równoległe), Quang Ho s. 109 (fiołek), Evgeny Karandaev s. 110 (liść), Nataly Studio s. 113 (liść aloesu), Olga Larionova s. 113 (oleander), Tania Zbrodko s. 113 (lilak), Emil Litov s. 114 (ciernie kaktusa), rzarek s. 115 (liście łuskowate), Aleron Val s. 121 (zdrojek), Kati Maria s. 121 (rokitnik), Nyanews s. 122, Starover Sibiriak s. 130 (skrzyp), VIRTEXIE s. 131 (olej z skrzypu), Maryan Melnyk s. 133, Vovk Vasyl s. 134 (kwiaty męskie sosny), BestPhotoStudio s. 137 (miłorząb), Karel Gallas s. 137 (welwiczja), Andriy Solovyov s. 138 (drzewa na wydmach), zlikovec s. 138 (las iglasty), Robert Mutch s. 139 (ścieżka w lesie), woff s. 139 (drewno z drzew iglastych), Hiyoman s. 147 (skupinia cuchnąca, kapusta skunksa), Maks Narodenko s. 148 (połówka jabłka), Markus Gann s. 149 (owoce grabu), alexford s. 150 (figa), andregric s. 150 (owoc borówki), Egor Rodynchenko s. 150 (owoc jeżyny), Josef Szasz-Fabian s. 150 (pestkowiec brzoskwinia), Lepas s. 150 (owocostan morwy), Litvalifa s. 150 (ziarniaki kukurydzy), Maks Narodenko s. 150 (orzech laskowy), Valery Prokhozhy s. 150 (owoc jaskra), VasKondr s. 150 (owoc truskawki), Valentyn Volkov s. 150 (owoc śliwki), Richard Griffin s. 151, Ladislav Berecz s. 153 (kwiat rzepaku), Valentina Razumova s. 162 (igły sosny), Photoongraphy s. 176 (wiśnia), Adisa s. 183, oticki s. 187, Jenya Smyk s. 189, Food Impressions s. 197, Charles Brutlag s. 203 (siewki kukurydzy), GETSARA s. 203 (siewki słonecznika), William Potter s. 208 (siewka rośliny), s. 208 (gałązka z liśćmi), LB K s. 209 (żyworódka), Bildagentur Zoonar GmbH s. 210 (nasiona dzikiej marchwi), Swapan Photography s. 210 (korzeń marchwi), Roman Samokhin s. 211 (cytryna), Mny-Jhee s. 213, Creative Travel Projects s. 215, Jesus Cobaleda s. 235, Jan Leya s. 236 (ryba), Miroslav Hlavko s. 236 (popielica), Piotr Krzeslak s. 236 (sikora), Jose Luis Calvo s. 239 (gruczoły łojowe), vetpathologist s. 239 (komórki tarczycy), Vshivkova s. 243, Jose Luis Calvo s. 246 (komórki tłuszczowe żółte i brunatne), Sinhyu Photographer s. 248 (tkanka chrzęstna sprężysta), Jose Luis Calvo s. 252, sergemi s. 264 (rafa koralowa), DonyaHHI s. 265 (poparzenia parzydełkowców), Mr.Samarn Plubkilang s. 274 (płaziniec), Maciej Olszewski s. 284 (kos), Majna s. 286 (dżdżownice), 279 photo Studio s. 287, Douwe Schut s. 290 (owad), KT studio s. 290 (homar), cynoclub s. 291 (rak od spodu), Young Swee Ming s. 292 (komar, aparat typu kłująco-ssącego), anat chant s. 294 (chrząszcz), Bennyartist s. 294 (krewetka), David Osborn s. 294 (konik polny), Jan Miko s. 294 (nartnik), Marek R. Swadzba s. 294 (biegacz złocisty), Paul Aniszewski s. 295 (pajęczyna), Eric Isselee s. 300 (modliszki), Roman Prokhorov s. 302 (kleszcz), Jordi Jornet s. 303 (bąk), Stanziano Mario s. 303 (ważka), Adil Celebiyev StokPhoto s. 305 (kokony jedwabników), OlgaKok s. 305 (pszczelarz), Osman Ternizel s. 310 (oko ośmiornicy), Restuccia Giancarlo s. 311 (zapłodnienie u ślimaków), Vitalii Hulai s. 312 (błotniarka), Johan Swanepoel s. 312 (ślimak), Starover Sibiriak s. 313 (ślimak), Kristina Postnikova s. 330 (modliszka), Eric Isselee s. 334 (kręgowce), Vitalii Hulai s. 334 (żaba), George Chernilevsky s. 338 (ropucha), Joe Dordo Brnobic s. 338 (agama), Kristian Bell s. 338 (grzechotnik), PVRM s. 338 (biczogon egipski), Martin Prochazkacz s. 339 (kaczki), Pablo Santana Duran s. 339 (wilk), stmilan s. 339 (wróbel), mapman s. 339 (makaki), Trybex s. 343 (płoć), David Dohnal s. 344 (skalar), Krasowit s. 344 (węgorz), Wonderful Nature s. 344 (płaszczka), aquapix s. 346 (płaszczka), Krasowit s. 352 (łososi), Picture Partners s. 352 (węgorz), FedBul s. 354 (łuski ryby), Raland s. 354 (dno stawu), Rostislav Stefanek s. 354–355 (dno stawu z roślinnością), Dirk Ercken s. 357, Fliegenstube s. 363 (aksolotl), Sascha Burkard s. 363 (migotka), Eric Isselee s. 364, Vladislav T. Jirousek s. 368 (krokodyl), Milan Zygmunt s. 372, Alina Bezborodova s. 374 (ciężarna jaszczurka), Chase D'animulls s. 377, Drakuliren s. 378 (żołna), Volodymyr Burdiak s. 385, Bonnie Taylor Barry s. 386, Martin Mecnarowski s. 390 (sowa), PhotoSongserm s. 390 (kura), Martin Pelanek s. 392 (diabeł tasmański), Worraket s. 392 (orangutan), a454 s. 397 (młode cielę), Lukas Zdrazil s. 397 (królik), HQuality s. 403 (dojenie krowy) oraz Berkshire Community College Bioscience Image Library s. 95 (budowa pierwotna korzenia, przekrój przez korzeń lilii), s. 102, s. 112 (przekrój przez liść rośliny wodnej), Western New Mexico University Department of Natural Sciences s. 116 (przekrój przez liść mchu), Martina Čtvrtlíková/The Czech Academy of Sciences/AVCR/Department of Hydrochemistry and Ecosystem Modelling s. 130 (poryblin jeziorny – Isoetes lacustris), Sławomir Wiktorowicz s. 148 (przekrój pomidora), Ryszard Kozik s. 150 (mieszek kaczeńca), Sławomir Wiktorowicz s. 150 (torebka maku, strąk fasoli, przekrój pomidora, niełupka słonecznika), Ewelina i Bogdan Wańkowiczowie s. 160, s. 162 (liść ogonkowy buk pospolity, liść bezogonkowy – babka lancetowata), Berkshire Community College Bioscience Image Library Photographer: Fayette A Reynolds M.S. s. 240 (nabłonek jednowarstwowy sześcienny), s. 245 (tkanka siateczkowa, tkanka włóknista luźna), Marian Cieślak s. 378 (pióra).

nowa era *Twoje mocne strony*

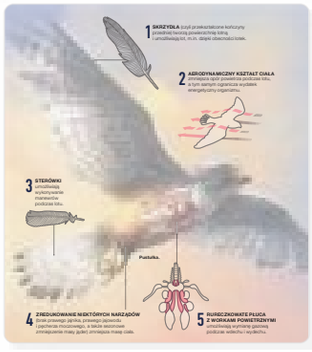
NOWA
Biologia na czasie

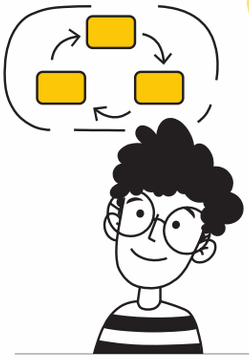
Za co polubisz podręcznik *NOWA Biologia na czasie 2*?



Powód 1

Realistyczne ilustracje, uproszczone rysunki i czytelne infografiki. Dzięki nim łatwo dowiesz się, na czym polegają procesy biologiczne. Patrzysz i od razu rozumiesz.





Powód 2

Wypunktowania, schematy i wyróżnienia. Na pierwszy rzut oka widać, co w tekście jest najważniejsze. Łatwiej wtedy zapamiętujesz, a mniej czasu potrzebujesz na powtórki.





Powód 3

Matura. Dobrze jest mieć podręcznik, który uczy rozwiązywania takich zadań, jakie pojawiają się na maturze. Dzięki temu możesz mieć pewność, że **Wiesz, umiesz, zdasz**.

Nowa Era Sp. z o.o.

www.nowaera.pl nowaera@nowaera.pl

Centrum Kontaktu: 58 721 48 00

ISBN 978-83-267-5219-3