Marek Guzik
Ryszard Kozik
Władysław Zamachowski

Biologia na czasie 2

Podręcznik dla liceum ogólnokształcącego i technikum

Zakres rozszerzony

nowa era
Twoje mocne strony

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. hab. Andrzeja Rzepki, dr Małgorzaty Stępki, dr hab. Katarzyny Kłosińskiej.

Etap edukacyjny: III
Typ szkoły: liceum ogólnokształcące i technikum
Rok dopuszczenia: 2020

Numer ewidencyjny w wykazie MEN: 1010/2/2020

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

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

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

© Copyright by Nowa Era Sp. z o.o. 2024
ISBN 978-83-267-5084-7

Konsultacja merytoryczna: dr Anna Tyc (specjalność: florystyka, fitosocjologia i ochrona przyrody).

Koordynacja prac i redakcja merytoryczna: Agnieszka Krotke.
Współpraca redakcyjna: Magdalena Bujnowska, Bartłomiej Grądzki, Magdalena Lampart-Kałużniacka, Aleksandra Mazur.
Redakcja językowa: Roksana Blech. **Nadzór koncepcyjno-redakcyjny:** Dorota Dąbrowska-Mróz.
Autorka zadań w części *Wiesz, umiesz, zdasz*: Anna Tyc.
Nadzór artystyczny: Kaia Pichler. **Opieka graficzna:** Ewa Kaletyn. **Projekt graficzny:** Marcin Kołacz.
Projekt okładki: Maciej Galiński, wykorzystano elementy autorstwa Wojtka Urbanka.
Opracowanie graficzne: Marek Błoszko, Maciej Galiński, Klaudia Jarocka, Marcin Kołacz, Agnieszka Skopińska, Zuzanna Sri, Grażyna Truchlińska, Sławomir Włodarczyk.
Ilustratorzy: Ewelina Baran, Katarzyna Borek-Polkowska, Elżbieta Buczkowska, Rafał Buczkowski, Marta Długokęcka, Robert Dzwonkowski, Natalia Helman, Wioleta Herczyńska, Adam Kłodecki, Przemysław Kłosin, Agata Knajdek, Małgorzata Motyka-Karnas, Krzysztof Mrawiński, Marek Nawrocki, Marcin Oleksak, Joanna Ptak, Bogumił Roszak, Ewa Sowulewska, Przemysław Szukaj, Monika Wiśniewska, Magdalena Wolnicka-Maryniak. **Fotoserwis:** Bogdan Wańkowicz.
Realizacja projektu graficznego: Ewa Pietras, Piotr Socha.

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

Przypomnij sobie to treści, które zostały omówione w podręczniku *Biologia na czasie 1*. Pomogą Ci one przypomnieć sobie informacje z klasy 1, niezbędne do zrozumienia zagadnienia omawianego podczas lekcji.

Samouczek

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

Zwróć uwagę na:

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

Dowiedz się więcej

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

Czy wiesz, że...

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

Doświadczenie

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

Biologia w medycynie

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

Polecenia kontrolne

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

WIESZ, UMIESZ, ZDASZ
Metoda kształcenia kluczowych umiejętności z biologii

Podsumowanie

Syntetyczne zestawienie kluczowych informacji z danego działu umożliwi Ci szybkie powtórzenie wiadomości przed sprawdzianem.

Zadania powtórzeniowe

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

Sposób na zadania

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

Spis treści

1. Bezkomórkowe czynniki zakaźne

1.1. Wirusy – molekularne pasożyty ... 6
1.2. Wiroidy i priony – swoiste czynniki infekcyjne ... 15
Podsumowanie ... 17
Sposób na zadania ... 19
Zadania powtórzeniowe ... 20

2. Różnorodność prokariontów, protistów, grzybów i porostów

2.1. Klasyfikowanie organizmów ... 24
2.2. Organizmy prokariotyczne – bakterie i archeowce ... 32
2.3. Protisty – proste organizmy eukariotyczne ... 45
2.4. Grzyby – heterotroficzne beztkankowce ... 62
2.5. Porosty – organizmy dwuskładnikowe ... 72
Podsumowanie ... 75
Sposób na zadania ... 82
Zadania powtórzeniowe ... 84

3. Różnorodność roślin

3.1. Rośliny pierwotnie wodne ... 88
3.2. Rośliny lądowe i wtórnie wodne ... 93
3.3. Tkanki roślinne ... 99
3.4. Zarodek – początkowe stadium sporofitu roślin ... 111
3.5. Korzeń – organ podziemny roślin ... 113
3.6. Pęd. Budowa i funkcje łodygi ... 120
3.7. Budowa i funkcje liści ... 128
3.8. Mchy – rośliny o dominującym gametoficie ... 136
3.9. Paprotniki – zarodnikowe rośliny naczyniowe ... 142
3.10. Rośliny nasienne. Rośliny nagozalążkowe ... 152
3.11. Rośliny okrytozalążkowe ... 160
3.12. Rozprzestrzenianie się roślin okrytozalążkowych ... 169
3.13. Różnorodność i znaczenie roślin okrytozalążkowych ... 174
Podsumowanie ... 180
Sposób na zadania ... 195
Zadania powtórzeniowe ... 197

4. Funkcjonowanie roślin

4.1. Gospodarka wodna roślin ... 202
4.2. Gospodarka mineralna roślin ... 215
4.3. Odżywianie się roślin. Fotosynteza ... 218
4.4. Czynniki wpływające na intensywność fotosyntezy ... 224
4.5. Transport asymilatów w roślinie ... 230
4.6. Hormony roślinne ... 233
4.7. Wzrost i rozwój roślin. Kiełkowanie nasion ... 237
4.8. Rozwój wegetatywny i generatywny roślin ... 243
4.9. Spoczynek i starzenie się roślin ... 253
4.10. Ruchy roślin ... 255
Podsumowanie ... 261
Sposób na zadania ... 268
Zadania powtórzeniowe ... 270

5. Różnorodność bezkręgowców

5.1. Kryteria klasyfikacji zwierząt ... 274
5.2. Gąbki – zwierzęta beztkankowe ... 281
5.3. Tkanki zwierzęce. Tkanka nabłonkowa ... 285
5.4. Tkanka łączna ... 290
5.5. Tkanki pobudliwe – nerwowa i mięśniowa ... 298
5.6. Parzydełkowce – tkankowe zwierzęta dwuwarstwowe ... 306
5.7. Płazińce – zwierzęta spłaszczone grzebieto-brzusznie ... 314
5.8. Wrotki – zwierzęta z aparatem rzęskowym ... 323
5.9. Nicienie – zwierzęta o obłym, nieczłonowanym ciele ... 328
5.10. Pierścienice – bezkręgowce o wyraźnej metamerii ... 335
5.11. Stawonogi – zwierzęta o członowanych odnóżach ... 343
5.12. Różnorodność i znaczenie stawonogów ... 358
5.13. Mięczaki – zwierzęta o miękkim, niesegmentowanym ciele ... 364
5.14. Szkarłupnie – bezkręgowe zwierzęta wtórouste ... 372
Podsumowanie ... 377
Sposób na zadania ... 384
Zadania powtórzeniowe ... 385

6. Różnorodność strunowców

6.1. Charakterystyka strunowców ... 390
6.2. Cechy charakterystyczne kręgowców ... 396
6.3. Ryby – żuchwowce pierwotnie wodne ... 402
6.4. Płazy – kręgowce dwuśrodowiskowe ... 417
6.5. Gady – pierwsze owodniowce ... 427
6.6. Ptaki – latające zwierzęta pokryte piórami ... 438
6.7. Ssaki – kręgowce wszechstronne i ekspansywne ... 452
Podsumowanie ... 469
Sposób na zadania ... 476
Zadania powtórzeniowe ... 478

Sposób na zadania – odpowiedzi ... 481
Doświadczenia i obserwacje – odpowiedzi ... 482
Przydatne terminy ... 483
Indeks ... 491
Literatura uzupełniająca ... 494

1. Bezkomórkowe czynniki zakaźne

1.1. Wirusy – molekularne pasożyty

1.2. Wiroidy i priony – swoiste czynniki infekcyjne

Fot. Wirus grypy (mikrofotografia elektronowa).

1.1. Wirusy – molekularne pasożyty

Zwróć uwagę na:

- budowę wirusów,
- różnorodność morfologiczną i genetyczną wirusów,
- cykle infekcyjne wirusów,
- namnażanie się retrowirusów,
- znaczenie wirusów.

Wirusy to czynniki zakaźne zbudowane z **białka** i **kwasu nukleinowego**, które osiągają rozmiary od kilku do kilkuset nanometrów. Są one **wewnątrzkomórkowymi pasożytami**, atakującymi praktycznie wszystkie organizmy.

Istnienie wirusów zależy od świata ożywionego, jednak one same **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.

Budowa wirusa

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

- materiału genetycznego,
- białkowego płaszcza zwanego kapsydem.

W skład wirionu niektórych wirusów wchodzą ponadto lipoproteinowe osłonki zewnętrzne, dodatkowe białka budulcowe lub cząsteczki specyficznych enzymów wirusowych.

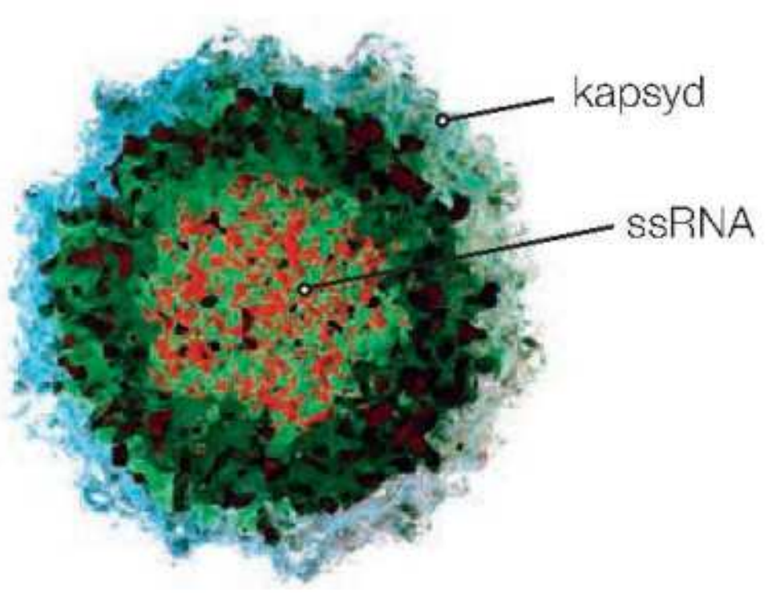
Materiałem genetycznym wirusów jest **kwas deoksyrybonukleinowy – DNA** – lub **kwas rybonukleinowy – RNA**, przy czym prawie nigdy nie występują one jednocześnie. W zależności od rodzaju wirusa cząsteczki kwasów nukleinowych są jednoniciowe bądź dwuniciowe.

Materiał genetyczny wirusów zawiera geny, które kodują białka wirusowe. Kompletna informacja genetyczna wirusa jest nazywana jego **genomem**. Genomy wirusów są bardzo małe i zawierają niewiele genów. Najprostsze wirusy mogą mieć tylko trzy geny, większość ma ich kilkanaście.

Kwas nukleinowy	DNA	jednoniciowy (ss[1]DNA)
		dwuniciowy (ds[2]DNA)
	RNA	jednoniciowy (ssRNA)
		dwuniciowy (dsRNA)

Drugi element wirionu, **kapsyd**, składa się z niewielkich białkowych jednostek strukturalnych, tzw. kapsomerów. Kapsyd chroni materiał genetyczny wirusa w środowisku pozakomórkowym oraz umożliwia wirusowi rozpoznawanie komórek gospodarza.

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



Wirus polio (obraz spod TEM) należy do wirusów bezosłonkowych.

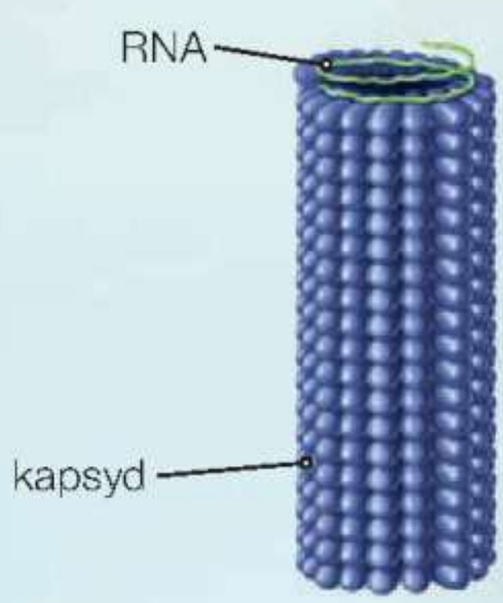
[1] **ss** – skrót od angielskiej nazwy *single strand*.
[2] **ds** – skrót od angielskiej nazwy *double strand*.

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.

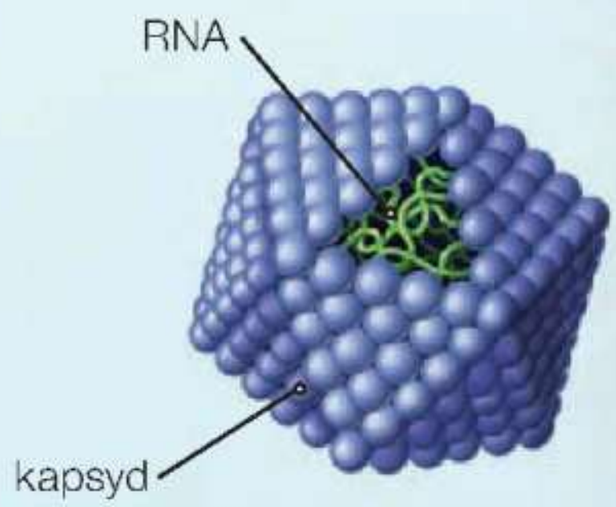
Forma helikalna

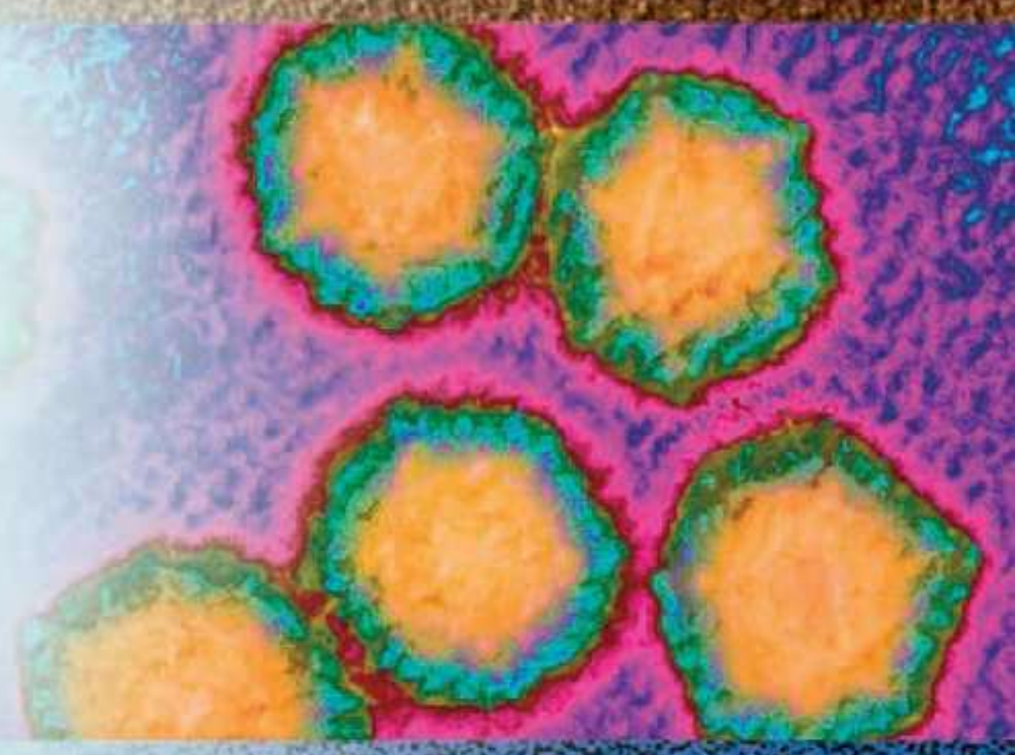
Występuje często u wirusów roślinnych, np. u wirusa mozaiki tytoniu.



Forma bryłowa

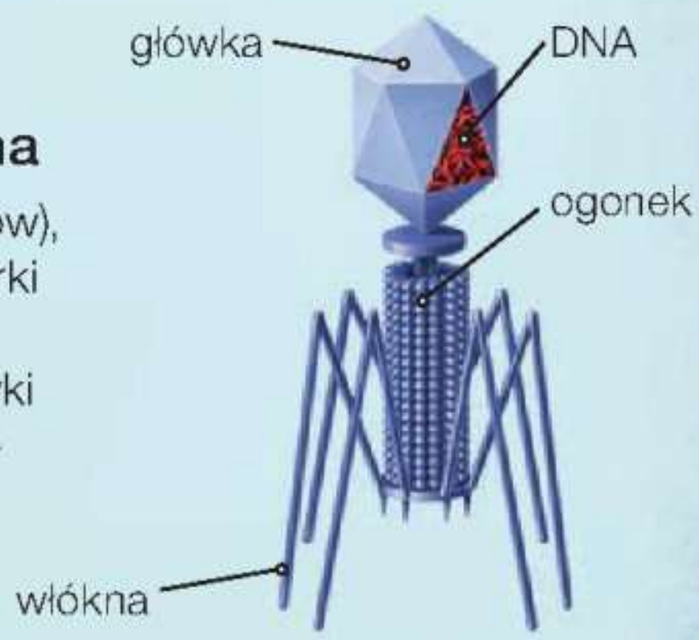
Występuje głównie u wirusów zwierzęcych, np. u wirusa zapalenia wątroby typu A.





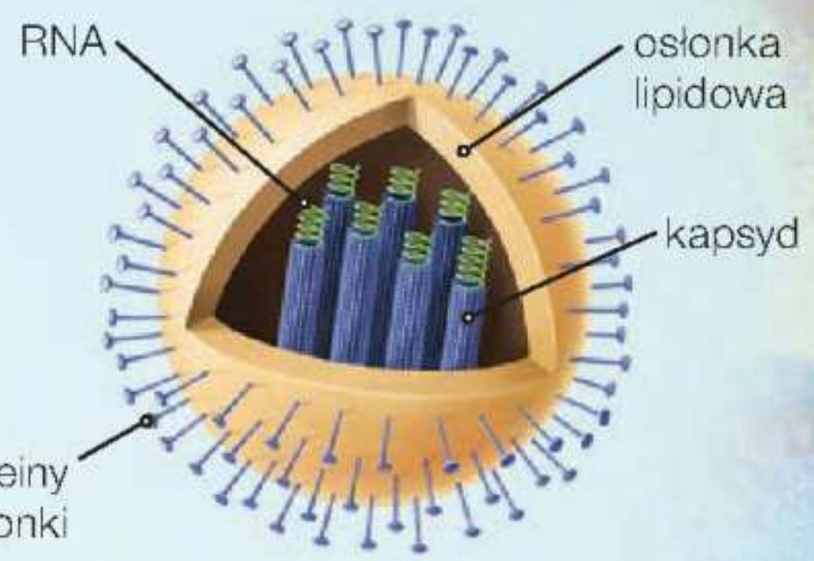
Forma bryłowo-spiralna

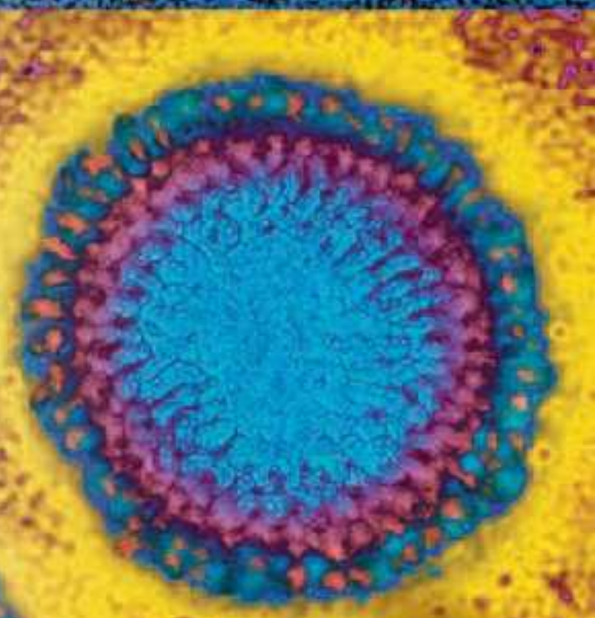
Występuje u bakteriofagów (fagów), czyli wirusów atakujących komórki bakterii. Wirion bakteriofaga jest zbudowany z wielościennej główki oraz helikalnego ogonka, zaopatrzonego w białkowe włókna.



Forma kulista

Występuje u wirusów zawierających lipoproteinową osłonkę, np. u wirusa grypy. 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:

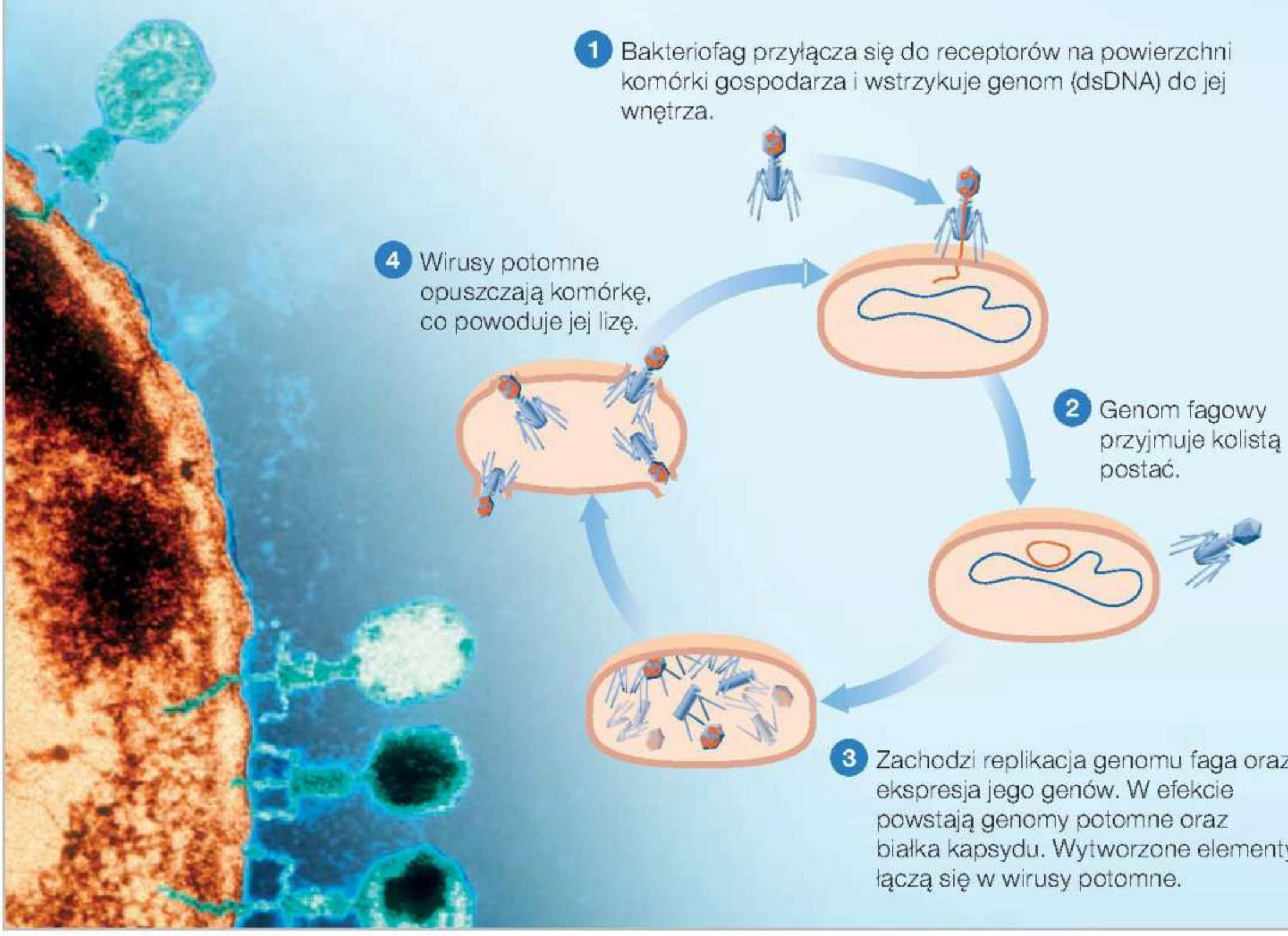
- Wirus adsorbuje się na powierzchni komórki gospodarza, czyli przyłącza się do odpowiednich receptorów błony komórkowej.
- Wirus lub jego genom wnika do komórki gospodarza. Bakteriofagi wstrzykują do komórek bakterii wyłącznie swoje genomy, a kapsydy pozostawiają na zewnątrz. Wirusy roślinne i zwierzęce zazwyczaj wnikają do komórek w całości. Wnikanie wirusów roślinnych odbywa się zwykle poprzez uszkodzone tkanki, natomiast wirusów zwierzęcych – głównie na drodze endocytozy. Po wniknięciu wirusa do komórki kapsyd rozpada się, uwalniając materiał genetyczny wirusa.
- Zachodzi synteza nowych genomów wirusa. Etap ten przebiega w różny sposób, w zależności od rodzaju wirusa. Jeśli jest to wirus DNA, synteza nowych genomów polega na **replikacji DNA** z udziałem komórkowego enzymu **polimerazy DNA**. W przypadku innych rodzajów wirusów powielanie materiału genetycznego jest bardziej skomplikowane i często wymaga udziału specyficznych enzymów wirusowych, np. odwrotnej transkryptazy u retrowirusów.

Cykle infekcyjne wirusów

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

Cykl lityczny

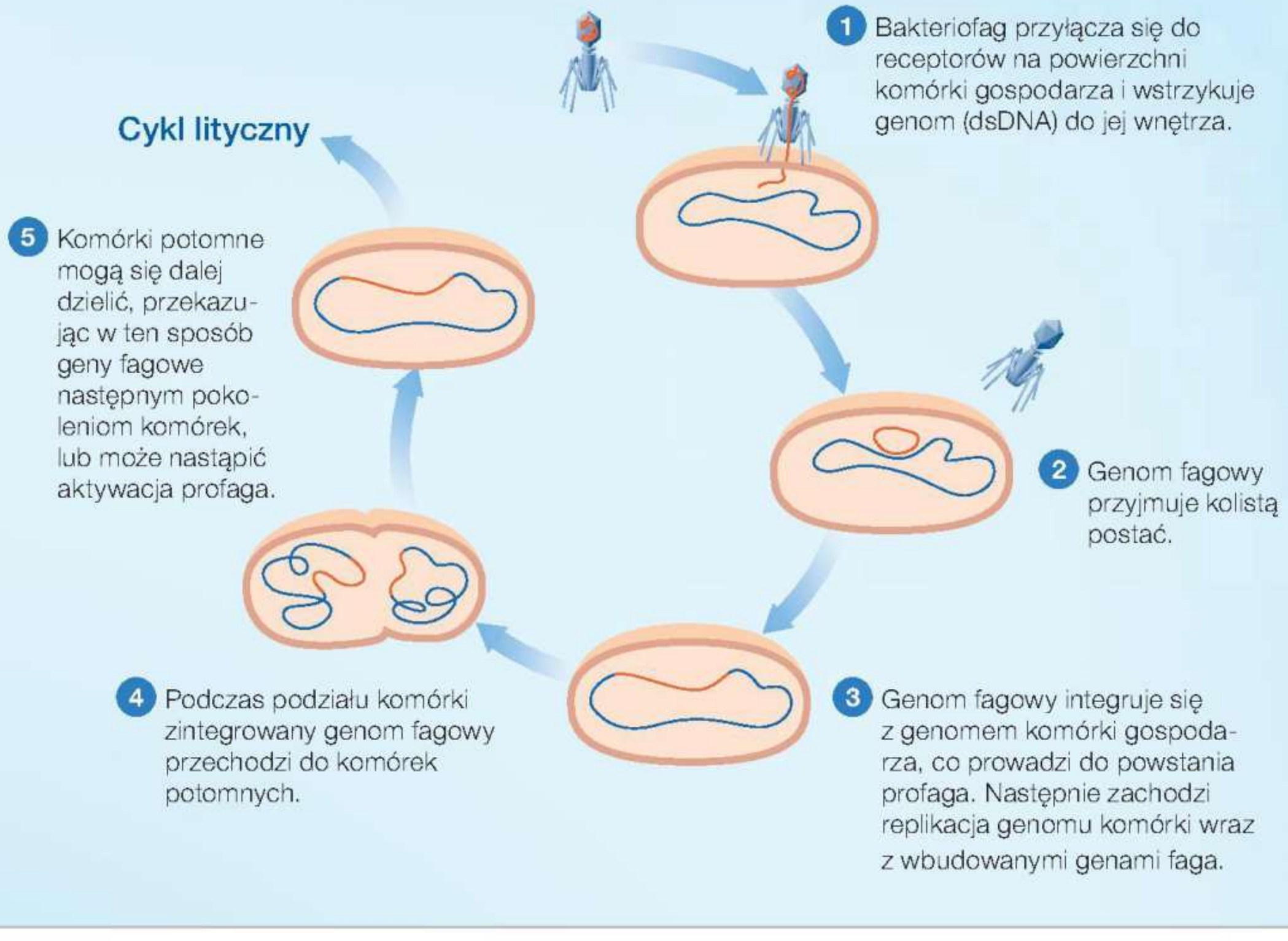
Zachodzi u bakteriofagów złośliwych, m.in. u bakteriofaga T4. W tym cyklu geny wirusa przejmują kontrolę nad metabolizmem komórki gospodarza, co prowadzi do wytwarzania nowych wirionów. Opuszczają one komórkę, powodując jej lizę (rozpad).



- Geny wirusa ulegają ekspresji, która prowadzi do wytworzenia białek wirusowych. W przypadku wirusów DNA najpierw zachodzi **transkrypcja**, czyli przepisanie informacji z wirusowego DNA na mRNA. Proces ten katalizuje komórkowy enzym **polimeraza RNA**. Następnie zachodzi **translacja**, czyli synteza białek zgodnie z informacją zawartą w mRNA. W przypadku niektórych wirusów RNA cząsteczka RNA tworząca ich genom może być jednocześnie matrycą do syntezy białek. U innych wirusów synteza mRNA jest procesem bardziej skomplikowanym i często wymaga udziału specyficznych enzymów wirusowych.
- Zachodzi składanie genomów i białek wirusa w wirusy potomne, które opuszczają komórkę godpodarza, wypączkowując z niej lub powodując jej rozpad, czyli lizę.
- Niektóre wirusy wbudowują swój genom do genomu komórki gospodarza. Stają się wtedy **prowirusami** lub – w przypadku bakteriofagów – **profagami**. W takim stanie, zwanym **lizogenią**, nie wywołują one objawów choroby. Przechodzą jednak w trakcie podziałów do komórek i organizmów potomnych. W ten sposób rozprzestrzeniają się, nie wyniszczając jednocześnie swoich żywicieli. Pod wpływem zmiany warunków prowirusy mogą się jednak uaktywniać i wywoływać objawy choroby.

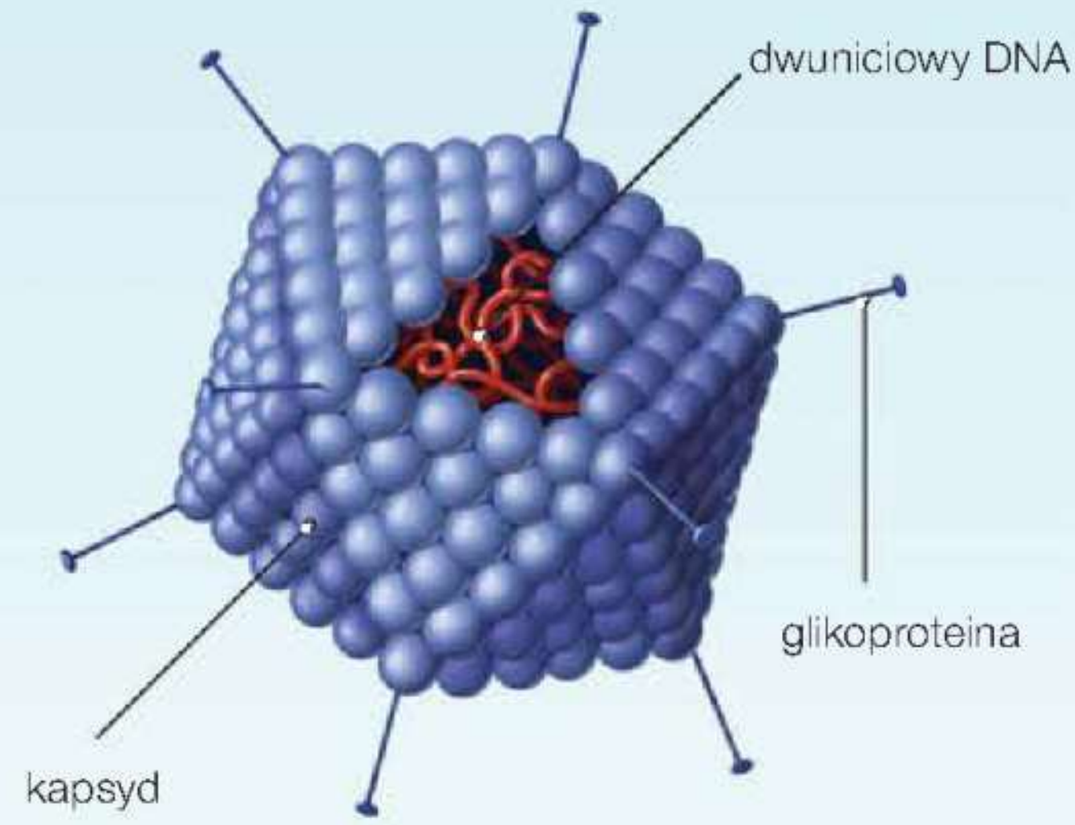
Cykl lizogeniczny

Zachodzi u bakteriofagów łagodnych, m.in. u bakteriofaga λ (lambda). W tym cyklu genom wirusa integruje się z genomem komórki gospodarza. Powstały profag nie wywołuje u gospodarza żadnych objawów infekcji, ale zostaje powielony wraz z DNA komórki. Pod wpływem niekorzystnych dla zainfekowanej komórki czynników zewnętrznych może on jednak ulec aktywacji i wejść 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.

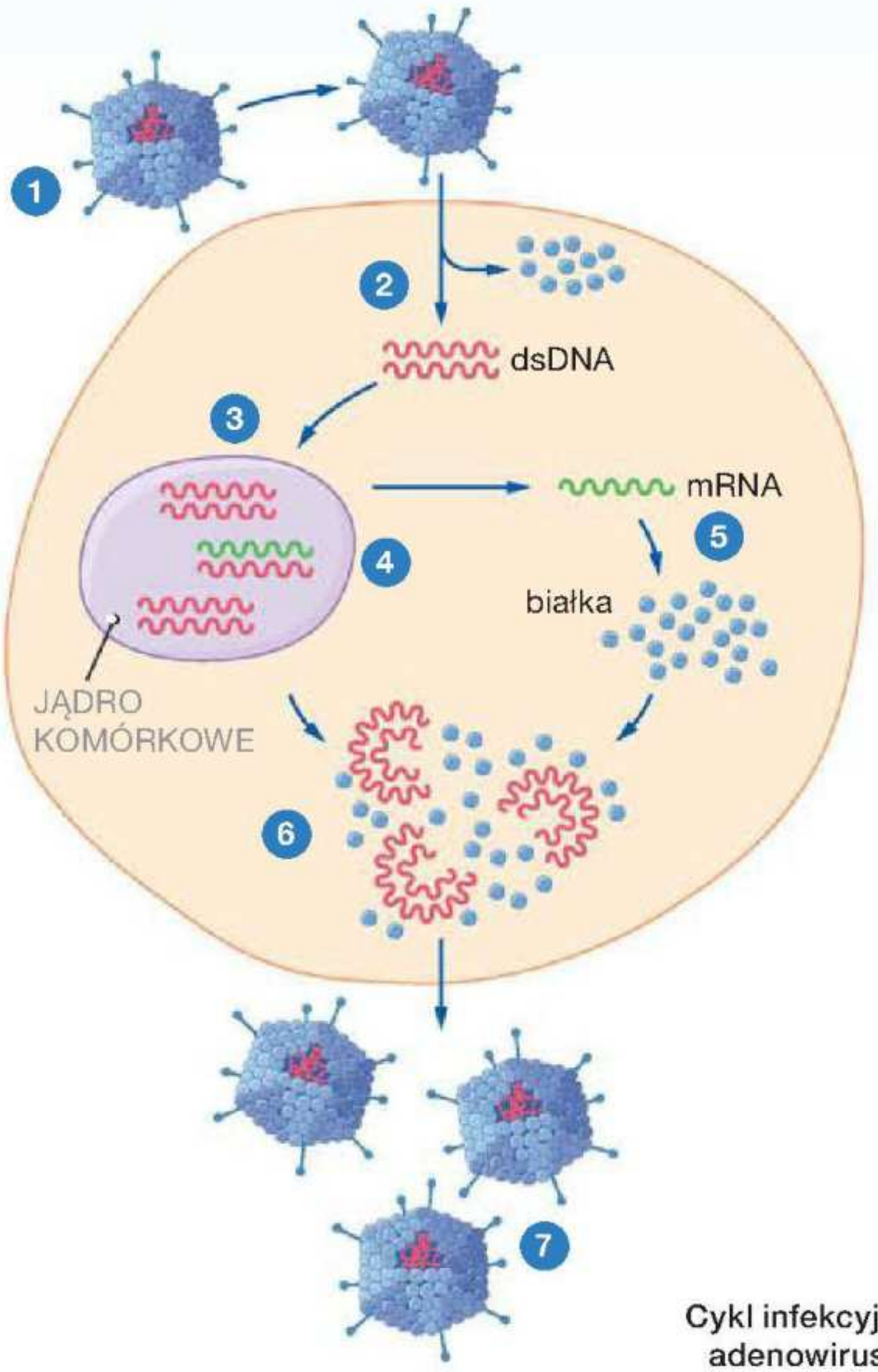


Budowa adenowirusa.

Cykl infekcyjny wirusa DNA

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

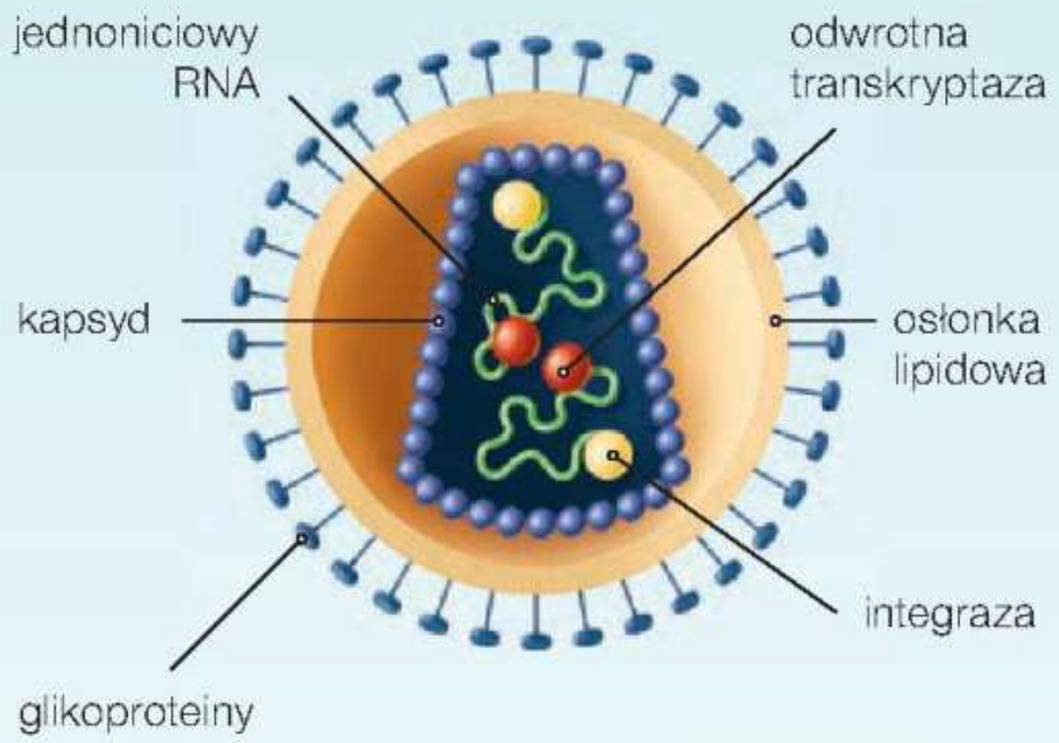
1. **Adsorpcja** – glikoproteiny wirusa rozpoznają receptory znajdujące się na powierzchni infekowanej komórki i wiążą się z nimi.
2. **Wnikanie** – kapsyd wirusa wraz z materiałem genetycznym przechodzi do cytoplazmy komórki. Kapsyd rozpada się, uwalniając materiał genetyczny wirusa.
3. **Replikacja DNA** – zachodzi powielenie genomu wirusa katalizowane przez enzym polimerazę DNA komórki gospodarza.
4. **Transkrypcja** – zachodzi synteza RNA na matrycy DNA katalizowana przez enzym polimerazę RNA komórki gospodarza.
5. **Translacja** – zachodzi synteza białek wirusowych na rybosomach komórki gospodarza.
6. **Składanie** – z elementów składowych powstają kopie wirusa.
7. **Uwolnienie** – wirus opuszcza zainfekowaną komórkę, co zwykle powoduje jej lizę.



Cykl infekcyjny adenowirusa.

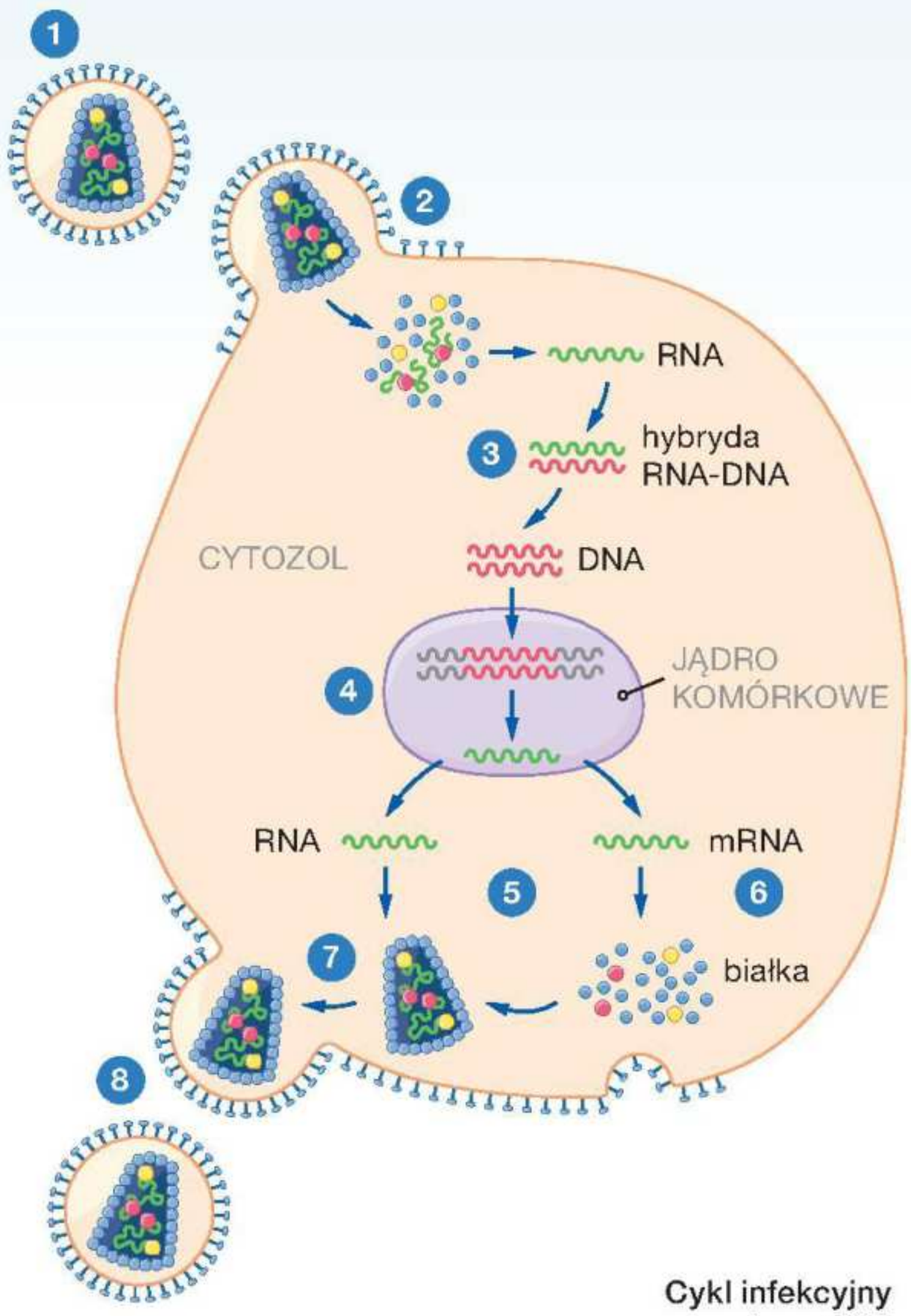
Cykl infekcyjny retrowirusa

Retrowirusy to grupa wirusów RNA, które przeprowadzają proces odwrotnej transkrypcji, czyli syntezy DNA na matrycy RNA. Genom retrowirusa składa się z dwóch identycznych kopii jednoniciowego RNA i koduje enzym – odwrotną transkryptazę – który umożliwia przepisywanie informacji z RNA na DNA. 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 infekowanej komórki odpornościowej i wiążą się z nimi. Osłonka wirusa zlewa się z błoną komórkową komórki gospodarza.
2. **Wnikanie** – kapsyd wirusa wraz z materiałem genetycznym przechodzi do cytoplazmy komórki. Po rozpadzie kapsydu następuje uwolnienie materiału genetycznego wirusa.
3. **Odwrotna transkrypcja** – na podstawie RNA wirusa odwrotna transkryptaza syntetyzuje DNA odpowiadający pełnemu genomowi wirusowemu. DNA przemieszcza się do jądra komórkowego.
4. **Integracja** – zsyntetyzowany DNA zostaje wbudowany do DNA komórki gospodarza. W procesie tym uczestniczy enzym wirusowy – integraza. Wirus w stanie utajenia trwa w komórkach odpornościowych, nie wywołując objawów AIDS.
5. **Transkrypcja** – zachodzi synteza wirusowego RNA na matrycy zintegrowanego DNA. Dzięki temu wytwarzane są nowe genomy wirusa, które jednocześnie stanowią matrycę do syntezy białek wirusowych.
6. **Translacja** – zachodzi synteza białek wirusowych na rybosomach komórki gospodarza.
7. **Składanie** – z elementów składowych powstają kopie wirusa.
8. **Uwolnienie** – wirus opuszcza zainfekowaną komórkę. 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, w tym rośliny uprawne i zwierzęta hodowlane, powodując m.in. straty w rolnictwie. Wywołują również wiele chorób u ludzi.

Do szczególnie niebezpiecznych wirusów roślin uprawnych należą:

- **wirus Y ziemniaka** wywołujący smugowatość ziemniaka. Choroba objawia się m.in. zniekształceniem bulw;
- **wirus mozaiki tytoniu** wywołujący mozaikę tytoniu. Choroba objawia się m.in. plamami na liściach, pofałdowaniem liści oraz zahamowaniem wzrostu roślin.

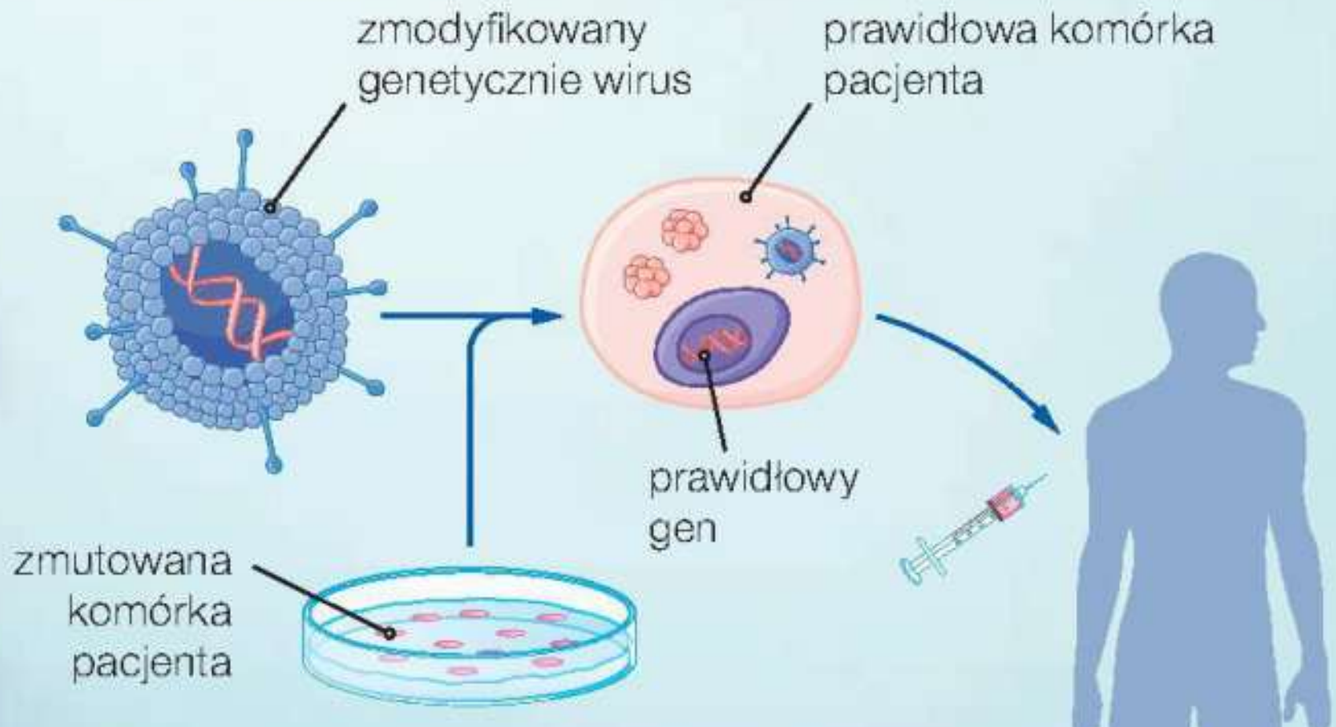
Do szczególnie niebezpiecznych wirusów zwierząt należą:

- **wirus wścieklizny** wywołujący wściekliznę – ciężką, zwykle śmiertelną chorobę centralnego układu nerwowego u ssaków, m.in. psów, lisów, czy kotów. Zakażenie wirusem następuje w wyniku pogryzienia przez chore zwierzę lub poprzez kontakt z jego wydzielinami. Do głównych objawów wścieklizny należą: utrata wrodzonego lęku, agresja, niepokój, obniżone łaknienie, porażenie kończyn i innych części ciała;
- **wirus pryszczycy** wywołujący pryszczycę – ciężką, zwykle śmiertelną chorobę ssaków kopytnych, m.in. bydła i świń. Wirus rozprzestrzenia się drogą powietrzną. Do głównych objawów pryszczycy należą: wysoka gorączka, utrata apetytu, osowiałość, pęcherze na skórze;
- **wirus nosówki psów** wywołujący nosówkę – ciężką, zwykle śmiertelną chorobę ssaków z rodziny psowatych. Wirus rozprzestrzenia się drogą powietrzną lub pokarmową. Do głównych objawów nosówki należą: wysoka gorączka, wysięk z nosa i spojówek, biegunka, wymioty, zapalenie płuc, zaburzenia neurologiczne, np. porażenie kończyn.

Biologia w **medycynie**

Zastosowanie wirusów w medycynie

Wirusy są naturalnymi wrogami ludzi, lecz mimo to znalazły szereg zastosowań w medycynie. Od wielu lat stosuje się je do produkcji szczepionek i surowic. Są również eksperymentalnie wykorzystywane do zwalczania bakterii chorobotwórczych, szczególnie tych opornych na wiele antybiotyków. Leczenie za pomocą bakteriofagów może stanowić przełom – gdy antybiotyki tracą swoją skuteczność, mogą je zastąpić wirusy, zwalczające groźne szczepy bakterii.



Uproszczony przebieg terapii genowej.

Opowiednio zmodyfikowane wirusy są także stosowane w terapii genowej. Terapia ta polega na wprowadzeniu prawidłowego genu do komórek osoby z uszkodzonym genem. Prawidłowy gen jest przenoszony za pomocą tzw. wektorów, czyli m.in. zmodyfikowanych genetycznie wirusów.

Wybrane choroby wirusowe człowieka

Nazwa choroby; nazwa wirusa	Droga zakażenia	Profilaktyka
wścieklizna; wirus wścieklizny	• pogryzienie przez zakażone zwierzę lub kontakt z jego wydzielinami • rzadziej w wyniku przeszczepu narządów	• przemycie rany wodą z mydłem • przemycie rany surowicą zawierającą przeciwciała przeciw wirusowi wścieklizny • domięśniowe lub dożylne podanie surowicy przeciw wirusowi wścieklizny • szczepienia ochronne • 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
choroba Heinego-Medina [wym. hainego medina]; wirus polio	• droga pokarmowa • kontakt z odchodami osób zakażonych	• szczepienia ochronne • ochrona wód przed zanieczyszczeniem fekaliami • przestrzeganie zasad higieny
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)	• szczepienia ochronne
odra; wirus odry	• droga kropelkowa	• szczepienia ochronne
ospa wietrzna; wirus ospy wietrznej (VZV)	• droga kropelkowa	• szczepienia ochronne
różyczka; wirus różyczki	• droga kropelkowa • zakażenie dziecka przez chorą matkę w trakcie ciąży	• szczepienia ochronne
świnka; wirus świnki	• droga kropelkowa	• 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

Wirusy onkogenne

Niektóre wirusy DNA i retrowirusy powodują długo utrzymujące się zakażenia, prowadzące niekiedy do rozwoju nowotworu. Wirusy onkogenne mogą:

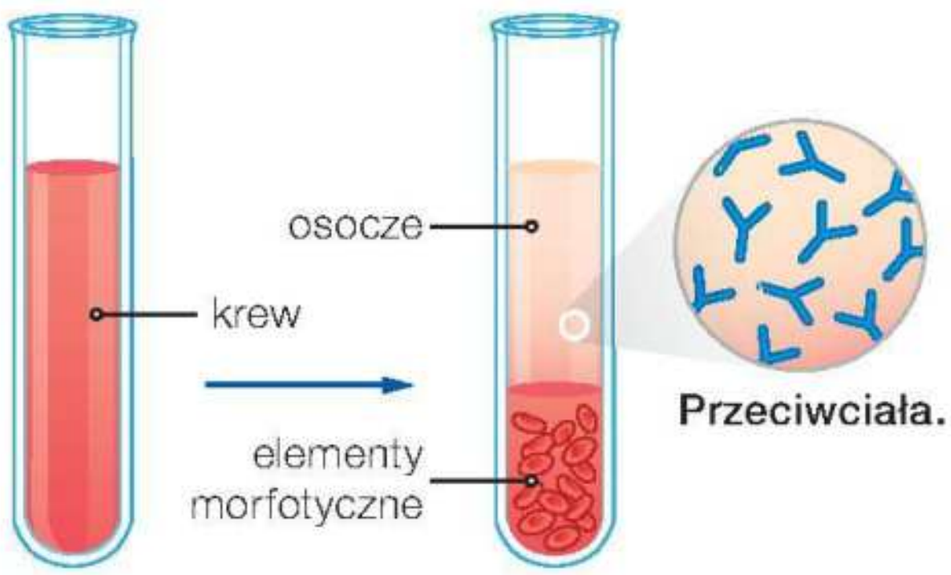
- dostarczać lub aktywować geny stymulujące podziały komórkowe. Przykładem jest wirus opryszczki 8 (HHV8), który powoduje rozwój mięsaka Kaposiego – nowotworu tkanek miękkich, m.in. skóry. Wirus ten koduje białka pobudzające podziały komórkowe;
- usuwać naturalne mechanizmy hamujące podziały komórkowe. Przykładem jest wirus brodawczaka ludzkiego, który powoduje rozwój raka szyjki macicy. Wirus ten koduje białka, które dezaktywują m.in. białko p53 kontrolujące przebieg cyklu komórkowego;
- zapobiegać apoptozie komórek. Przykładem jest wirus Epsteina-Barr [wym. epsteina bar], który powoduje m.in. raka jamy nosowo-gardłowej. Wirus ten pobudza ekspresję jednego z genów jądrowych, który zapobiega apoptozie zakażonych komórek.

Profilaktyka i leczenie chorób wirusowych

W zwalczaniu chorób wirusowych istotne jest wczesne i prawidłowe rozpoznanie choroby, wykrycie i unieszkodliwienie źródła zakażenia, a następnie uniemożliwienie rozprzestrzeniania się wirusa. Ważna jest także ochrona osobników zdrowych, które mają kontakt z chorymi lub nosicielami.

W profilaktyce wielu chorób wirusowych stosuje się **szczepienia ochronne**. Polegają one na podawaniu organizmom zdrowym wirusów o zmniejszonej zjadliwości, czyli zmniejszonej zdolności wywoływania choroby. W odpowiedzi na kontakt z wirusem organizm gospodarza wytwarza przeciwciała, które unieszkodliwiają wirusa. W ten sposób nabywa odporność na określony rodzaj wirusa.

W sytuacji zakażenia lub podejrzenia zakażenia niektórymi wirusami stosuje się **surowice odpornościowe**. Surowica to osocze krwi pozbawione fibrynogenu. W osoczu znajdują się przeciwciała skierowane przeciw konkretnemu rodzajowi wirusa. Surowice pochodzą od organizmów, które przebyły określoną chorobę wirusową lub zostały przeciwko niej zaszczepione. Na przykład 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.

Wirusy wykorzystują do namnażania się aparat biochemiczny swojego gospodarza, dlatego trudno je zwalczać, nie wyrządzając jednocześnie szkody komórkom zakażonego organizmu. Z tego powodu **leki przeciwwirusowe** są zwykle skierowane przeciwko enzymom wirusowym. Na przykład leki zwalczające objawy AIDS hamują działanie odwrotnej transkryptazy lub integrazy, zapobiegając w ten sposób ekspresji genów wirusa.

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. Wiroidy i priony – swoiste czynniki infekcyjne

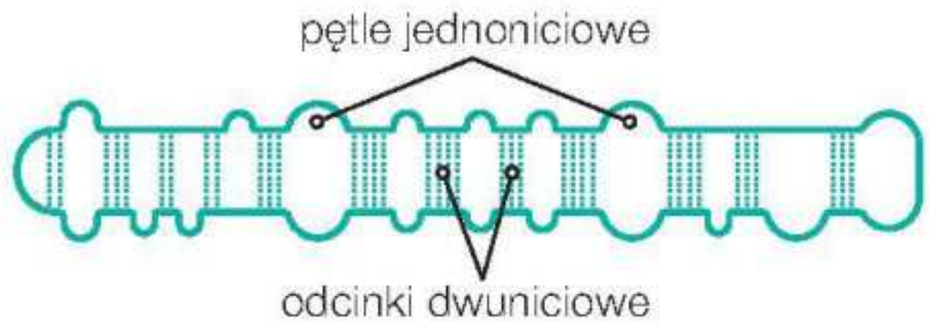
Zwróć uwagę na:
- budowę wiroidów i prionów,
- choroby wywoływane przez wiroidy i priony.

Wiroidy i priony to czynniki infekcyjne, które – podobnie jak wirusy – **nie mają budowy komórkowej i nie przejawiają samodzielnej aktywności metabolicznej**. Ich namnażanie się może zachodzić tylko w komórkach organizmu gospodarza.

Swoistość wiroidów i prionów polega na ich nietypowej budowie. Są one pojedynczymi cząsteczkami związków chemicznych: RNA – w przypadku wiroidów – i białka – w przypadku prionów.

Wiroidy

Wiroidy są czynnikami zakaźnymi zbudowanymi **wyłącznie z kwasu nukleinowego – RNA** – bez otoczki białkowej. Cząsteczki RNA wiroidów są jednoniciowe, zamknięte, zbudowane z kilkuset nukleotydów (od 246 do 600). Występują w nich fragmenty dwuniciowe, powstałe na skutek łączenia się komplementarnych nukleotydów jednej nici.

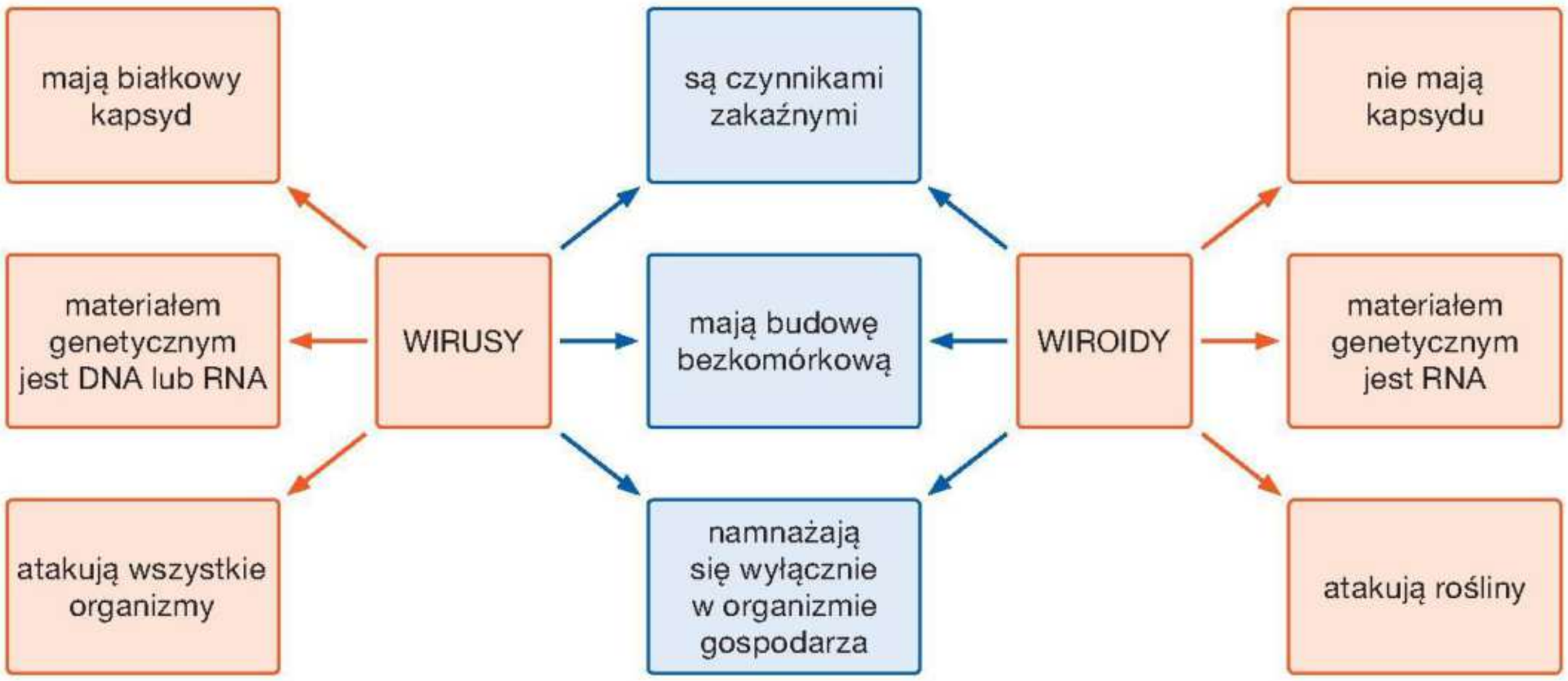


Struktura wiroidu.

Wszystkie znane wiroidy są **pasożytami roślin**, zdolnymi do replikacji wyłącznie w komórkach gospodarza. Genom wiroidów nie koduje żadnych białek, dlatego proces replikacji jest całkowicie uzależniony od enzymów obecnych w komórce zaatakowanej rośliny.

Mechanizm chorobotwórczego działania wiroidów nie został jeszcze poznany. Przypuszcza się, że RNA wiroidów oddziałuje bezpośrednio z różnymi składnikami komórki gospodarza, m.in. z białkami lub kwasami nukleinowymi. W konsekwencji tych oddziaływań dochodzi do zaburzenia metabolizmu komórki i rozwoju choroby.

Podobieństwa i różnice między wirusami a wiroidami



Priony

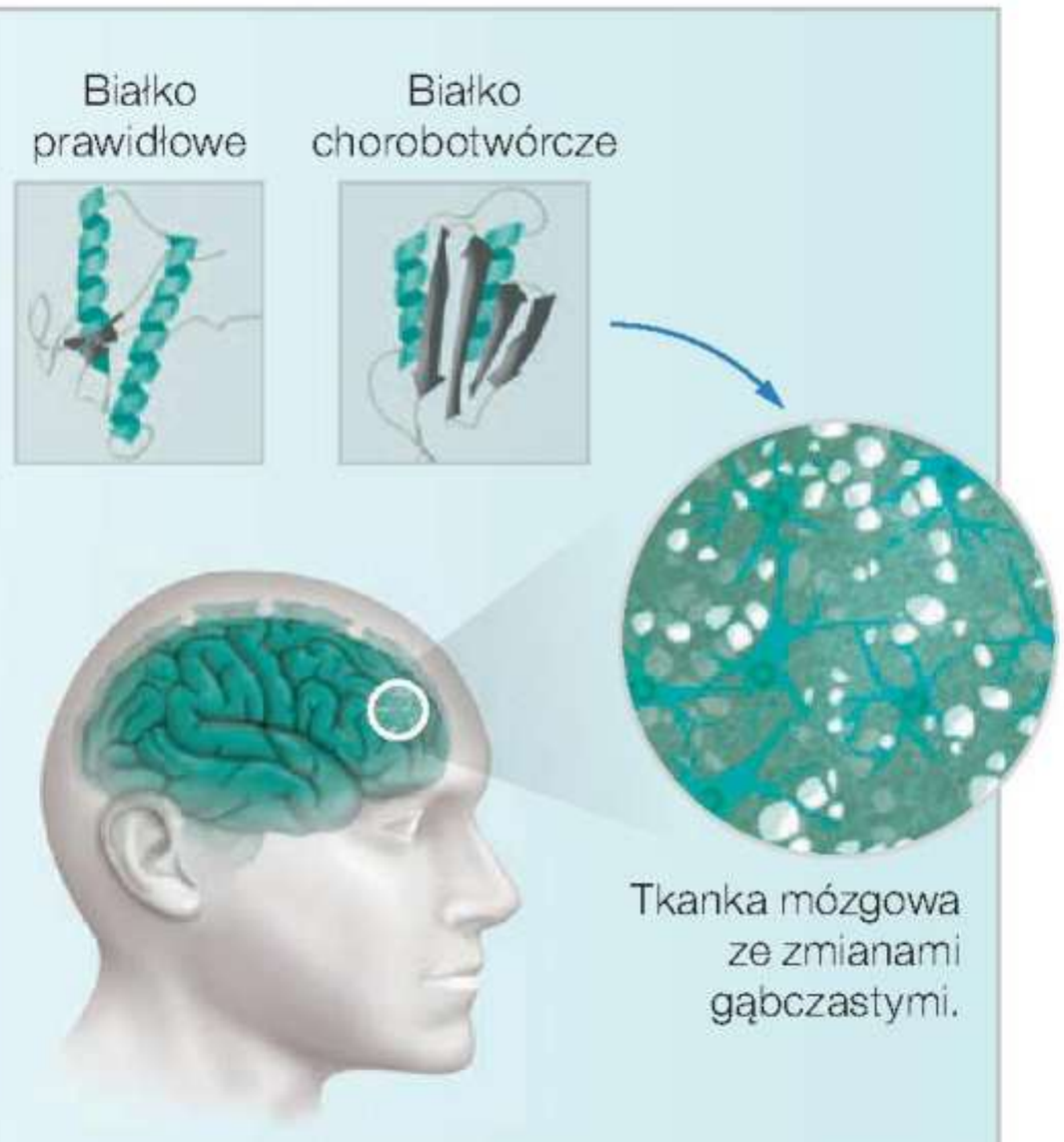
Priony (proteinowe cząsteczki infekcyjne) składają się **wyłącznie z białka**, są więc jedynymi czynnikami zakaźnymi, które nie mają w swojej strukturze kwasów nukleinowych. Białka prionowe, oznaczane symbolem **PrP^{sc}**, są chorobotwórczymi formami białka PrP, kodowanego przez gen prp (prnp). Gen ten znajduje się w genomach wielu organizmów – do tej pory wykryto go u zwierząt, m.in. ssaków, ptaków i niektórych owadów, oraz w komórkach drożdży. Prawidłowa forma białka PrP, oznaczana symbolem **PrP^{c}**, nie jest chorobotwórcza. Jej funkcja nie została jednak jeszcze poznana. Wiadomo, że forma ta ma zdolność powolnego, samoistnego przekształcania się w formę PrP^{sc}. Przemiana ta polega na zmianie konformacji przestrzennej białka. W prawidłowym białku dominuje struktura α-helisy, natomiast w chorobotwórczym – struktura β-harmonijki. Pojawienie się w komórce chorobotwórczej formy białka prionowego przyspiesza przemianę kolejnych, prawidłowych cząsteczek białka w cząsteczki chorobotwórcze.

Białka prionowe wywołują szereg **chorób ośrodkowego układu nerwowego**, określanych wspólnie jako zakaźne, gąbczaste zapalenie mózgu (ang. skrót: TSE od *transmissible encephalopathy*). Do chorób prionowych występujących u zwierząt hodowlanych należą m.in. **gąbczasta encefalopatia bydła** (ang. skrót BSE od *bovine spongiform encephalopathy*), zwana potocznie chorobą szalonych krów, oraz choroba scrapie [wym. skrapi], na którą zapadają owce. Z kolei u ludzi występują m.in. **choroba Creutzfeldta-Jakoba** [wym. krojcfelda jakoba], **kuru** oraz **nieuleczalna rodzinna bezsenność**.

Dotychczas nie opracowano żadnych metod leczenia chorób prionowych. Ich profilaktyka – w porównaniu do innych chorób zakaźnych – jest znacznie utrudniona, ponieważ białka prionowe są odporne na wysokie temperatury, większość środków chemicznych oraz promieniowanie jonizujące. W ramach przeciwdziałania epidemiom monitoruje się hodowle bydła. Wprowadzono również przepisy prawne zakazujące obrotu produktami zwierzęcymi, stosowanymi do karmienia zwierząt domowych.

Choroba Creutzfeldta-Jakoba

Choroba Creutzfeldta-Jakoba występuje u osób powyżej 50. roku życia. Jest przenoszona drogą pokarmową, przez zanieczyszczone narzędzia medyczne lub w wyniku przeszczepu zakażonej tkanki. Podobnie jak inne encefalopatie gąbczaste charakteryzuje się występowaniem w neuronach licznych wakuol oraz włókien zawierających tzw. amyloid, czyli duże agregaty białka. Do typowych objawów choroby Creutzfeldta-Jakoba należą: utrata kontroli nad mięśniami, drżenie ciała, zanik koordynacji ruchowej oraz otępienie. W przebiegu choroby nie występują stany zapalne. Nie pojawia się także naturalna reakcja odpornościowa organizmu. Śmierć następuje w ciągu roku od wystąpienia pierwszych objawów.



Polecenia kontrolne

1. Podaj dwa podobieństwa i dwie różnice między wirusami a wiroidami.
2. Określ, czym się różni prawidłowa forma białka PrP od formy chorobotwórczej.

Podsumowanie

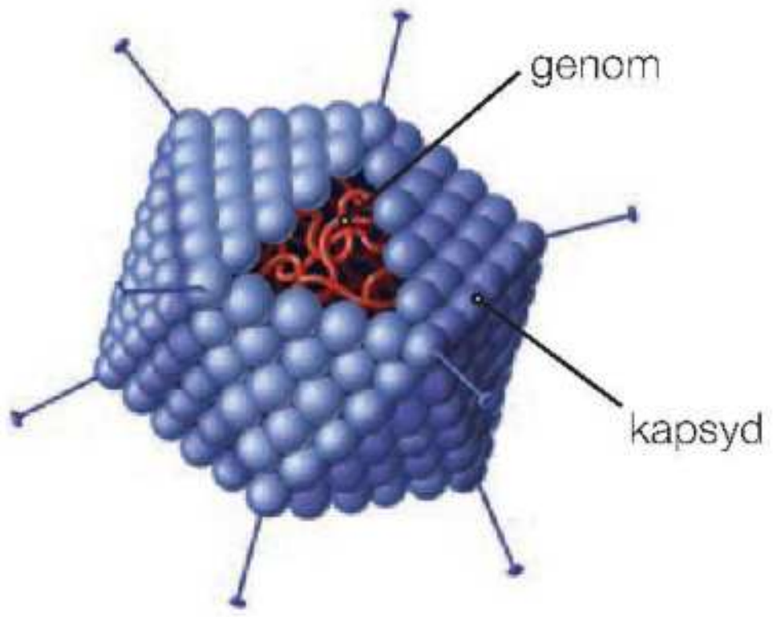
1 Bezkomórkowe czynniki zakaźne

Cechy czynników	Czynniki zakaźne		
	wirusy	wiroidy	priony
Materiał genetyczny	+	+	–
Rodzaj materiału genetycznego	DNA, RNA	RNA	–
Białkowa otoczka	+	–	–
Białko jako czynnik chorobotwórczy	–	–	+
Wewnątrzkomórkowe pasożyty	+	+	+
Budowa komórkowa	–	–	–
Samodzielna aktywność metaboliczna	–	–	–
Namnażanie się w komórce gospodarza	+	+	+
Przykłady chorób wywoływanych przez bezkomórkowe czynniki zakaźne	AIDS, choroba Heinego-Medina, brodawki, rak szyjki macicy, grypa, odra	choroby roślin	gąbczasta encefalopatia bydła, choroba scrapie, choroba Creutzfeldta-Jakoba, kuru, nieuleczalna rodzinna bezsenność

2 Wirusy

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),
- białkowego płaszcza (kapsydu).



3 Genomy wirusów

Kwas nukleinowy	DNA	jednoniciowy (ssDNA)
		dwuniciowy (dsDNA)
	RNA	jednoniciowy (ssRNA)
		dwuniciowy (dsRNA)

4 Formy morfologiczne wirusów

- Helikalna – występuje głównie u wirusów roślinnych, np. u wirusa mozaiki tytoniu.
- Bryłowa – występuje głównie u wirusów zwierzęcych, np. u wirusa zapalenia wątroby typu A.
- Bryłowo-spiralna – występuje u bakteriofagów. Wirion bakteriofaga jest zbudowany z wielościennej główki oraz helikalnego ogonka, zaopatrzonego w białkowe włókna.
- Kulista – występuje u wirusów zawierających lipoproteinową osłonkę, np. u wirusa grypy.

5 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	Zachodzi synteza RNA na matrycy DNA katalizowana zwykle przez polimerazę RNA komórki gospodarza, a następnie synteza białek wirusowych.
Składanie	Z elementów składowych powstają kopie wirusa.
Uwalnianie	Wirusy potomne opuszczają komórkę.

6 Cykle infekcyjne bakteriofagów

Cykl	
lityczny	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.	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. Przy zmianie warunków prowirus może się uaktywniać i wywoływać objawy choroby.

7 Wybrane wirusy zwierzęce

- Adenowirusy – materiałem genetycznym jest DNA. Atakują komórki zwierzęce. Powodują choroby górnych dróg oddechowych oraz układu pokarmowego.
- Retrowirusy – materiałem genetycznym jest RNA. Przykładem retrowirusa jest ludzki wirus niedoboru odporności (HIV), wywołujący nabyty zespół niedoboru odporności (AIDS).

8 Wirusy onkogenne mogą:

- dostarczać lub aktywować geny stymulujące podziały komórkowe – wirus opryszczki 8 (HHV8),
- usuwać naturalne mechanizmy hamujące podziały komórkowe – wirus brodawczaka ludzkiego, który powoduje rozwój raka szyjki macicy,
- zapobiegać apoptozie komórek – wirus Epsteina-Barr, który powoduje m.in. raka jamy nosowo-gardłowej.

9 Profilaktyka i leczenie chorób wirusowych:

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

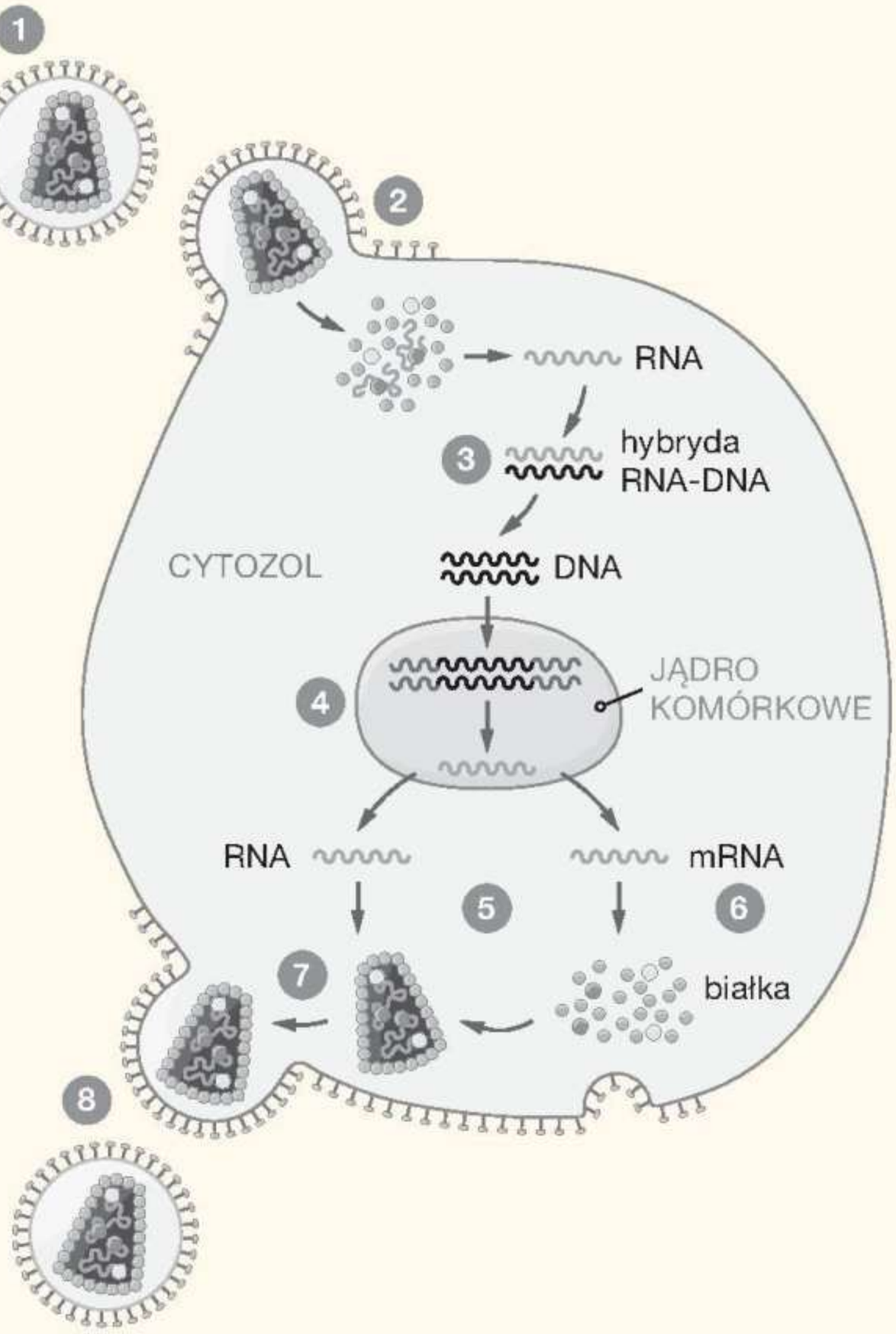
10 Zastosowanie wirusów w leczeniu i zwalczaniu chorób

- Są wykorzystywane do produkcji szczepionek i surowic.
- Terapia genowa – wirusy zmodyfikowane genetycznie mogą przenosić i wprowadzać prawidłowe geny do komórek z uszkodzonymi genami.
- Bakteriofagi – eksperymentalnie są wykorzystywane do zwalczania groźnych szczepów bakterii, opornych na działanie antybiotyków.

Sposób na zadania

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 poprawność stwierdzenia: „Wirus HIV składa się wyłącznie z elementów kodowanych przez jego genom". Odpowiedź uzasadnij.

c) Podaj nazwę etapu cyklu infekcyjnego wirusa, podczas którego powstaje DNA odpowiadający pełnemu genomowi wirusowemu, oraz wskaż na schemacie poprawne oznaczenie tego etapu (1–8).

Wskazówki

Podpunkt a)

1. Przypomnij sobie, jaki typ komórek infekuje wirus HIV. Informację na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 11.
2. Zastanów się, jak zbudowany jest wirus HIV. Zwróć uwagę na ten element budowy wirusa, który umożliwia mu wniknięcie i zainfekowanie komórki gospodarza. Informację na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 11 oraz na schemacie.

3. Przeanalizuj schemat. Odszukaj na nim wspólny element budowy wirusa i komórki organizmu ludzkiego. Informację na ten temat znajdziesz także w podręczniku na s. 11.
4. Sformułuj odpowiedź.

Podpunkt b)

1. Przypomnij sobie cykl infekcyjny wirusa HIV. Przeanalizuj go na podstawie dołączonego schematu.
2. Zwróć uwagę na etap składania wirusa w komórce gospodarza. Zastanów się, jakie elementy budują wirus HIV. Informacje na ten temat znajdują się na schemacie oraz w podręczniku na s. 11.
3. Zastanów się, w jaki sposób wirus HIV opuszcza komórkę gospodarza. Zwróć uwagę na budowę tego wirusa i porównaj ją z budową wirusa HIV, który jeszcze nie opuścił komórki gospodarza. Informacje na ten temat znajdziesz także w podręczniku na s. 11.
4. Zastanów się, czy wszystkie elementy budowy wirusa powstały na bazie informacji zakodowanej w jego genomie. Zwróć szczególną uwagę na zewnętrzny element budowy wirusa.
5. Sformułuj odpowiedź.

Podpunkt c)

1. Przypomnij sobie, jaki rodzaj kwasu nukleinowego stanowi genom wirusa HIV. Informację na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 11.
2. Zastanów się, w jaki sposób informacja genetyczna zawarta w genomie wirusa HIV zostaje przepisana na DNA.
3. Odszukaj na schemacie oznaczenie procesu (wybrane spośród 1–8), podczas którego zachodzi przepisanie informacji genetycznej z kwasu nukleinowego wirusa wprowadzonego do komórki gospodarza na DNA.
4. Sformułuj odpowiedź.

Zadania powtórzeniowe

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 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.

2 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. Zaznacz 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.

3 Wiroidy to czynniki zakaźne zbudowane wyłącznie z RNA. Cząsteczki RNA wiroidów są jednoniciowe, ale występują w nich również fragmenty dwuniciowe, powstałe na skutek łączenia się komplementarnych zasad azotowych jednej nici.

a) Wymień nazwy komplementarnych zasad azotowych, które mogą tworzyć pary, dzięki którym powstają dwuniciowe fragmenty w cząsteczkach RNA wiroidów.

b) Podaj nazwę wiązania umożliwiającego powstanie dwuniciowych fragmentów RNA.

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

a) Ustal kolejność etapów cyklu infekcyjnego bakteriofaga T4.

Numer etapu	Etapy cyklu	Charakterystyka etapów cyklu
?	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.

5 Wirusy i wiroidy są czynnikami zakaźnymi, które atakują różne organizmy i prowadzą do rozwoju choroby.

Spośród podanych organizmów wybierz dwa, które mogą zostać zainfekowane zarówno przez wirusy, jak i przez wiroidy.

ziemniak, człowiek, krowa, muchomor, awokado, owca

6 „Priony są białkami, które pod względem chorobotwórczości dzielimy na priony fizjologiczne PrP^{C} (C – cellular) oraz priony patogenne PrP^{Sc} (Sc – scrapie). Badania wykazały, że informacja genetyczna o budowie prionów jest zawarta w genomach wielu organizmów, a białko prionowe (PrP^{C}) jest syntetyzowane przez komórki nie tylko ssaków, ptaków, niektórych owadów, ale także drożdży i grzybów nitkowatych. Udowodniono także, że wszystkie jak dotąd przebadane pod tym kątem kręgowce mają gen prnp kodujący peptyd PrP^{C}. Białko prionowe PrP^{C} jest syntetyzowane w komórkach tak jak inne białka organizmu i przechodzi obróbkę potranslacyjną, po czym jest wynoszone na powierzchnię komórki, z którą jest związane morfologicznie i czynnościowo. Białka te (PrP^{C}) nie są chorobotwórcze dla organizmu, w którym występują. […] są zbudowane z około 255 aminokwasów […], a w strukturze przestrzennej dominuje u nich konformacja trzech α-helis, stanowiących aż 43% całości cząsteczki, natomiast konformacja β-harmonijki to zaledwie 3%. PrP^{C} ma trójwymiarowy, spiralny kształt, dzięki czemu to białko przyjmuje postać globularną. […] Patogenna izoforma białka prionowego PrP^{Sc} w 30% zbudowana jest ze struktury α-helikalnej i aż w 43% ze struktury β-fałdowanej, co w znacznym stopniu wpływa na jej budowę przestrzenną i właściwości. Wynikiem przewagi domen β-pofałdowanych są łańcuchy aminokwasów układające się względem siebie równolegle, przez co tworzy się postać liniowa oporna na czynniki fizykochemiczne i enzymatyczne".

Źródło: A. Wierzbicka, W. Deptuła, *Rola układu odpornościowego w patogenezie chorób prionowych*, „Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej" 2008, T. 62, s. 168, http://www.phmd.pl/api/files/view/2737.pdf [data dostępu: 10.10.2019].

a) Oceń, czy poniższe stwierdzenia dotyczące prionów są prawdziwe. Zaznacz P, jeśli stwierdzenie jest prawdziwe, albo F – jeśli jest fałszywe.

1.	Priony występują w komórkach organizmów prokariotycznych i eukariotycznych.	P	F
2.	Różnice w budowie przestrzennej prionów fizjologicznych i patologicznych wynikają z odmiennej drugorzędowej struktury tych białek.	P	F
3.	Występująca na powierzchni komórek część białka prionowego ma charakter hydrofilowy.	P	F

b) Skonstruuj wykres kolumnowy, w którym porównasz procentową zawartość α-helisy i β-harmonijki w cząsteczkach białek PrP^{C} i PrP^{Sc}.

c) Podaj nazwę struktury komórkowej, w której zachodzi modyfikacja białek prionowych przed ich związaniem z błoną komórkową.

d) Zaznacz poprawne dokończenie zdania.

Patogenne białka prionowe wywołują szereg chorób układu
A. krążenia.
B. pokarmowego.
C. odpornościowego.
D. nerwowego.

7 Wirusy to małe cząstki zakaźne uznawane za struktury z pogranicza materii ożywionej i nieożywionej.
Wybrane cechy wirusów:

1. Nie mają budowy komórkowej.
2. Mają własny materiał genetyczny.
3. W ich skład wchodzą kwasy nukleinowe, białka, a niekiedy również lipidy i glikoproteiny.
4. W syntezie własnych składników wykorzystują struktury i możliwości metaboliczne komórki gospodarza.
5. Nie rozmnażają się.
6. Podlegają mutacjom.
7. Ewoluują.

Uzupełnij tabelę. Wpisz w odpowiednich miejscach cechy (wybrane spośród 1–7), które świadczą o przynależności wirusów do materii ożywionej lub nieożywionej.

Cechy świadczące o przynależności do materii ożywionej	Cechy świadczące o przynależności do materii nieożywionej
?	?

2. Różnorodność prokariontów, protistów, grzybów i porostów

2.1. Klasyfikowanie organizmów
2.2. Organizmy prokariotyczne – bakterie i archeowce
2.3. Protisty – proste organizmy eukariotyczne
2.4. Grzyby – heterotroficzne beztkankowce
2.5. Porosty – organizmy dwuskładnikowe

Fot. Grzyb należący do typu sprzężniowych.

2.1. Klasyfikowanie organizmów

Zwróć uwagę na:
- zasady klasyfikacji biologicznej,
- pokrewieństwo ewolucyjne organizmów,
- grupy monofiletyczne, parafiletyczne i polifiletyczne.

Pierwszy spójny system klasyfikacji organizmów został opracowany w XVIII w. przez Karola Linneusza. Badacz ten brał pod uwagę wyłącznie podobieństwo zewnętrzne organizmów, dlatego stworzony przez niego system klasyfikacji często nie odzwierciedlał naturalnych pokrewieństw między nimi. Stanowił jednak doskonałą podstawę dalszego rozwoju systematyki. Linneusz opisał ponad 10 tys. gatunków organizmów i pogrupował je w kolejne taksony uporządkowane w sposob hierarchiczny. Wprowadził również binominalne (dwuimienne) nazewnictwo gatunków.

Systematyka i jej zadania

Systematyka to dział biologii, który zajmuje się klasyfikacją organizmów, czyli ich podziałem na grupy, zwane **taksonami**. Efektem tego podziału jest system klasyfikacji organizmów, czyli system taksonomiczny. Obecnie stosowany **system taksonomiczny** nie jest systemem ostatecznym, co oznacza, że podlega ciągłym zmianom. Wynika to przede wszystkim z rozwoju metod klasyfikacji, odkrywania nowych organizmów żyjących współcześnie oraz szczątków organizmów wymarłych.

Głównymi zadaniami systematyki są:
- opisanie, nazwanie i sklasyfikowanie wszystkich organizmów – zarówno współcześnie żyjących, jak i wymarłych,
- zbudowanie naturalnego systemu klasyfikacji, opartego na ewolucyjnym pokrewieństwie organizmów; system taki dawałby obraz ewolucyjnej historii życia, począwszy od pierwszej prakomórki, aż do najbardziej złożonych organizmów tkankowych.

Określaniem reguł klasyfikacji i nazewnictwa systematycznego zajmuje się **taksonomia**, natomiast określaniem pokrewieństwa ewolucyjnego między taksonami – **filogenetyka**.

System klasyfikacji organizmów

Każda grupa organizmów stanowi oddzielny takson, który jest przyporządkowany do odpowiedniej **kategorii taksonomicznej**. Kategorie taksonomiczne mają określoną rangę, dlatego system klasyfikacji organizmów charakteryzuje się **strukturą hierarchiczną**. Obecnie stosowany system klasyfikacji obejmuje osiem głównych kategorii taksonomicznych: domenę, królestwo, typ, klasę, rząd, rodzinę, rodzaj i gatunek. Każdy z taksonów oraz każda z kategorii taksonomicznych ma **nazwę łacińską**, dzięki czemu możliwa jest współpraca naukowców różnych narodowości. Łacińskie nazwy rodzajowe i gatunkowe organizmów zapisuje się kursywą (pismem pochyłym), natomiast łacińskie nazwy wyższych taksonów zapisuje się bez kursywy.

W systematyce roślin zamiast kategorii typu stosuje się często kategorię gromady, natomiast w systematyce zwierząt zamiast kategorii klasy – kategorię gromady.

Zasady klasyfikacji biologicznej

Zasady klasyfikacji biologicznej, w tym szczegółowe reguły nadawania nazw poszczególnym taksonom, zostały opracowane przez najwybitniejszych specjalistów w zakresie systematyki i zawarte w **Międzynarodowym Kodeksie Nomenklatury**.

Podstawową kategorią taksonomiczną jest **gatunek**. Poszczególne gatunki to grupy podobnych do siebie organizmów, zdolnych do krzyżowania się i wydawania płodnego potomstwa. Spośród wszystkich taksonów tylko gatunki realnie występują w przyrodzie. Dlatego ich zbadanie, nazwanie i opisanie jest kluczowym elementem klasyfikacji biologicznej.

Zasady nadawania nazw gatunkowych:

- Przy tworzeniu nazw gatunkowych organizmów obowiązuje tzw. **nazewnictwo binominalne** (dwuimienne). Nazwa gatunkowa składa się z dwóch członów. Pierwszy z nich stanowi **nazwę rodzajową**, która określa przynależność organizmu do danego rodzaju. Drugi, nazywany **epitetem gatunkowym**, odróżnia organizmy danego gatunku od innych organizmów należących do tego samego rodzaju.
- Zaleca się, aby nazwa gatunkowa była nazwą znaczącą, czyli np. oddawała cechy organizmów tworzących gatunek.
- Do nazw gatunkowych dodaje się często skrót nazwiska badacza, który pierwszy opisał i nazwał dany gatunek.
- Przy nadawaniu nazw obowiązuje **reguła priorytetu** – pierwszeństwo ma ta nazwa gatunkowa, która została nadana gatunkowi najwcześniej.
- Nazwa nowego gatunku staje się obowiązująca po opublikowaniu jego opisu (diagnozy) w ogólnodostępnej publikacji o charakterze naukowym. W opisie każdego gatunku zostaje wyznaczony jeden osobnik, tzw. **okaz typowy**, który jest wzorcem gatunku. Okaz typowy jest zwykle przechowywany w kolekcji muzeum.

Po opisaniu i nazwaniu danego gatunku klasyfikuje się go do odpowiednich taksonów wyższych kategorii taksonomicznych.

Rośliny należące do gatunku dzwonek brodaty (*Campanula barbata* L.) cechują się kwiatami w kształcie dzwonków. Na płatkach korony tych kwiatów znajdują się włoski. Kształt kwiatów jest cechą rodzajową, a obecność włosków – cechą gatunkową. Gatunek ten został nazwany i opisany przez Linneusza.

Okaz typowy dzwonka brodatego znajduje się w Szwedzkim Muzeum Historii Naturalnej.

Stanowisko systematyczne dzwonka brodatego

Domena	Eukarionty (Eucarya)
Królestwo	Rośliny (Plantae)
Gromada	Okrytozalążkowe (Angiospermae)
Klasa	Dwuliścienne (Magnoliopsida)
Rząd	Astrowce (Asterales)
Rodzina	Dzwonkowate (Campanulaceae)
Rodzaj	Dzwonek (*Campanula*)
Gatunek	Dzwonek brodaty (*Campanula barbata* L.)

Systemy klasyfikacji organizmów

Systemy klasyfikacji organizmów dzieli się na sztuczne – oparte wyłącznie na podobieństwach między organizmami – oraz naturalny – odzwierciedlający także ich pokrewieństwo.

Systemy sztuczne

Systemy sztuczne opierają się na dowolnych, zwykle intuicyjnie dobranych kryteriach, np. określonych cechach morfologicznych, anatomicznych lub fizjologicznych organizmów. Dzięki temu odzwierciedlają podobieństwa między organizmami, ale nie odnoszą się do pokrewieństw między nimi. Tworzenie sztucznych systemów klasyfikacji może wykorzystywać kilka metod, m.in. metodę logicznego podziału oraz metodę fenetyczną.

W klasyfikacji **metodą logicznego podziału** rozpatruje się wybrane, **pojedyncze cechy** organizmów. Zaczyna się w niej od taksonów najwyższej rangi, a poprzez ich podział otrzymuje się taksony kolejnych, coraz niższych rang. Dlatego klasyfikację taką określa się mianem klasyfikacji „od góry do dołu". Jej graficzną interpretacją jest drzewo, w którym z każdej gałęzi wyrastają dwie następne.

W klasyfikacji **metodą fenetyczną** rozpatruje się **wszechstronne podobieństwo cech** organizmów. Oznacza to, że przy wyróżnianiu taksonów bierze się pod uwagę nie pojedyncze, wybrane cechy, lecz całe zespoły cech. Klasyfikację metodą fenetyczną zaczyna się od taksonów najniższych rang, które łączy się w taksony kolejnych, coraz wyższych rang. Dlatego określa się ją mianem klasyfikacji „od dołu do góry". Poprzez analizę i porównanie wszechstronnego podobieństwa konstruuje się tzw. drzewa podobieństw (drzewa fenetyczne).

Metody logicznego podziału i fenetyczna mają poważne wady, ponieważ podobieństwo cech organizmów nie zawsze wynika z ich pokrewieństwa. Często jest ono skutkiem funkcjonowania tych organizmów w podobnych warunkach środowiska lub prowadzenia przez nie podobnego trybu życia. Dlatego klasyfikacje przeprowadzone tymi metodami nie odzwierciedlają naturalnych pokrewieństw między organizmami.

Analogia

Podobieństwo, które nie wynika z pokrewieństwa, a jedynie z prowadzonego trybu życia lub funkcjonowania w zbliżonym środowisku, nazywamy **analogią**. Może ono dotyczyć zarówno całego organizmu, jak i jego poszczególnych elementów. Narządy, które nie mają wspólnego pochodzenia, lecz są zewnętrznie podobne na skutek pełnienia takich samych funkcji, określa się mianem **narządów analogicznych**. Przykładem takich narządów są skrzydła owadów i ptaków, które stanowią przystosowanie do aktywnego lotu. Wykształciły się one niezależnie u obu grup zwierząt, o czym świadczy ich całkowicie odmienna budowa wewnętrzna.

Skrzydła owadów (zwierząt bezkręgowych) są wytworami powłok ciała.

Skrzydła ptaków (zwierząt kręgowych) są przekształconymi kończynami przednimi.

Klucze do oznaczania gatunków

Metoda logicznego podziału jest wykorzystywana przy konstruowaniu kluczy do oznaczania gatunków. Są one zwykle zbudowane w sposób **dwudzielny**, na zasadzie zestawiania ze sobą cech przeciwstawnych, wykluczających się. Oznacza to, że organizm, który próbujemy zidentyfikować, może mieć tylko jedną z cech. W ten sposób jedna grupa obejmuje organizmy, u których dana cecha występuje, druga zaś – organizmy, które jej nie mają. Opisy cech zamieszczone w kluczach dotyczą najpierw cech charakterystycznych dla dużych grup organizmów, a na końcu – cech charakterystycznych dla danego gatunku.

Klucz dwudzielny do oznaczania gatunków

Ze względów praktycznych klucze do oznaczania gatunków są przedstawiane jako tzw. klucze numeryczne. Rzadziej stosuje się klucze graficzne.

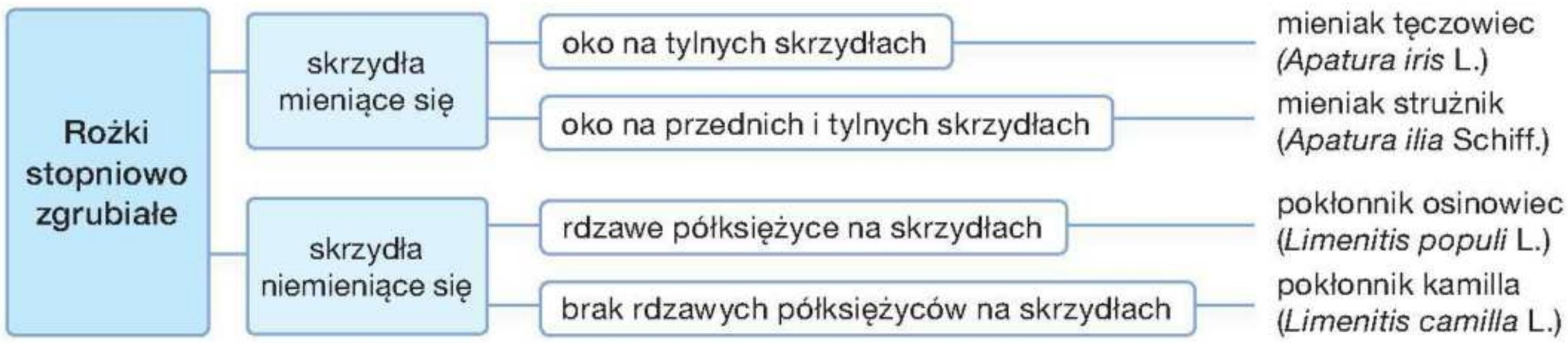
Poniżej przedstawiono fragmenty obu rodzajów kluczy. Opisują one motyle dzienne, należące do rodziny rusałkowatych (Nymphalidae). Cechą charakterystyczną tych motyli jest stopniowo zgrubiały kształt narządów głowowych – rożków.

Rodzina: rusałkowate (Nymphalidae)

Klucz numeryczny

1a) Rożki stopniowo zgrubiałe	patrz punkt 2
2a) Skrzydła mieniące się	patrz punkt 3
2b) Skrzydła niemieniące się	patrz punkt 4
3a) Oko na tylnych skrzydłach	mieniak tęczowiec (*Apatura iris* L.)
3b) Oko na przednich i tylnych skrzydłach	mieniak strużnik (*Apatura ilia* Schiff.)
4a) Rdzawe półksiężyce na skrzydłach	pokłonnik osinowiec (*Limenitis populi* L.)
4b) Brak rdzawych półksiężyców na skrzydłach	pokłonnik kamilla (*Limenitis camilla* L.)

Klucz graficzny



mieniak tęczowiec

mieniak strużnik

pokłonnik osinowiec

pokłonnik kamilla

System naturalny (filogenetyczny)

Początki tworzenia systemu naturalnego były logicznym następstwem odkryć XIX-wiecznego przyrodnika – Karola Darwina. Badacz ten na podstawie obserwacji m.in. fauny wysp Galapagos sformułował teorię ewolucji i zawarł ją w swoim dziele *O powstawaniu gatunków* (1859). Głównym założeniem teorii ewolucji jest wspólne pochodzenie, a więc również pokrewieństwo wszystkich gatunków – zarówno współcześnie żyjących, jak i wymarłych. Drogę rozwoju organizmów, począwszy od pierwszej prakomórki aż do najbardziej złożonych organizmów tkankowych, określa się mianem **rozwoju rodowego** lub **filogenezy**. System naturalny jest odzwierciedleniem tej drogi, a jego graficzną interpretację stanowi **drzewo rodowe**, zwane również **drzewem filogenetycznym** lub **genealogicznym**. Gałęziami drzewa rodowego są **linie rozwojowe**, nazywane **liniami filetycznymi**, czyli grupy organizmów mające wspólnego przodka.

W systemie filogenetycznym podobieństwa między organizmami są miarą ich pokrewieństwa. Dlatego podczas tworzenia drzew rodowych najpierw klasyfikuje się organizmy na podstawie analizy morfologicznej, anatomicznej lub fizjologicznej, a następnie otrzymane w ten sposób drzewa rodowe weryfikuje się za pomocą badań molekularnych.

Badania molekularne zastosowano w filogenetyce w drugiej połowie XX w. Są to badania z zakresu biochemii i genetyki, które pozwalają z dużą dokładnością określić podobieństwa i różnice między poszczególnymi gatunkami. Co więcej, pozwalają również określić przybliżony czas, który upłynął od wyodrębnienia się danej linii rozwojowej. Badania molekularne obejmują m.in.:

- określanie i porównywanie sekwencji aminokwasów tych samych białek, np. cytochromów lub globin, występujących u różnych gatunków,
- określanie i porównywanie sekwencji nukleotydów z odpowiadających sobie genów u organizmów należących do różnych gatunków.

Im większe jest podobieństwo molekularne białek i DNA, tym organizmy są bliżej spokrewnione.

Homologia

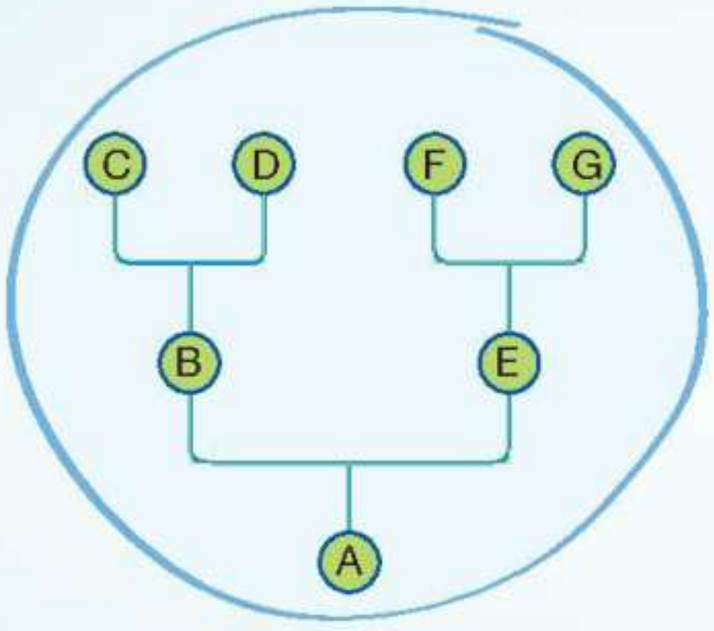
Podobieństwo budowy wynikające ze wspólnego pochodzenia nazywamy **homologią**. Może ono dotyczyć całego organizmu lub jego poszczególnych elementów. Narządy o wspólnym pochodzeniu to **narządy homologiczne**. Podobieństwo narządów homologicznych nie zawsze jest widoczne. Na przykład kończyny przednie foki i nietoperza różnią się wyglądem ze względu na funkcjonowanie tych ssaków w odmiennych warunkach środowiska. Są one jednak zbudowane z tych samych elementów.

Kończyny przednie foki – płetwy – są przystosowane do pływania.

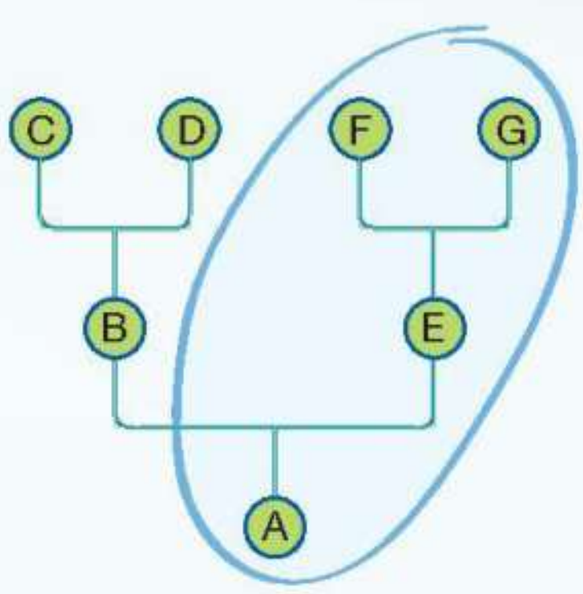
Kończyny przednie nietoperza – skrzydła – są przystosowane do lotu.

Rodzaje taksonów

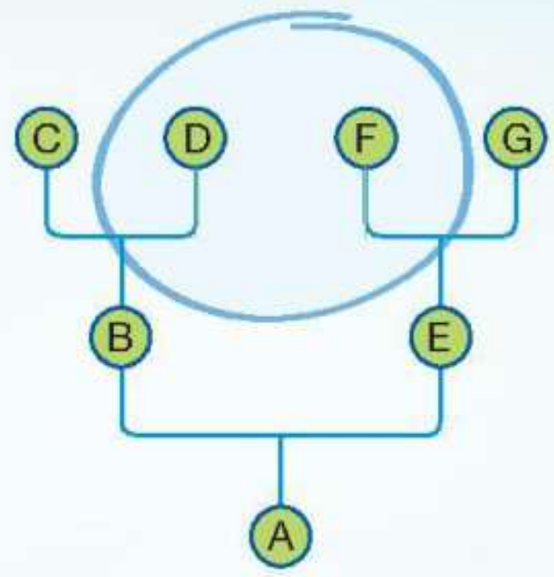
Dzięki intensywnemu rozwojowi metod odtwarzania filogenezy w stosunkowo krótkim czasie zbadano pokrewieństwo ewolucyjne znacznej liczby organizmów i porównano je z tradycyjnymi, sztucznymi systemami klasyfikacji. Na tej podstawie wyodrębniono trzy rodzaje taksonów: **monofiletyczny, parafiletyczny** i **polifiletyczny**.



Takson monofiletyczny, zwany również kladem, to naturalna grupa organizmów. Obejmuje ona wspólnego przodka oraz wszystkich jego potomków. Przykładem taksonu monofiletycznego są ssaki.



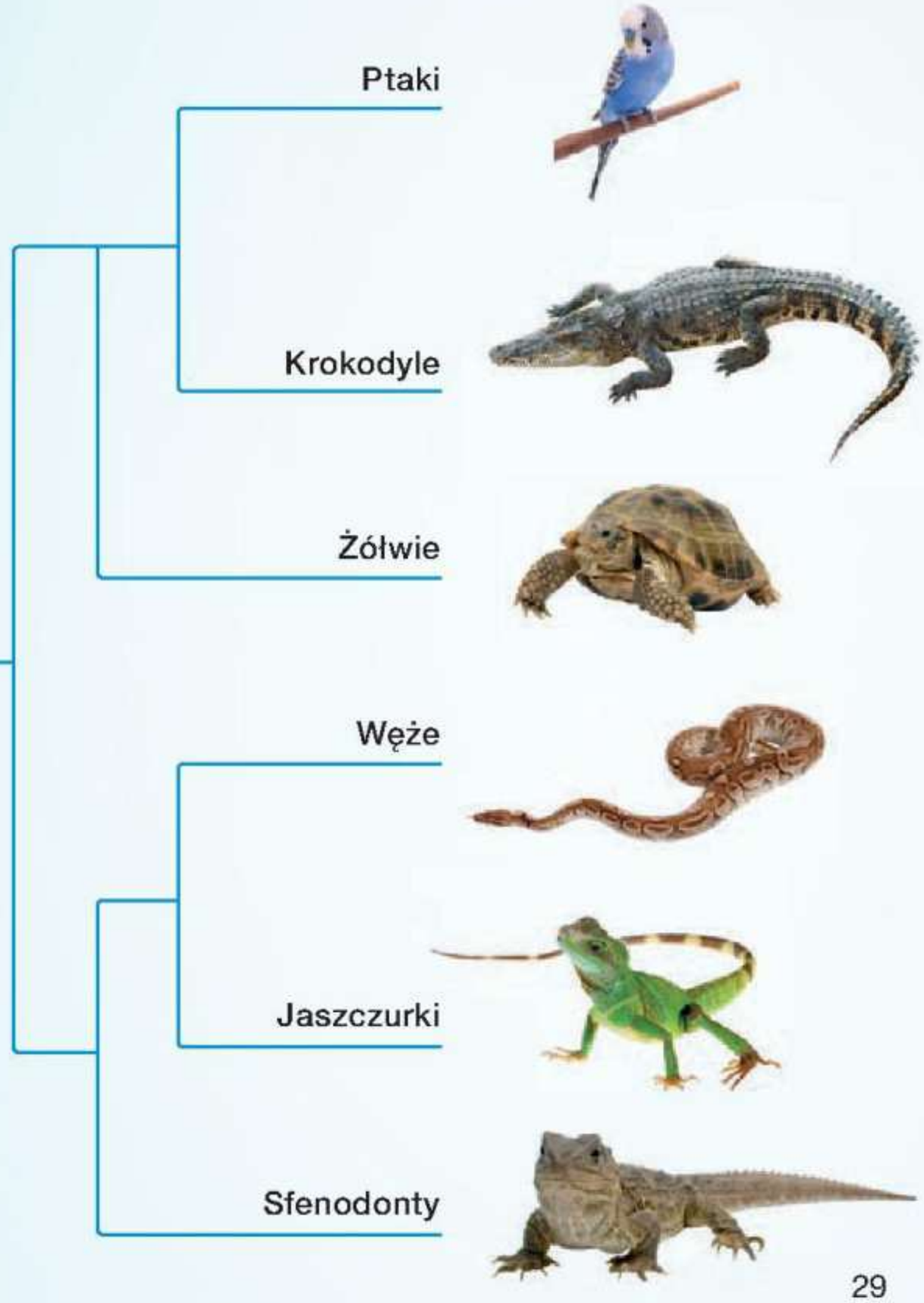
Takson parafiletyczny to grupa sztuczna. Wywodzi się od jednego przodka, ale nie obejmuje wszystkich jego potomków. Przykładem jest takson gadów, z którego wykluczono ptaki, mimo ich bliskiego pokrewieństwa z krokodylami.



Takson polifiletyczny to grupa sztuczna. Wywodzi się od różnych przodków i obejmuje organizmy bardzo daleko ze sobą spokrewnione. Przykładem są glony, do których zalicza się organizmy należące do roślin, protistów i bakterii.

Kladogramy

Graficznymi interpretacjami taksonów monofiletycznych są kladogramy. Przy ich tworzeniu uwzględnia się pochodzenie od wspólnego przodka oraz stopień zróżnicowania cech organizmów należących do odpowiednich taksonów. Pień kladogramu odnosi się do wspólnego przodka taksonów, natomiast gałęzie – klady – to taksony potomne. Długość gałęzi, a czasem również kąt pomiędzy nimi określa tempo przemian ewolucyjnych taksonów.

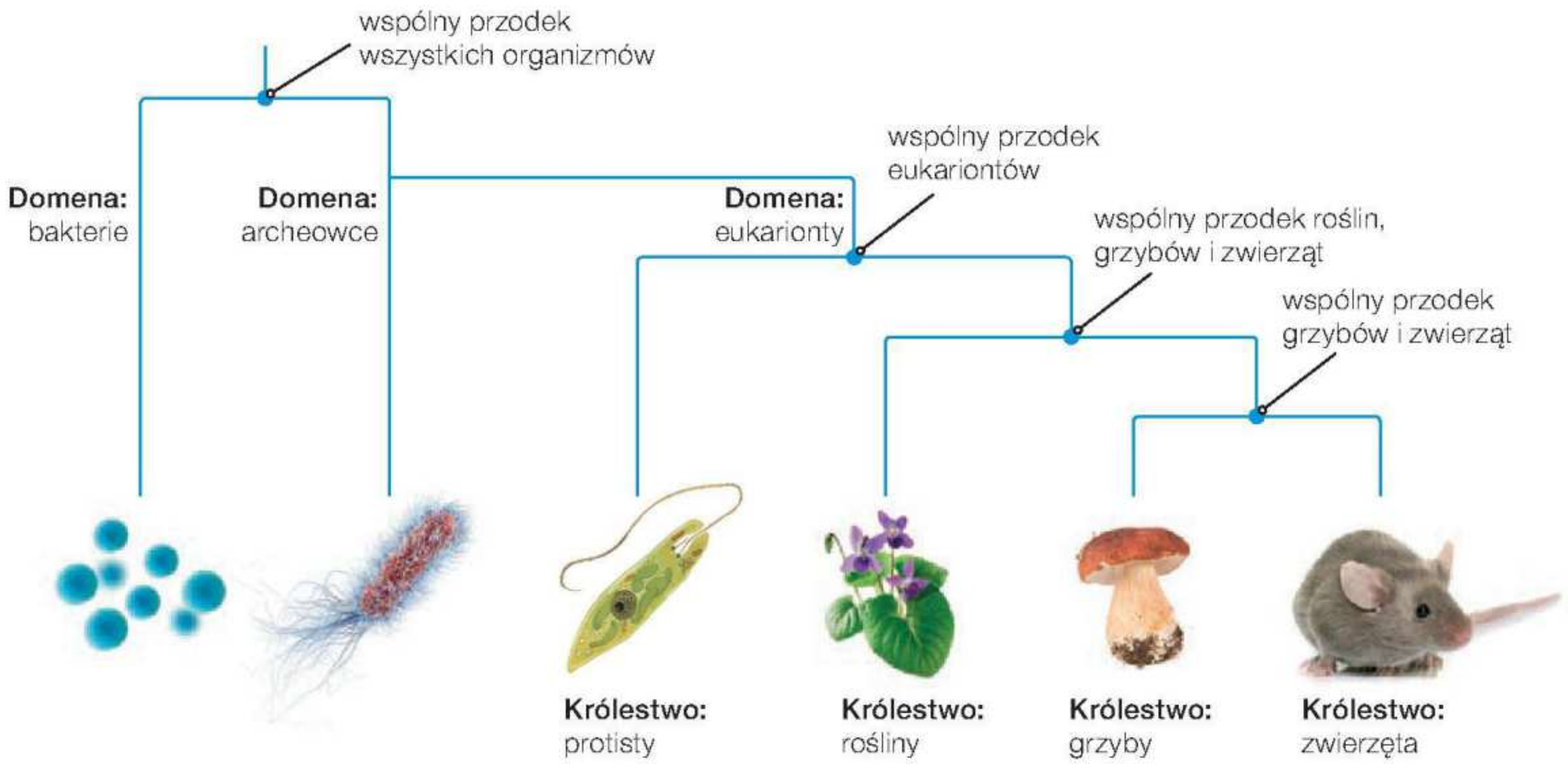


Kladogram monofiletycznej grupy zauropsyda (Sauropsida), obejmującej zarówno ptaki, jak i gady, skonstruowano dzięki analizom porównawczym sekwencji DNA.

Współczesny system klasyfikacji organizmów

Współczesny system klasyfikacji organizmów został zaproponowany w 1990 r. przez Carla Richarda Woese [wym. karla riczarda łese]. Nadrzędną kategorią taksonomiczną tego systemu jest domena. W randze domeny znajdują się obecnie trzy taksony: **bakterie** (Bacteria), **archeowce** (Archaea) oraz **eukarionty**, czyli organizmy jądrowe (Eucarya). W skład ostatniej domeny wchodzą cztery królestwa: rośliny (Plantae), zwierzęta (Animalia), grzyby (Fungi) oraz protisty (Protista). System ten nie jest systemem ostatecznym i ciągle podlega zmianom.

Uwaga! Opisany system klasyfikacji nie jest jedynym stosowanym systemem. Wielu naukowców traktuje trzy domeny świata żywego jako trzy nadkrólestwa. Z kolei liczba królestw, w zależności od koncepcji, waha się od 4 do ponad 20.



Drzewo rodowe organizmów.

Porównanie trzech domen świata żywego

Cecha	Domena		
	bakterie (Bacteria)	archeowce (Archaea)	eukarionty (Eucarya)
Jądro komórkowe	nie występuje	nie występuje	występuje
Histony	nie występują	występują	występują
Budowa genów	geny zbudowane wyłącznie z sekwencji kodujących	geny zbudowane z sekwencji kodujących i niekodujących	geny zbudowane z sekwencji kodujących i niekodujących
Budowa błony komórkowej	wiązania estrowe w lipidach błony komórkowej	wiązania eterowe w lipidach błony komórkowej	wiązania estrowe w lipidach błony komórkowej
Budowa ściany komórkowej	ściana komórkowa zbudowana z mureiny	ściana komórkowa nie zawiera mureiny	ściana komórkowa (jeśli jest) zbudowana z celulozy lub chityny

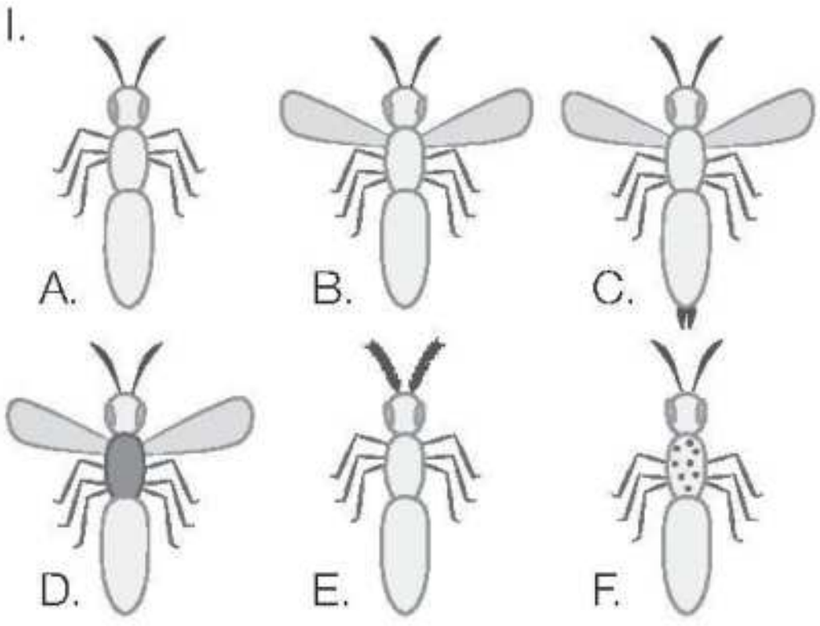
Porównanie czterech królestw eukariontów

Cecha	Królestwo			
	protisty (Protista)	grzyby (Fungi)	rośliny (Plantae)	zwierzęta (Animalia)
Ściana komórkowa	występuje u niektórych gatunków	występuje	występuje	nie występuje
Główny składnik ściany komórkowej	celuloza	chityna	celuloza	–
Sposób odżywiania	heterotroficzne lub autotroficzne (fotosynteza)	heterotroficzne	autotroficzne (fotosynteza), nieliczne heterotroficzne (pasożyty)	heterotroficzne
Poziom organizacji komórkowej	jednokomórkowe, kolonijne lub wielokomórkowe plechowe	jednokomórkowe lub wielokomórkowe plechowe	jednokomórkowe, kolonijne, wielokomórkowe plechowe lub tkankowe	wielokomórkowe tkankowe

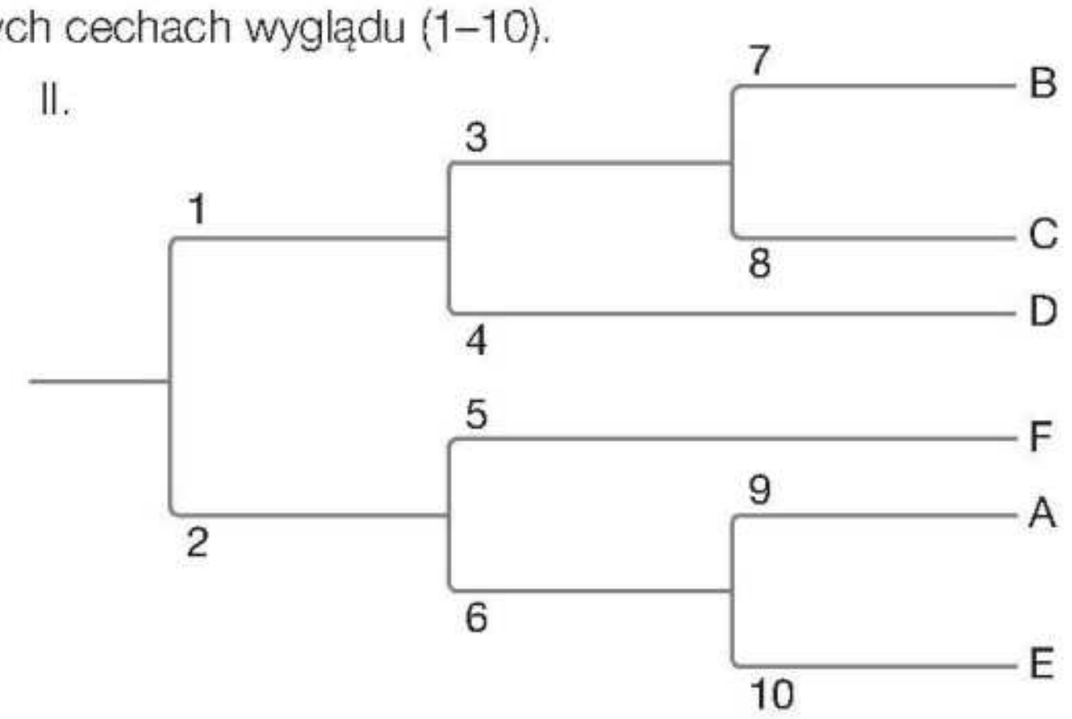
Polecenia kontrolne

1. Schemat I przedstawia sześć owadów należących do gatunków oznaczonych literami A–F, natomiast schemat II – dychotomiczne drzewo ich podziału systematycznego, opartego na alternatywnych cechach wyglądu (1–10).

I.



II.



Uzupełnij tabelę. Wpisz alternatywne cechy wyglądu (1–10), na podstawie których zaklasyfikowano te owady do odpowiedniego gatunku (A–F).

1.	?	2.	?
3.	?	4.	?
5.	?	6.	?
7.	?	8.	?
9.	?	10.	?

2. Porównaj sztuczne systemy klasyfikacji z systemem naturalnym.

3. Określ znaczenie biologii molekularnej w określaniu pokrewieństwa ewolucyjnego organizmów.

2.2. Organizmy prokariotyczne – bakterie i archeowce

Zwróć uwagę na:
- budowę komórek bakterii,
- czynności życiowe bakterii,
- różnice między bakteriami a archeowcami,
- znaczenie bakterii i archeowców.

Pierwsze wyraźne ślady życia na Ziemi pochodzą sprzed ok. 3,5 miliarda lat. Przez ponad połowę tego czasu jedynymi formami życia na naszej planecie były organizmy prokariotyczne, klasyfikowane obecnie jako dwie oddzielne domeny: **bakterie** (Bacteria) i **archeowce** (Archaea). Obie te grupy wykazują wiele podobieństw, zarówno morfologicznych, jak i metabolicznych. Różnice między nimi są jednak na tyle istotne, by traktować je jako dwie oddzielne linie ewolucyjne.

Organizmy prokariotyczne nazywamy **kosmopolitycznymi**, ponieważ występują powszechnie na całej kuli ziemskiej. Zasiedlają przede wszystkim gleby oraz zbiorniki wodne – zwłaszcza osady denne. Mogą żyć również na powierzchni lub wewnątrz ciała innych organizmów jako symbionty lub pasożyty. Część gatunków, głównie archeowców, zamieszkuje środowiska ekstremalne, takie jak gorące źródła, solanki i pokrywy lodowe obszarów okołobiegunowych. Organizmy te nazywamy **ekstremofilami**.

Wielkość i formy bakterii

Wśród bakterii spotyka się organizmy jednokomórkowe oraz kolonijne. Większość z nich ma rozmiary od jednego do kilku mikrometrów, jest więc widoczna dopiero pod mikroskopem. Do wyjątków należą m.in. kolonijne sinice. Ich komórki tworzą długie nici, widoczne bez użycia mikroskopu.

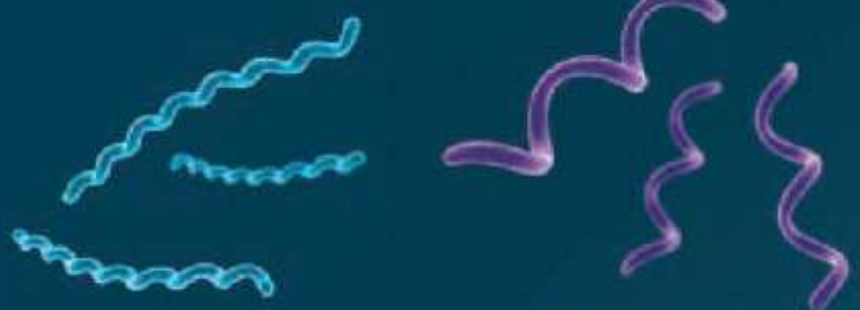
Kształty bakterii

Biorąc pod uwagę kształt, wyróżnia się bakterie: kuliste, cylindryczne, spiralne i nieregularne. Niektóre bakterie kuliste i cylindryczne tworzą skupiska o kształcie charakterystycznym dla danego gatunku.

Bakterie kuliste – zwykle tworzą skupiska o różnym kształcie.

Ziarenkowce. Dwoinki. Gronkowce.

Bakterie spiralne – zwykle występują pojedynczo.



Krętki. Śrubowce.

Bakterie cylindryczne – występują pojedynczo lub układają się w proste nici.

Pałeczki. Laseczki. Przecinkowce.

Bakterie nieregularne – zwykle występują pojedynczo.

Promieniowce. Maczugowce. Prątki.

Budowa komórek bakterii

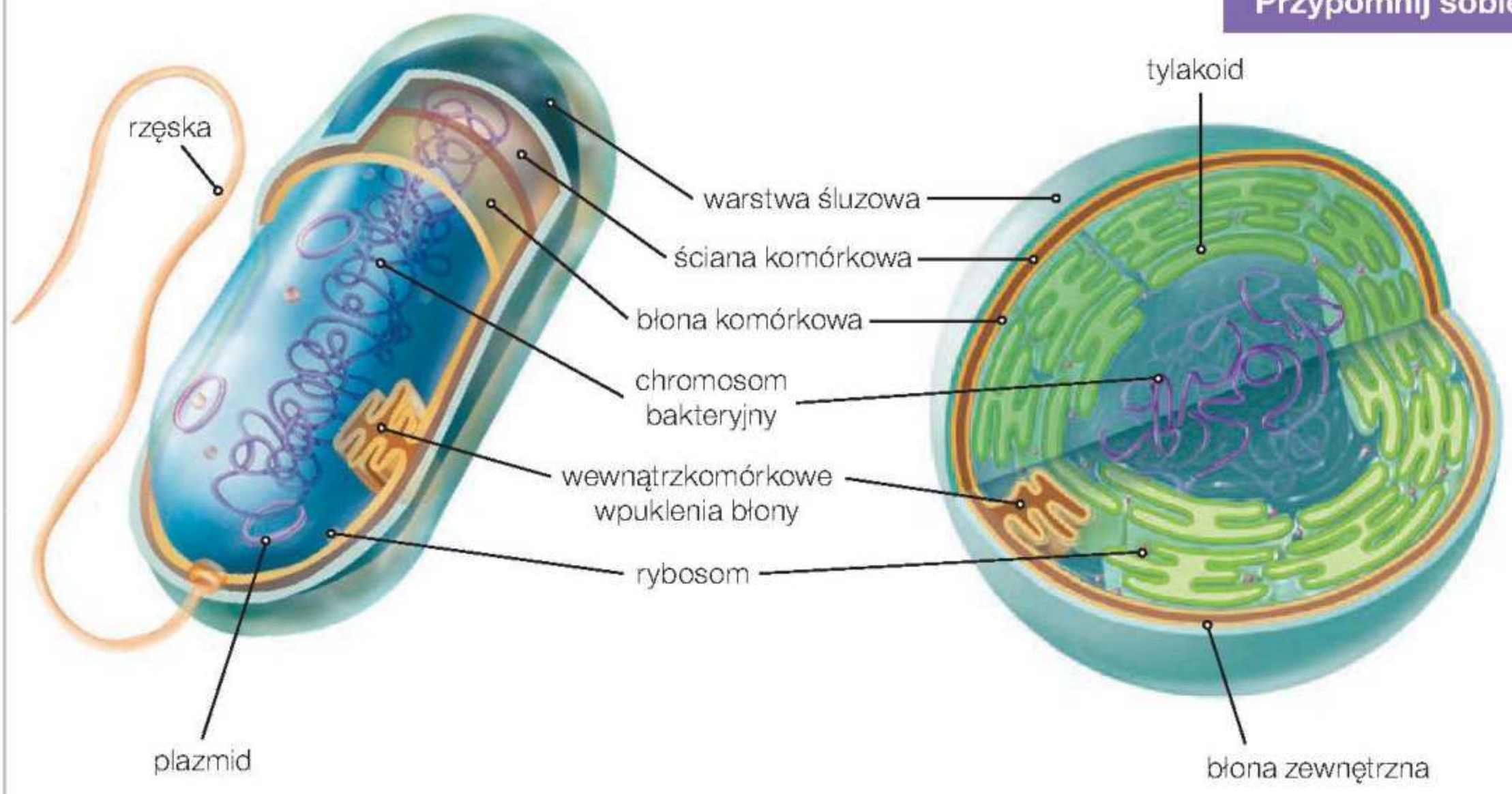
Komórki bakterii **nie mają jądra komórkowego**. Od środowiska zewnętrznego oddziela je **błona komórkowa**, która pełni wiele funkcji. Jest ona nie tylko barierą ochronną, umożliwiającą jednocześnie wymianę określonych substancji między komórką a otoczeniem, lecz także miejscem intensywnego metabolizmu. W błonie komórkowej zachodzą m.in. niektóre etapy oddychania oraz fotosyntezy, dlatego ma ona dużą, silnie pofałdowaną powierzchnię. Błonę komórkową otacza zwykle sztywna **ściana komórkowa**, która nadaje komórkom kształt i zabezpiecza je przed pęknięciem w środowisku hipotonicznym. Niektóre bakterie mają na powierzchni ściany komórkowej **błonę zewnętrzną**, która stanowi dodatkową barierę ochronną.

Na zewnętrznej powierzchni komórek bakterii znajdują się często dodatkowe, luźno związane struktury – **warstwy śluzowe** albo **otoczki** zbudowane z polisacharydów, peptydów lub białek. Umożliwiają one przyczepianie się (adhezję) bakterii do podłoża lub pełnią funkcję ochronną, np. zabezpieczają przed wysychaniem albo, w wypadku bakterii chorobotwórczych, przed fagocytozą przez komórki układu odpornościowego gospodarza. Bakterie są również zaopatrzone w **fimbrie** – krótkie białkowe włókna, które umożliwiają przyczepianie się komórek do podłoża – oraz **pilusy** – dłuższe białkowe włókna, uczestniczące w procesach płciowych. Wiele bakterii ma zdolność aktywnego ruchu dzięki **rzęskom** zakotwiczonym w błonie i ścianie komórkowej.

Wnętrze komórek bakterii wypełnia **cytozol**, w którym znajdują się:

- **chromosom bakteryjny** – koliście zamknięta cząsteczka DNA, zawierająca geny niezbędne do prawidłowego funkcjonowania komórki. Chromosom leży w obszarze cytozolu, zwanym nukleoidem;
- **plazmidy** – małe koliste cząsteczki DNA, które zawierają informacje o cechach przydatnych, choć nie zawsze niezbędnych do życia bakterii;
- **rybosomy** – struktury uczestniczące w biosyntezie białek. Ich współczynnik sedymentacji wynosi 70 S;
- **tylakoidy** – połączone lub niepołączone z błoną komórkową struktury, które uczestniczą w fotosyntezie. Występują one wyłącznie u bakterii fotosyntetyzujących.

Przypomnij sobie



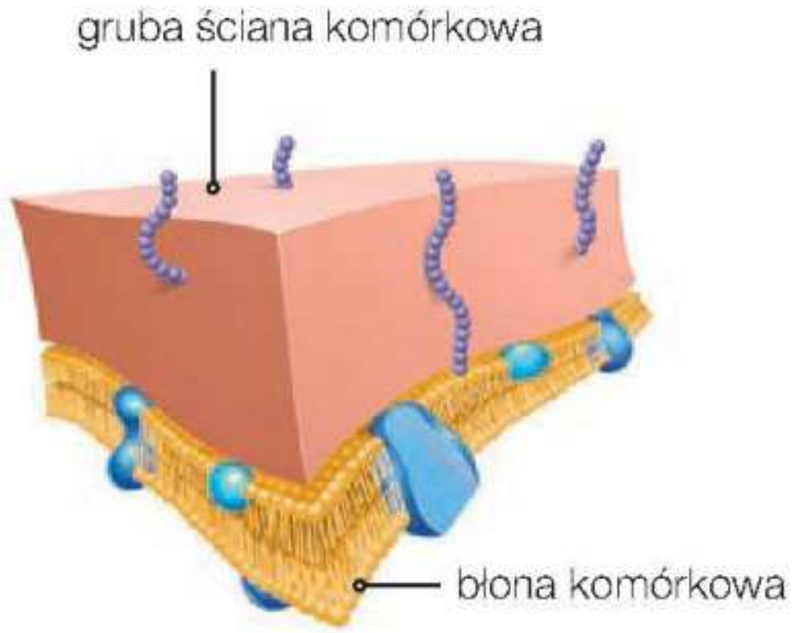
Komórka bakterii heterotroficznej.

Komórka bakterii autotroficznej (sinicy).

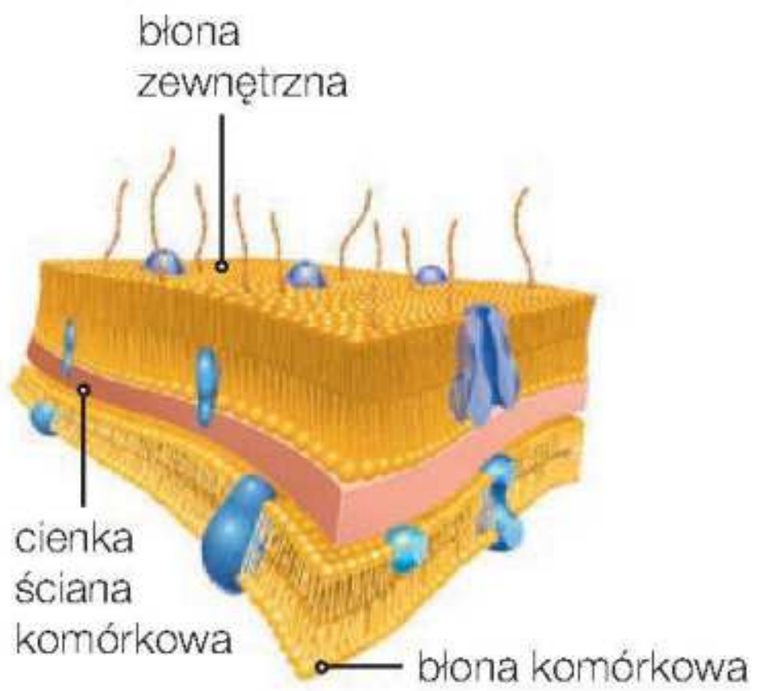
Budowa ściany komórkowej bakterii

Ściana komórkowa bakterii jest zbudowana głównie z peptydoglikanu – **mureiny**. Może mieć ona różną grubość, co decyduje o właściwościach fizjologicznych bakterii oraz ich przynależności systematycznej. Ze względu na budowę ściany komórkowej wyróżniamy dwa typy bakterii: **Gram-dodatnie** i **Gram-ujemne**. Można je rozróżnić za pomocą metody opracowanej przez Hansa Christiana Grama, która polega na barwieniu komórek serią określonych barwników. Bakterie Gram-dodatnie barwią się na fioletowo, a bakterie Gram-ujemne – na czerwono.

Ściana komórkowa bakterii Gram-dodatnich jest gruba (15–50 nm), zbudowana z kilku warstw mureiny oraz **kwasów tejchojowych**, czyli związków polimerowych, składających się z reszt glicerolu lub innego alkoholu, połączonych z grupami fosforanowymi(V). Ściana komórkowa bakterii Gram-ujemnych jest cienka (2–10 nm) i zbudowana z jednej warstwy mureiny. Nie zawiera kwasów tejchojowych, jest natomiast okryta dodatkową **błoną zewnętrzną**.



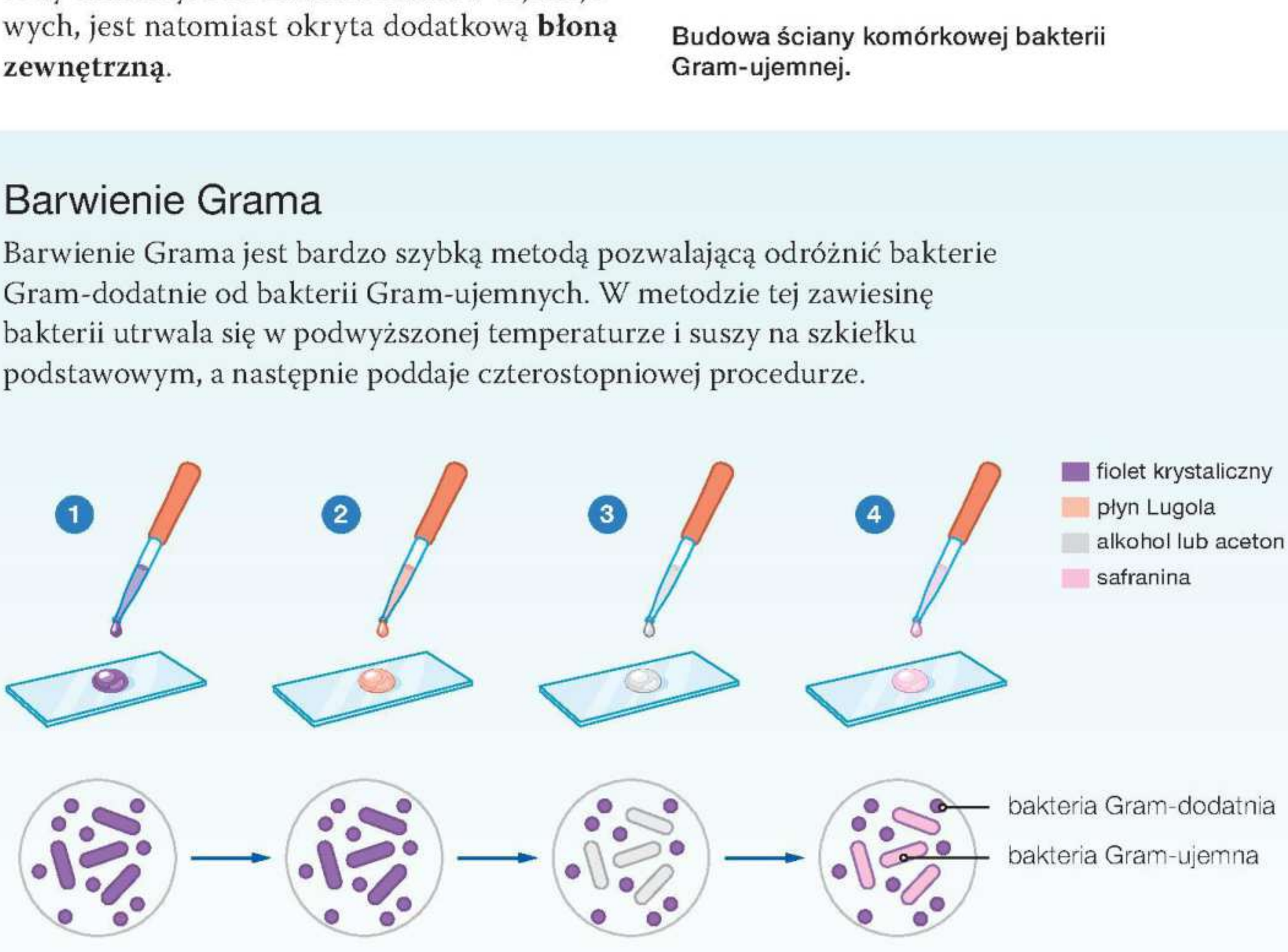
Budowa ściany komórkowej bakterii Gram-dodatniej.



Budowa ściany komórkowej bakterii Gram-ujemnej.

Barwienie Grama

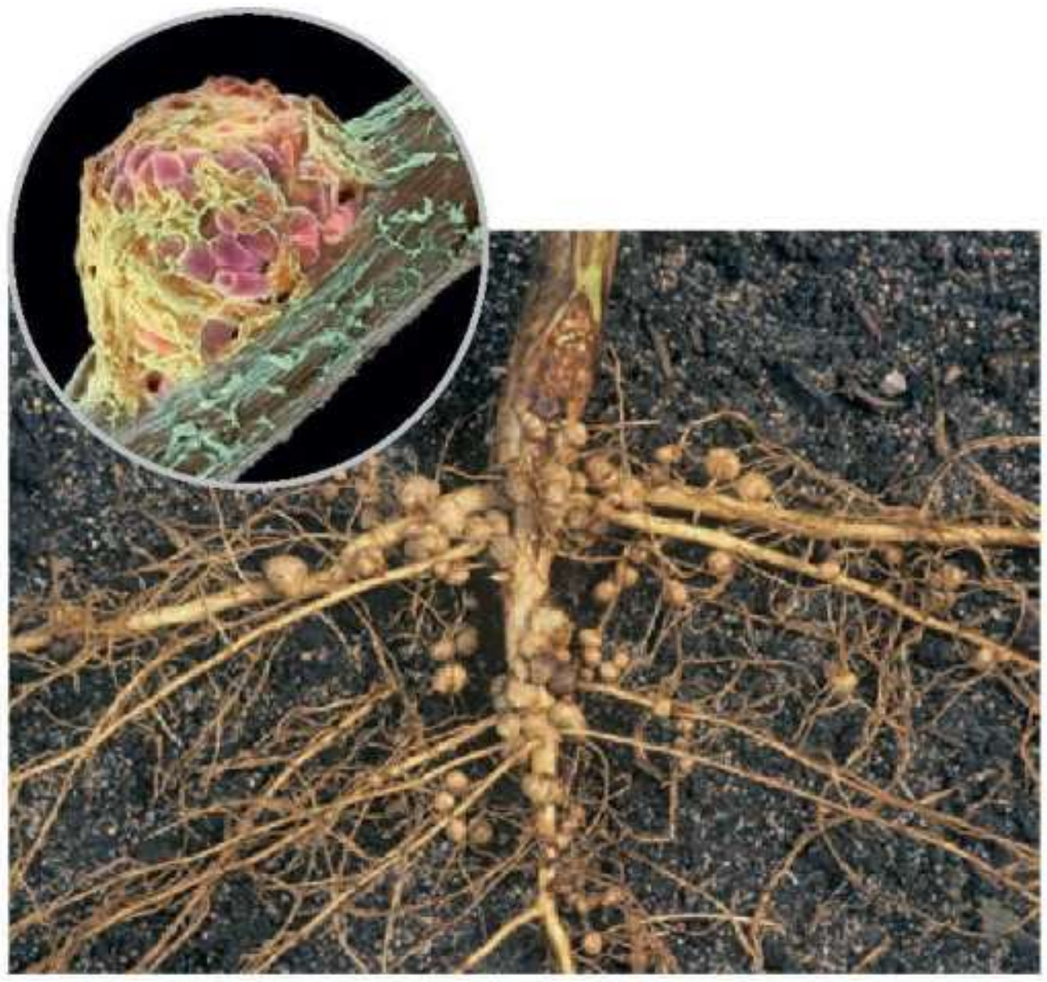
Barwienie Grama jest bardzo szybką metodą pozwalającą odróżnić bakterie Gram-dodatnie od bakterii Gram-ujemnych. W metodzie tej zawiesinę bakterii utrwala się w podwyższonej temperaturze i suszy na szkiełku podstawowym, a następnie poddaje czterostopniowej procedurze.



Zdolność bakterii do wiązania azotu atmosferycznego

Azot jest pierwiastkiem biogennym niezbędnym do życia wszystkich organizmów. Mimo że powietrze zawiera aż 78,08% azotu cząsteczkowego, tylko niektóre bakterie wykształciły zdolność jego asymilacji. Należą do nich m.in. wolno żyjące sinice z rodzaju *Gleocapsa*, *Gleotrichia* i *Nostoc*, wolno żyjące bakterie glebowe z rodzaju *Azotobacter* i *Clostridium* oraz symbiotyczne bakterie z rodzaju *Rhizobium*, które współżyją z roślinami motylkowatymi. Bakterie te asymilują azot cząsteczkowy i przekształcają go w amoniak (NH_3). Ten z kolei może zostać utleniony do azotanów(V) – NO_3^- – przez chemosyntetyzujące bakterie nitryfikacyjne. Zarówno amoniak (w postaci jonów amonowych – NH_4^+), jak i azotany(V) są formami azotu przyswajalnymi dla roślin. Z kolei rośliny udostępniają azot wszystkim organizmom heterotroficznym.

Reakcje wiązania azotu cząsteczkowego mogą zachodzić 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 w specjalnych grubościennych komórkach – heterocytach, a *Rhizobium* (wspólnie z roślinami) wytwarzają leghemoglobinę wiążącą tlen.



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

1. Barwienie fioletem krystalicznym, podczas którego wybarwiają się zarówno bakterie Gram-dodatnie, jak i Gram-ujemne. Barwnik zostaje jednak trwale związany wyłącznie w grubej warstwie mureiny bakterii Gram-dodatnich.
2. Utrwalanie preparatu za pomocą płynu Lugola.
3. Usuwanie niezwiązanego barwnika alkoholem lub acetonem. Cienka warstwa mureiny bakterii Gram-ujemnych jest osłonięta dodatkowo błoną zewnętrzną, dlatego nie absorbuje trwale fioletu krystalicznego.
4. Barwienie czerwoną safraniną – barwnik ten jest pochłaniany przez bakterie Gram-ujemne, przez co uzyskują one czerwony kolor.

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

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 osmotroficznie. Taki sposób odżywiania polega na wydzielaniu do środowiska enzymów hydrolitycznych, które rozkładają złożone związki organiczne do związków prostszych, rozpuszczalnych w wodzie. Produkty trawienia są następnie wchłaniane przez komórkę.

Pasożyty

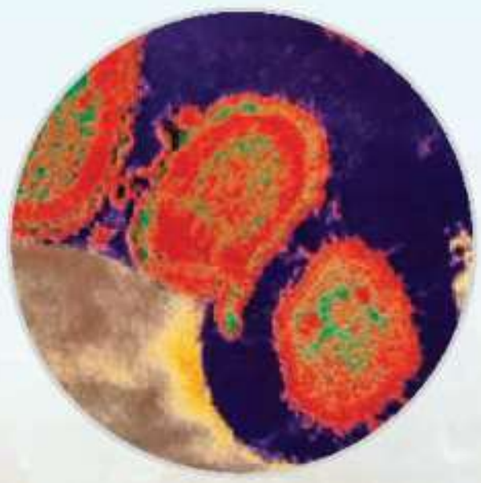
Odżywiają się związkami organicznymi wytworzonymi przez inne organizmy. W tym sposobie odżywiania bakterie czerpią korzyści, a ich żywiciel ponosi szkody.

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

Odżywiają się związkami organicznymi wytwarzanymi przez inne organizmy. W tym sposobie odżywiania korzyści czerpią zarówno bakterie, jak i ich symbionty.

Do **symbiontów** należą np. bakterie żyjące w żołądkach przeżuwaczy. Rozkładają one celulozę, przez co umożliwiają zwierzętom trawienie pokarmu roślinnego. Same również korzystają z produktów rozkładu.



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 przy udziale energii świetlnej.

Równanie fotosyntezy oksygenicznej:

$$6\,CO_2 + 6\,H_2O \xrightarrow{\text{energia świetlna}} C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2\uparrow$$

Równanie fotosyntezy anoksygenicznej:

$$6\,CO_2 + 12\,H_2S \xrightarrow{\text{energia świetlna}} C_6H_{12}O_6 + 12\,S + 6\,H_2O$$

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 przy udziale energii chemicznej.

Równanie chemosyntezy:

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

etap 2: $6\,CO_2 + 6\,H_2O \xrightarrow{\text{energia chemiczna}} C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2\uparrow$

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

Oddychanie bakterii

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

Bakterie beztlenowe uzyskują energię na dwa sposoby:

- przeprowadzają **oddychanie beztlenowe** – 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 jest azotan(V). Związek ten ulega w błonie komórkowej denitryfikacji, czyli stopniowej redukcji do N_2;
- przeprowadzają **fermentację**, która zachodzi wyłącznie w cytozolu. Fermentacja alkoholowa dostarcza energii np. bakteriom z rodzaju *Sarcina*, a mleczanowa – bakteriom z rodzaju *Lactobacillus*.

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

Formy przetrwalnikowe bakterii

W niesprzyjających warunkach środowiska wiele bakterii zmniejsza tempo metabolizmu i przechodzi w **stan anabiozy** (życia utajonego), wytwarzając formy przetrwalnikowe – **cysty** lub **endospory**. Cysty powstają przez odwodnienie i otoczenie grubą ścianą całej komórki bakteryjnej, która w tym stanie oczekuje na bardziej sprzyjające warunki. Przy powstawaniu endospor komórka dzieli się na dwie nierówne części, z których mniejsza otocza się nową, grubą ścianą i staje się endosporą. Gdy endospora dojrzeje, pozostała część komórki degeneruje. W takiej postaci bakterie mogą przetrwać nawet 30 lat, zachowując zdolność ponownego uruchomienia wszystkich funkcji życiowych.

Ruch komórek bakterii

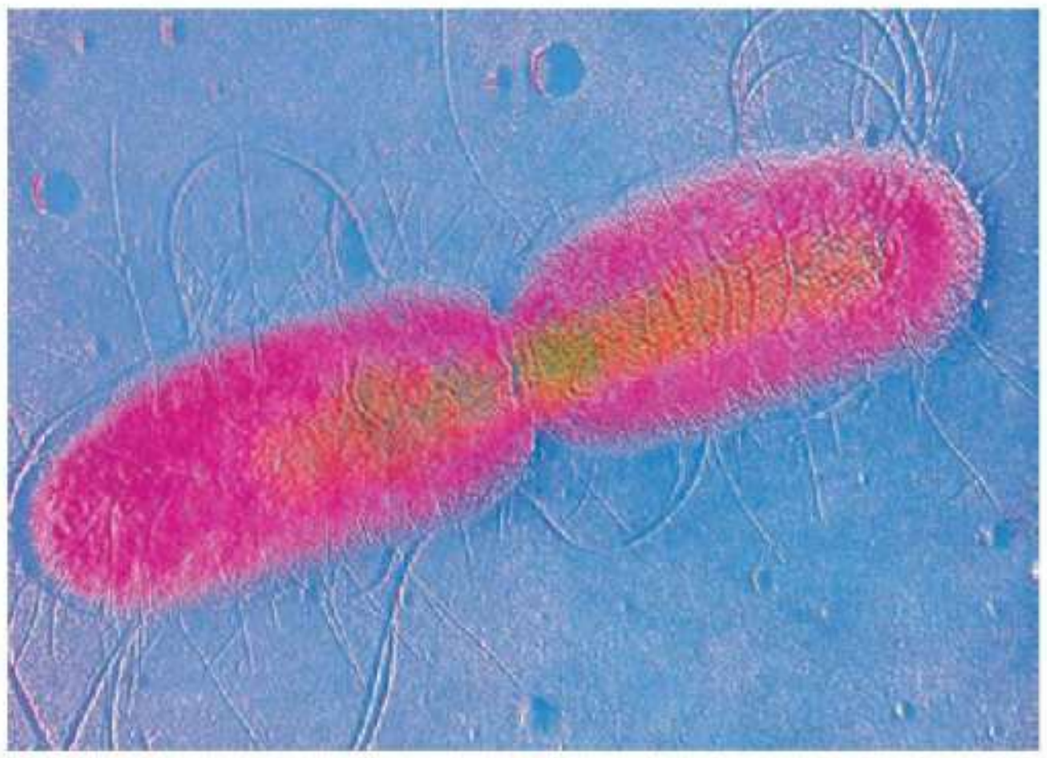
Wiele bakterii wykazuje zdolność aktywnego ruchu za pomocą obracających się rzęsek.

Bakterie silnie reagują na związki chemiczne występujące w środowisku. W zależności od charakteru związku przemieszczają się w jego stronę lub w kierunku przeciwnym. Kierunkowe ruchy komórek w odpowiedzi na działanie bodźców zewnętrznych noszą nazwę **taksji**. Odpowiedź na środowiskowy bodziec chemiczny to **chemotaksja**. Jest ona dodatnia, gdy ruch odbywa się w kierunku związku chemicznego, lub ujemna, gdy ruch odbywa się w kierunku przeciwnym.

Wiele bakterii wykazuje zdolność reagowania na inne czynniki środowiska, m.in. na światło – **fototaksja** – i temperaturę – **termotaksja**.

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 większe niż u innych organizmów. W optymalnych warunkach środowiska podział komórki bakteryjnej odbywa się co 20–30 minut. W praktyce jednak akumulacja toksycznych produktów przemiany materii lub wyczerpanie zasobów pokarmowych w naturalny sposób ograniczają tempo rozmnażania się tych organizmów.

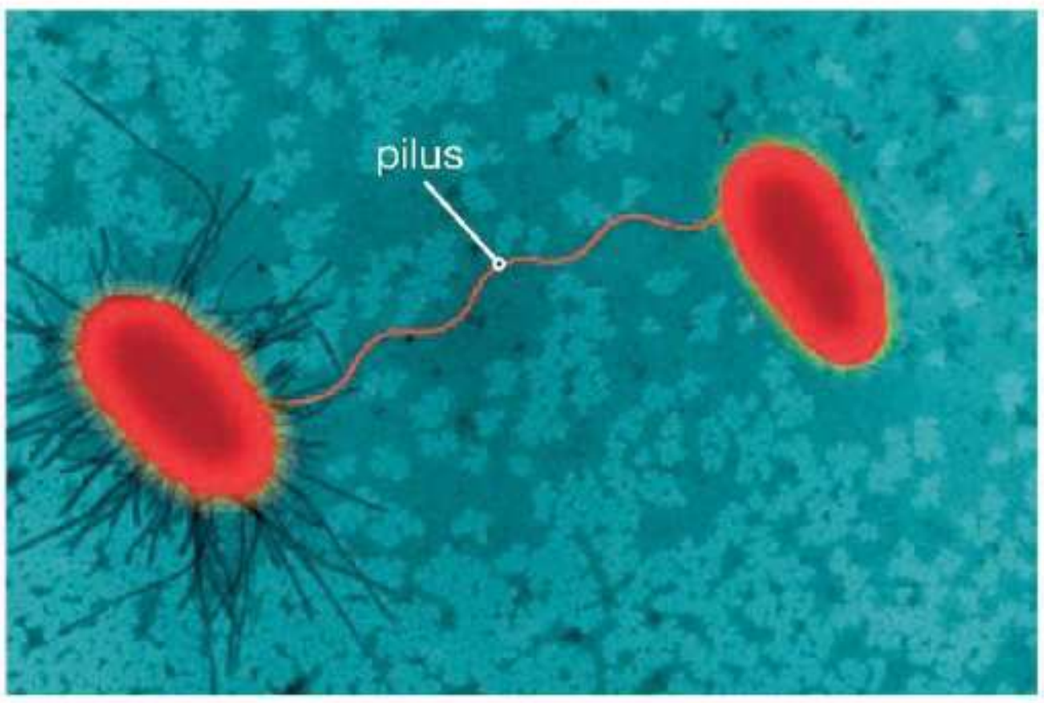


Przed każdym podziałem komórki bakteryjnej (obraz spod TEM) zachodzi replikacja chromosomu bakteryjnego. Dzięki temu każda z komórek potomnych otrzymuje jedną kopię genomu.

Procesy płciowe bakterii

Mimo że bakterie rozmnażają się wyłącznie bezpłciowo, wykazują bardzo dużą różnorodność genetyczną. Jest ona wynikiem **procesów płciowych** (paraseksualnych), do których należą koniugacja, transformacja i transdukcja. **Procesy te nie prowadzą do zwiększenia się liczby komórek bakterii, ale zapewniają rekombinację materiału genetycznego.**

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, np. **plazmid F**, zwany również czynnikiem płciowym. W trakcie koniugacji w komórce dawcy (F^+) następuje rozplatanie podwójnej helisy DNA plazmidu i transport jednej z nici do komórki biorcy (F^-). 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.



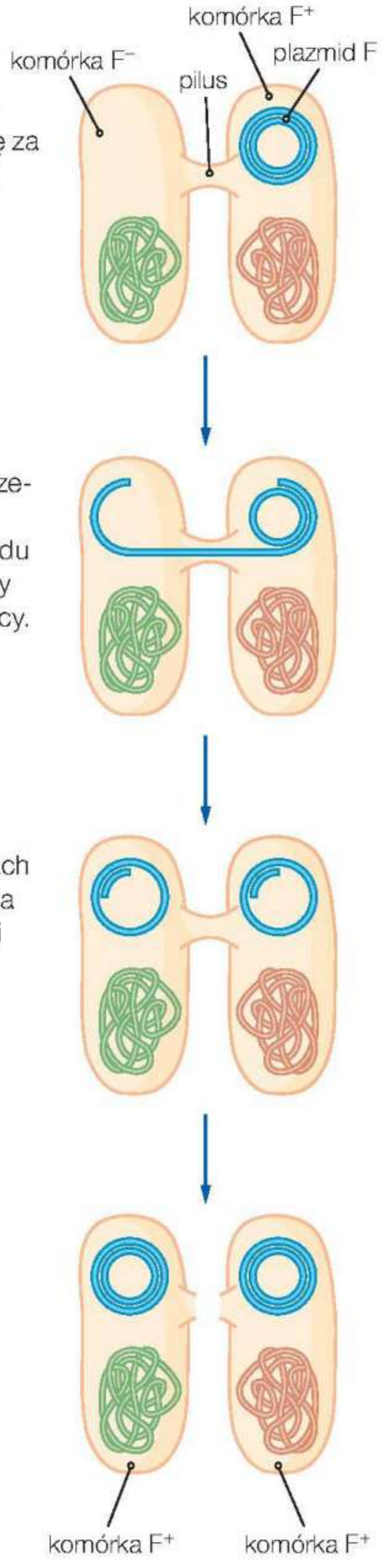
Koniugacja u *Escherichia coli* (obraz spod TEM).

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*. U bakterii, które nie mają tej zdolności, transformację można jednak wywołać sztucznie.

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

Przebieg koniugacji

Koniugacja jest podstawowym mechanizmem przekazywania DNA między dwiema komórkami bakterii.

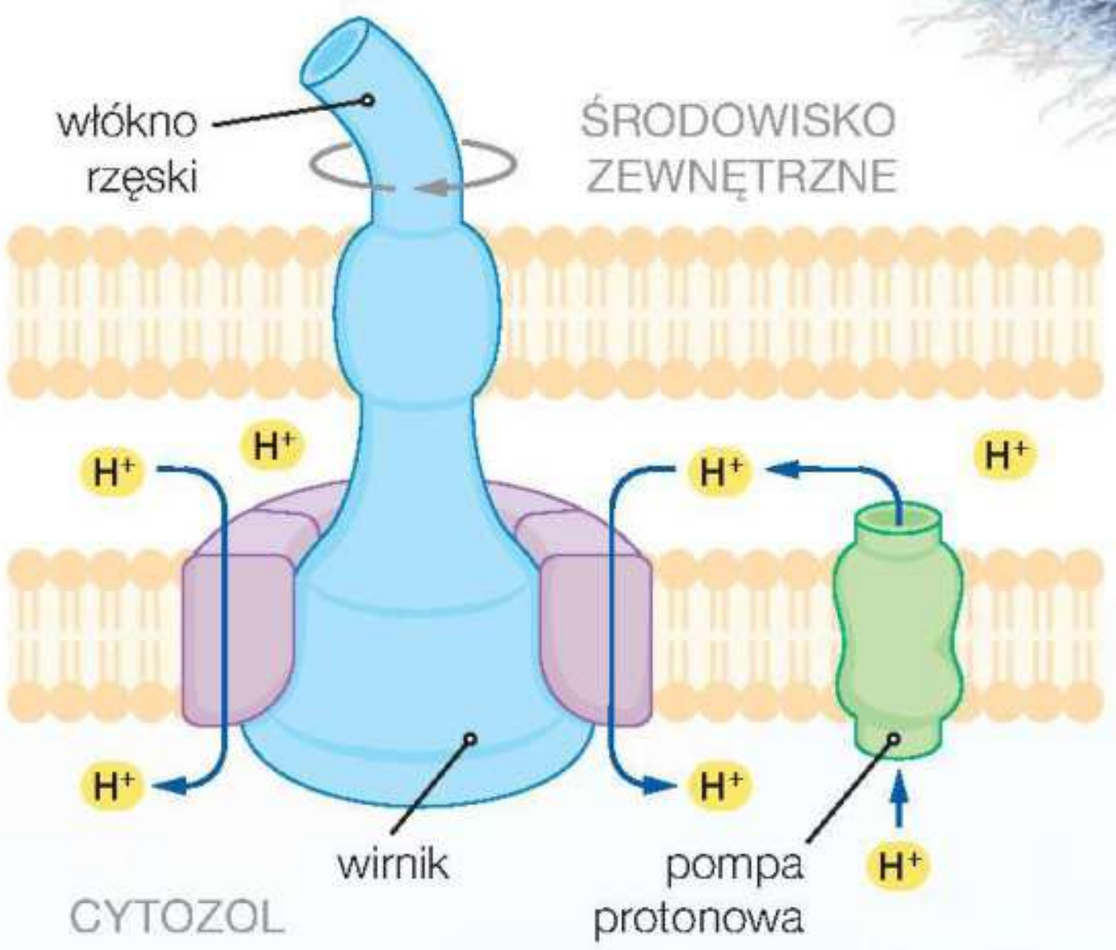


Bakterie w środowisku

Mimo jednokomórkowej budowy bakterie opanowały praktycznie wszystkie środowiska. Potrafią przeżyć, a nawet wzrastać i rozmnażać się w ekstremalnie nieprzyjaznych warunkach, m.in. w środowiskach skrajnie suchych czy ubogich w związki pokarmowe. Jest to możliwe dzięki wykształceniu struktur komórkowych i mechanizmów fizjologicznych, pozwalających na adaptację do zmiennych lub niekorzystnych warunków otoczenia.

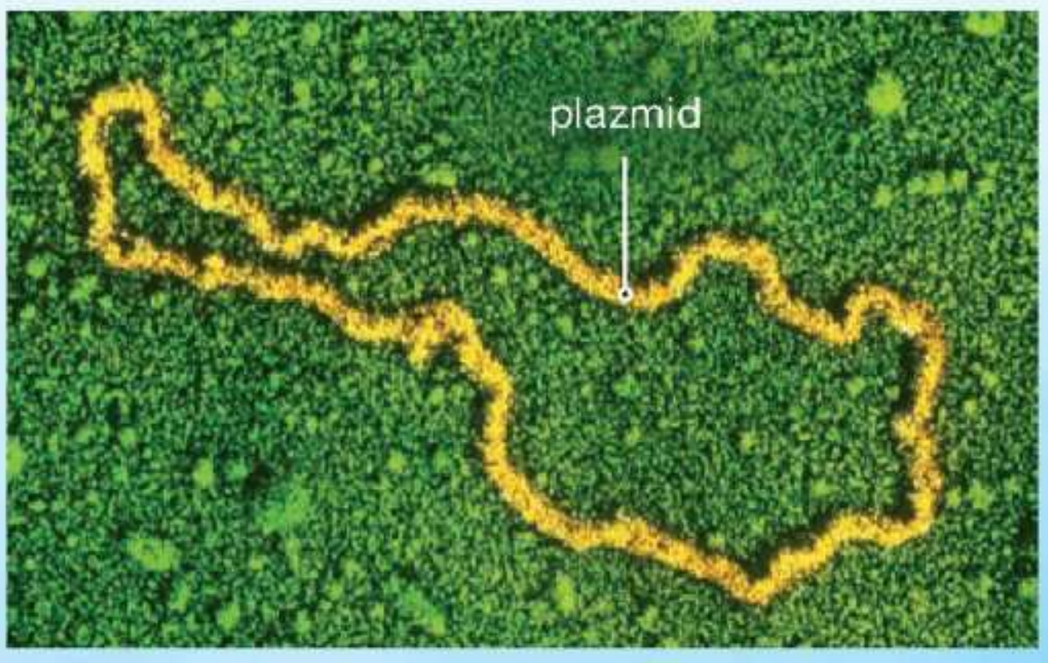
Fimbrie umożliwiają przyczepianie się komórek do podłoża. Zapobiega to ich mechanicznemu usunięciu z zajmowanego siedliska.

Ściana komórkowa zabezpiecza komórki przed pęknięciem w środowisku hipotonicznym.

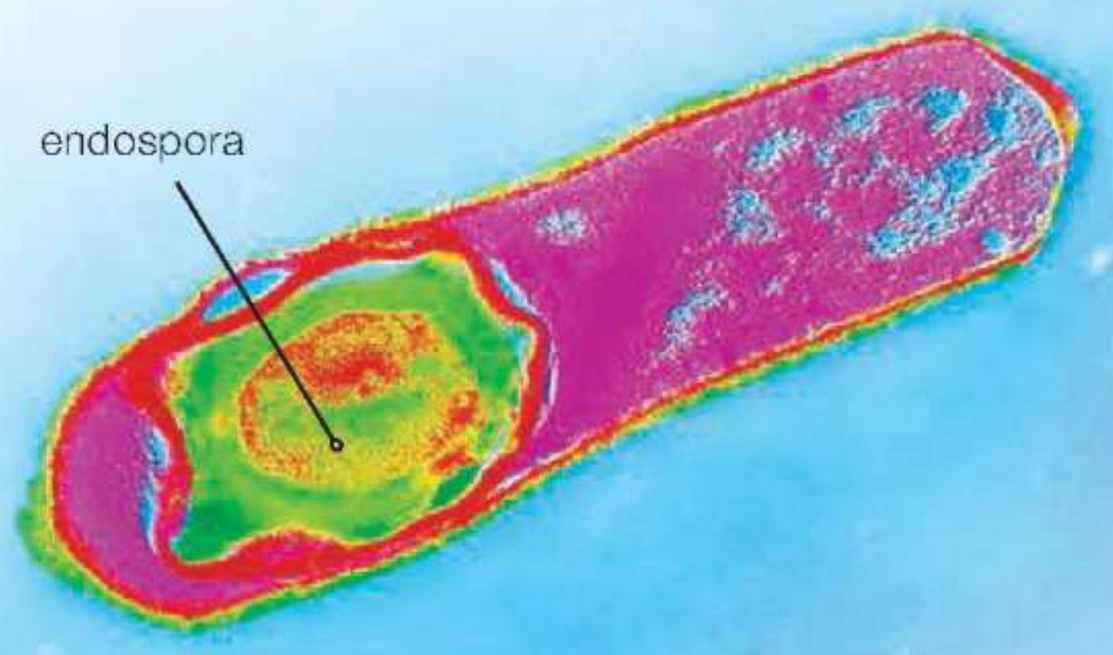


Rzęski umożliwiają aktywny ruch komórek w kierunku środowisk o optymalnych warunkach. W razie niebezpieczeństwa umożliwiają także ucieczkę.

Rzęski bakteryjne wykorzystują do funkcjonowania gradient protonowy, wytwarzany w poprzek błony komórkowej. Pompy protonowe transportują protony z cytozolu do przestrzeni między błonami otaczającymi komórkę. Kiedy stężenie protonów w przestrzeni międzybłonowej osiągnie wysokie wartości, przepływają one z powrotem do cytozolu. Ich ruch wywołuje szybki obrót zakotwiczonego w błonie komórkowej wirnika i ruch obrotowy włókna rzęski.



Obecne w komórkach plazmidy warunkują oporność bakterii na substancje toksyczne, m.in. na antybiotyki, lub umożliwiają rozkład nietypowych źródeł energii, np. syntetycznych polimerów.



Zdolność do wytwarzania form przetrwalnikowych, np. endospor, pozwala bakteriom przetrwać w skrajnie niekorzystnych warunkach środowiska.

Archeowce

Budowa komórek archeowców przypomina budowę komórek bakterii, choć ich struktury komórkowe mają często odmienny skład chemiczny. Również metabolizm archeowców bywa odmienny od metabolizmu bakterii. Na przykład archeowce zwane **metanogenami** jako jedyne znane organizmy na Ziemi uzyskują energię z utleniania wodoru dwutlenkiem węgla, w wyniku czego uwalnia się metan.

Przystosowania archeowców do ekstremalnych warunków życia

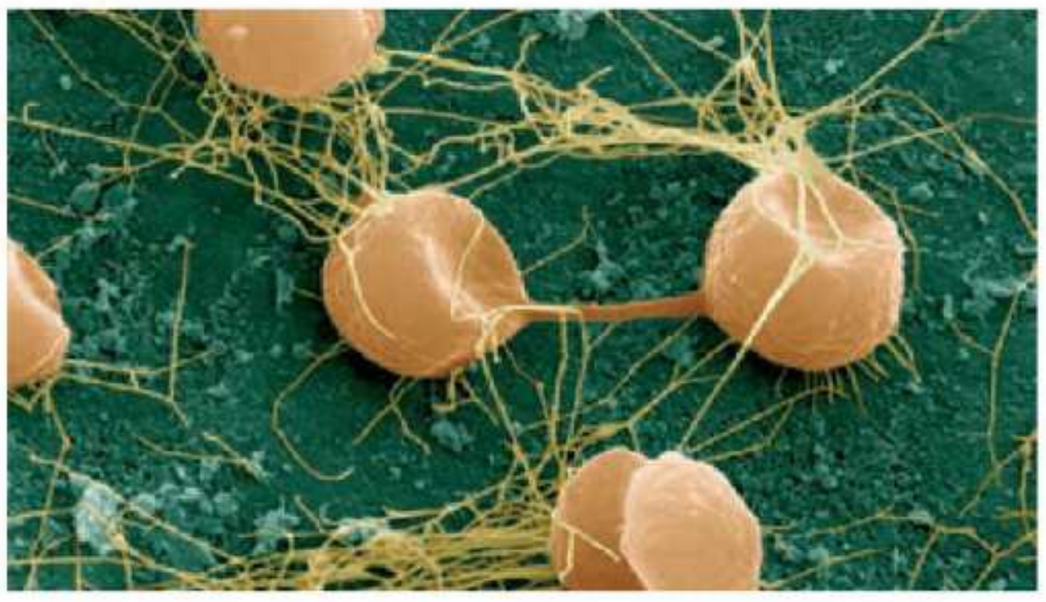
Najbardziej znanymi przedstawicielami archeowców są **ekstremofile**. Żyją one w miejscach niedostępnych dla innych organizmów z powodu niekorzystnych warunków fizycznych lub chemicznych. Zasiedlają gorące źródła, w których temperatura wody osiąga ponad 100°C, oraz morza antarktyczne o temperaturze poniżej 4°C. Występują również w środowiskach silnie zasolonych (nawet powyżej 30%), skrajnie kwasowych (pH ≈ 2,0) lub skrajnie zasadowych (pH ≈ 10,5). Funkcjonowanie w ekstremalnych warunkach środowiska wymaga od organizmów licznych przystosowań. Zostały one najlepiej poznane u archeowców halofilnych (halofili) i termofilnych (termofili).

Archeowce halofilne występują w środowiskach silnie zasolonych, np. w Morzu Martwym, dlatego wykształciły liczne przystosowania, które zapobiegają odwodnieniu komórek w roztworze hipertonicznym. Należą do nich m.in.:

- liczne pompy potasowe w błonie komórkowej, które aktywnie transportują jony K^+ ze środowiska do cytozolu; jony te zwiększają ciśnienie osmotyczne komórek i dzięki temu zapobiegają utracie wody,
- obecność białek odpornych na koagulację w środowisku silnie zasolonym,
- obecność otoczek zbudowanych ze specjalnych białek wiążących dużą ilość wody.

Archeowce termofilne występują np. w gorących źródłach. Przystosowały się one do skrajnie wysokich temperatur, m.in. dzięki:

- wytwarzaniu białek odpornych na denaturację termiczną,
- mechanizmom ochrony kwasów nukleinowych przed denaturacją termiczną,
- obecności w błonach długich i rozgałęzionych kwasów tłuszczowych, które zapobiegają zbyt dużej płynności błon i tym samym ich fragmentacji pod wpływem wysokiej temperatury.



Archeowiec *Pyrococcus furiosus* żyje w ekstremalnie wysokich temperaturach (ok. 100°C). Jego polimeraza DNA (tzw. polimeraza Pfu) jest wykorzystywana w biotechnologii do powielania DNA.

Organizmy prokariotyczne

bakterie	archeowce
• W chromosomie bakterii DNA jest nawinięty na zasadowe białka niehistonowe. • Geny bakterii nie zawierają odcinków niekodujących. • W lipidach błonowych bakterii kwasy tłuszczowe są proste i połączone z resztą glicerolu wiązaniami estrowymi. • Ściana komórkowa bakterii jest zbudowana głównie z peptydoglikanu – mureiny. U bakterii Gram-ujemnych na jej powierzchni znajduje się błona zewnętrzna.	• W chromosomie archeowców DNA jest nawinięty na zasadowe białka histonowe. • Geny archeowców zawierają często odcinki niekodujące. • W lipidach błonowych archeowców kwasy tłuszczowe są rozgałęzione i połączone z resztą glicerolu wiązaniami eterowymi. • Ściana komórkowa archeowców nie zawiera peptydoglikanów. Na powierzchni ściany komórkowej znajduje się ochronna warstwa S, zbudowana z białek.

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.

Wiązanie azotu atmosferycznego

Bakterie, które mają zdolność wiązania azotu atmosferycznego, udostępniają ten pierwiastek innym organizmom. Niektóre wchodzą w związki symbiotyczne z roślinami (np. z łubinem), dzięki czemu wpływają korzystnie na ich wzrost, a także zwiększają żyzność gleby, wzbogacając ją w związki azotu.

Źródło pokarmu dla innych organizmów

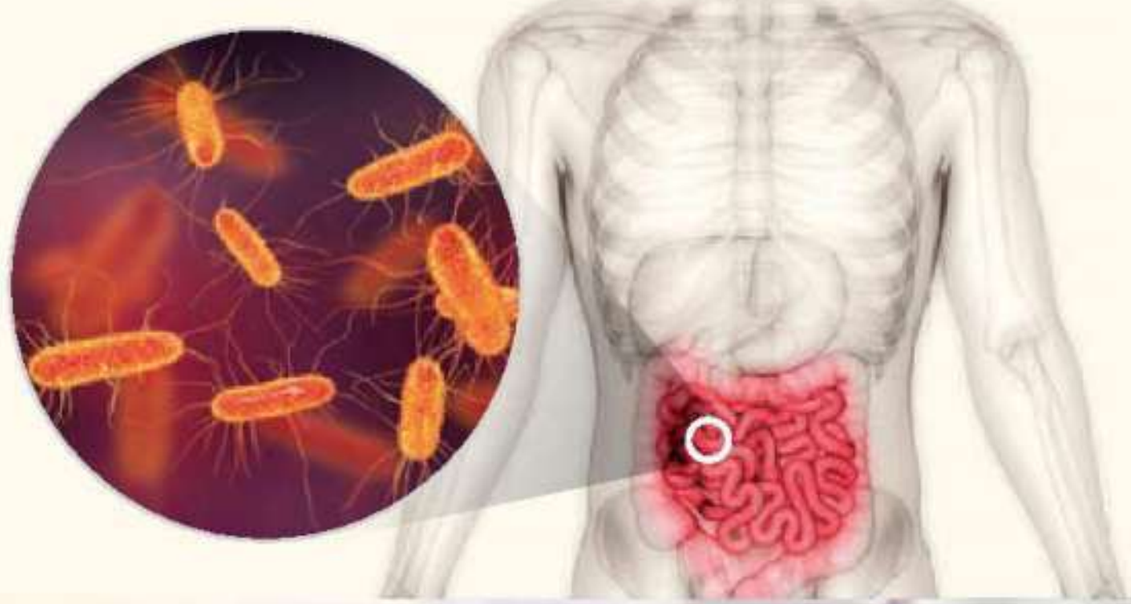
Bakterie i archeowce stanowią pokarm dla innych organizmów, m.in. drobnych skorupiaków, wrotków, protistów zwierzęcych lub parzydełkowców.

Udział w procesach trawiennych zwierząt

Bakterie symbiotyczne żyjące w przewodach pokarmowych zwierząt roślinożernych, m.in. przeżuwaczy, rozkładają celulozę. Dzięki temu umożliwiają zwierzętom trawienie pokarmu roślinnego.

Udział w wytwarzaniu witamin

Bakterie symbiotyczne żyjące w przewodzie pokarmowym człowieka wytwarzają witaminy, m.in. B i K, oraz wspomagają ich wchłanianie.



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.

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.

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 (enzymy restrykcyjne, polimerazy).

Chorobotwórczość

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

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 • podanie surowicy przeciwtężcowej • 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 • szczepienia ochronne
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 stosuje się zazwyczaj **antybiotyki**. Są to najczęściej związki pochodzenia naturalnego, izolowane z komórek niektórych grzybów i bakterii. Około 80% znanych antybiotyków to produkty metabolizmu glebowych, saprobiontycznych promieniowców. Istnieje również grupa antybiotyków półsyntetycznych lub syntetycznych, które są produkowane przez człowieka. Antybiotyki mogą działać na dwa sposoby:

- **bakteriobójczo** – powodując śmierć bakterii,
- **bakteriostatycznie** – hamując wzrost i rozmnażanie się bakterii.

Mechanizmy działania antybiotyków są bardzo zróżnicowane. Antybiotyki mogą m.in.:

- łączyć się z rybosomami bakteryjnymi, uniemożliwiając syntezę białek bakteryjnych,
- hamować replikację DNA bakteryjnego, zapobiegając w ten sposób rozmnażaniu się bakterii,
- hamować wytwarzanie mureiny lub uszkadzać błony komórkowe bakterii, co w konsekwencji powoduje śmierć tych organizmów.

Przy stosowaniu antybiotyków należy zachować szczególną ostrożność. Leki te trzeba przyjmować o wyznaczonych porach i w dawkach przepisanych przez lekarza. Nie wolno przerywać kuracji antybiotykowej nawet wtedy, gdy objawy choroby ustąpią. W przeciwnym razie nie wszystkie bakterie zostaną zniszczone. Przed zastosowaniem antybiotykoterapii zaleca się wykonanie **antybiogramu**. Jest to badanie mikrobiologiczne, które pozwala określić wrażliwość danej bakterii na antybiotyk oraz dobrać jego skuteczną dawkę.

Polecenia kontrolne

1. Uzasadnij stwierdzenie, że bakterie należą do organizmów kosmopolitycznych. W odpowiedzi uwzględnij cechy ich budowy i fizjologii.
2. Skontruuj tabelę, w której porównasz sposoby odżywiania się bakterii.
3. Omów dwa sposoby beztlenowego uzyskiwania energii przez bakterie.
4. Określ, jaką funkcję pełnią formy przetrwalnikowe w cyklu życiowym bakterii.
5. Przedstaw przebieg i efekty koniugacji u bakterii.

2.3. Protisty – proste organizmy eukariotyczne

Zwróć uwagę na:
- formy morfologiczne protistów,
- budowę i czynności życiowe protistów,
- cykle rozwojowe protistów,
- znaczenie protistów.

Królestwo protistów jest **taksonem parafiletycznym**, pochodzącym od wspólnego przodka, który jest także przodkiem roślin, zwierząt i grzybów. Należą do niego organizmy eukariotyczne, które są niezwykle zróżnicowane pod względem budowy, fizjologii oraz trybu życia. W zależności od liczby komórek wyróżniamy protisty **jednokomórkowe**, **kolonijne** i **wielokomórkowe o budowie plechowej**. Wszystkie gatunki protistów są ściśle związane ze środowiskiem wodnym – występują w zbiornikach wodnych, miejscach stale wilgotnych lub w organizmach zwierząt.

Grupy protistów

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

Protisty zwierzęce to organizmy jednokomórkowe lub kolonijne. Ich komórki przypominają budową komórki zwierzęce, ponieważ nie są otoczone ścianą komórkową, mają lizosomy, a jako materiał zapasowy gromadzą głównie glikogen i tłuszcze. Cechą, która upodobnia protisty zwierzęce do królestwa zwierząt, jest również heterotroficzny sposób odżywiania się.

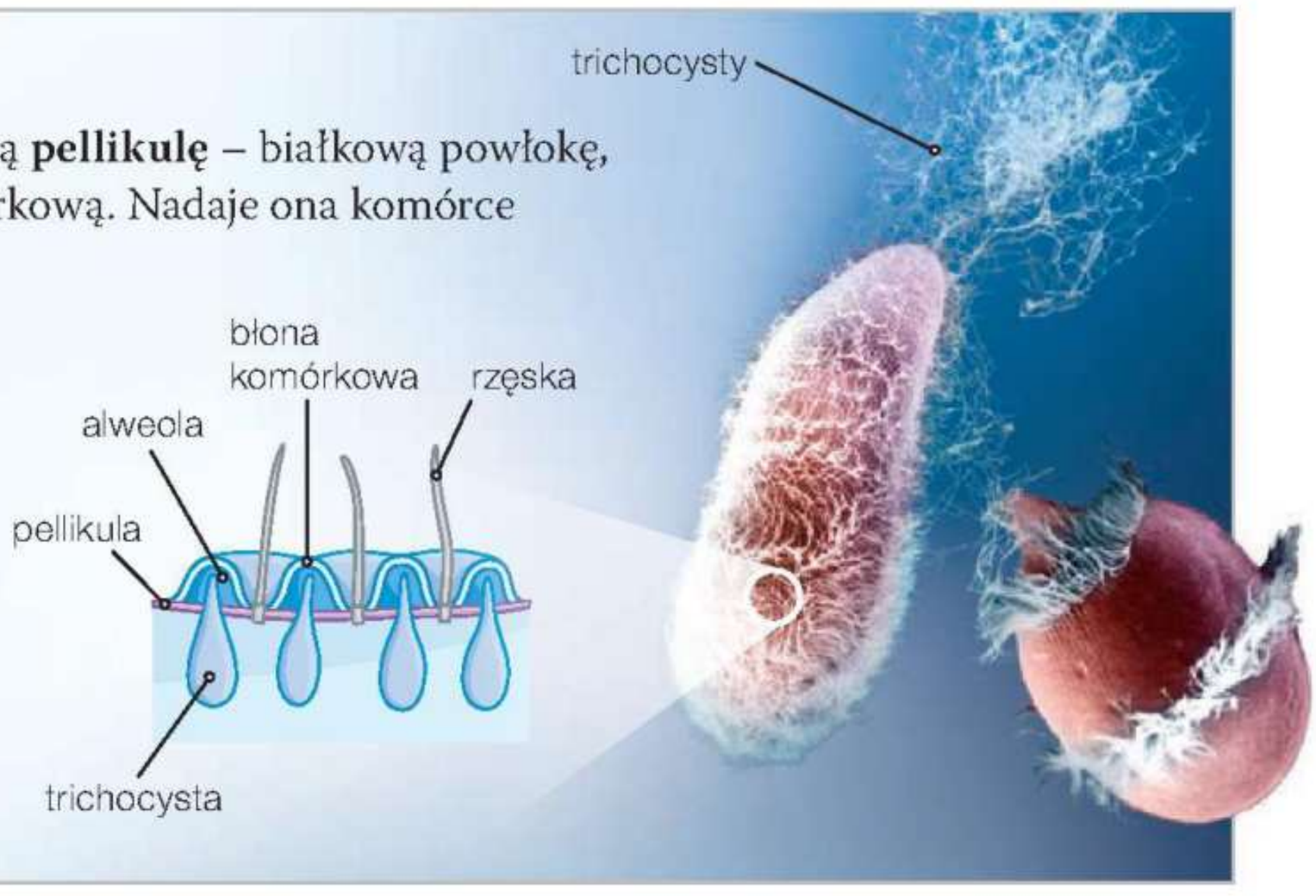
Protisty roślinopodobne to organizmy jednokomórkowe, kolonijne lub wielokomórkowe o budowie plechowej. Ich komórki przypominają budową komórki roślinne – zawierają chloroplasty i ziarna skrobi, wiele z nich ma również celulozową ścianę komórkową. Większość protistów roślinopodobnych jest autotroficzna.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

Do **protistów grzybopodobnych** należą głównie heterotroficzne organizmy jednokomórkowe lub wielokomórkowe o budowie plechowej. Plechy mają postać śluźni, czyli galaretowatych mas, lub nitkowatych strzępek, podobnych do strzępek grzybów. Głównym składnikiem ściany komórkowej jest u nich jednak celuloza, a nie chityna.

Pellikula

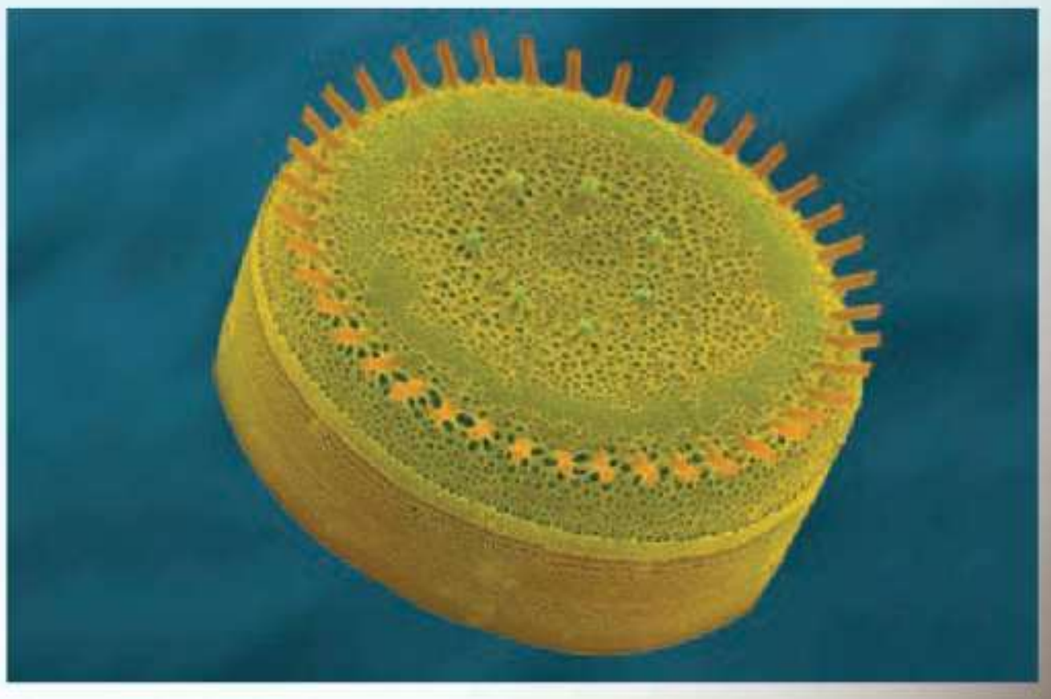
Komórki niektórych protistów mają **pellikulę** – białkową powłokę, która znajduje się pod błoną komórkową. Nadaje ona komórce wytrzymałość i giętkość.

U orzęsków dodatkowym wzmocnieniem pellikuli są alweole – pęcherzyki zawierające niekiedy celulozowe płytki, które mogą być wysycone krzemionką lub węglanem wapnia. Niektóre gatunki orzęsków mają pod błoną komórkową trichocysty – ciałka obronne, które w razie niebezpieczeństwa są wyrzucane z komórki. Z kolei gatunki drapieżne mają toksycysty zawierające toksyny paraliżujące ofiarę.

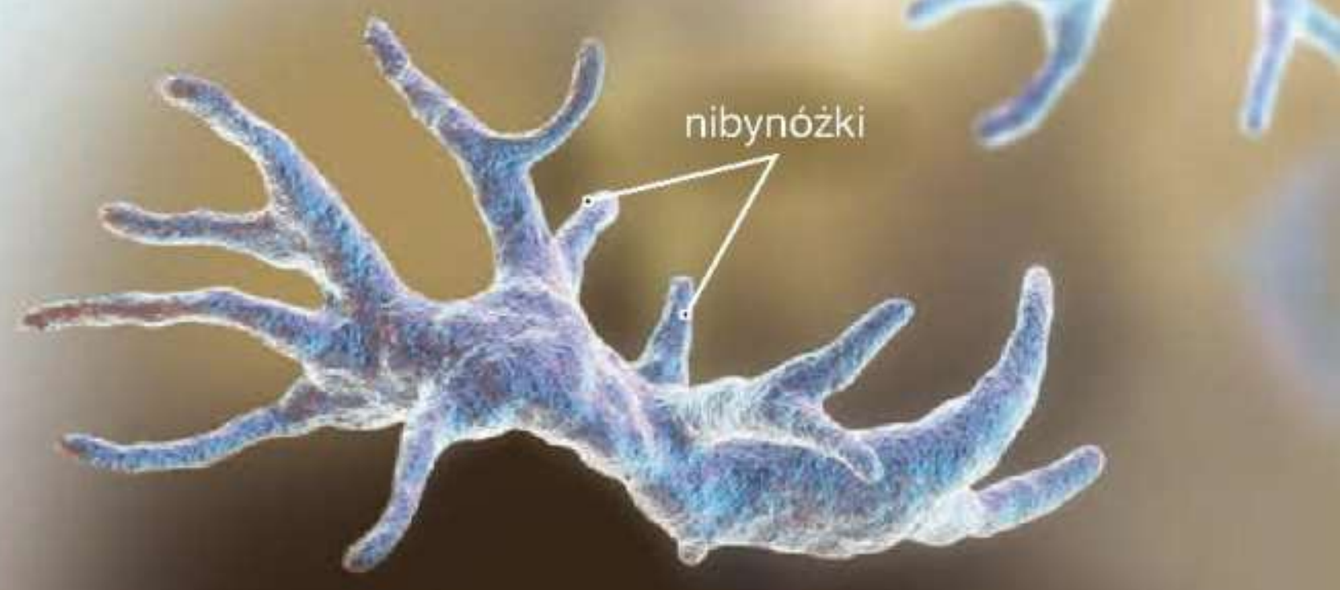


Protisty jednokomórkowe

Wśród protistów jednokomórkowych spotyka się formy nieruchome – kokoidalne – lub obdarzone zdolnością aktywnego ruchu – m.in. pełzaki, wiciowce i orzęski. Tylko nieliczne z nich prowadzą osiadły tryb życia. W zależności od gatunku komórki protistów jednokomórkowych mogą być okryte ścianą komórkową lub pellikulą. U niektórych gatunków komórki są nagie, otoczone wyłącznie błoną komórkową.



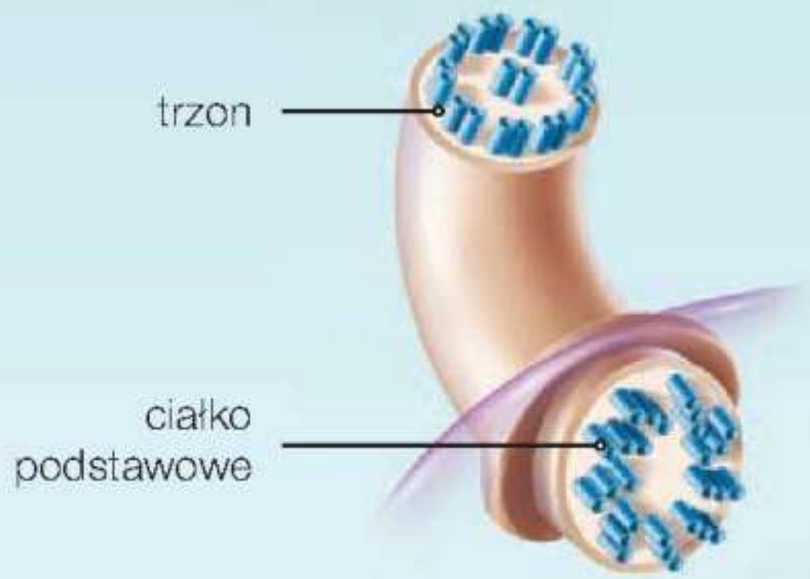
Formy kokoidalne są nieruchome. Zaliczamy do nich m.in. okrzemki (Bacillariophyta), których komórki okrywa błona komórkowa oraz sztywna ściana komórkowa, zbudowana z pektyny wysyconej krzemionką.

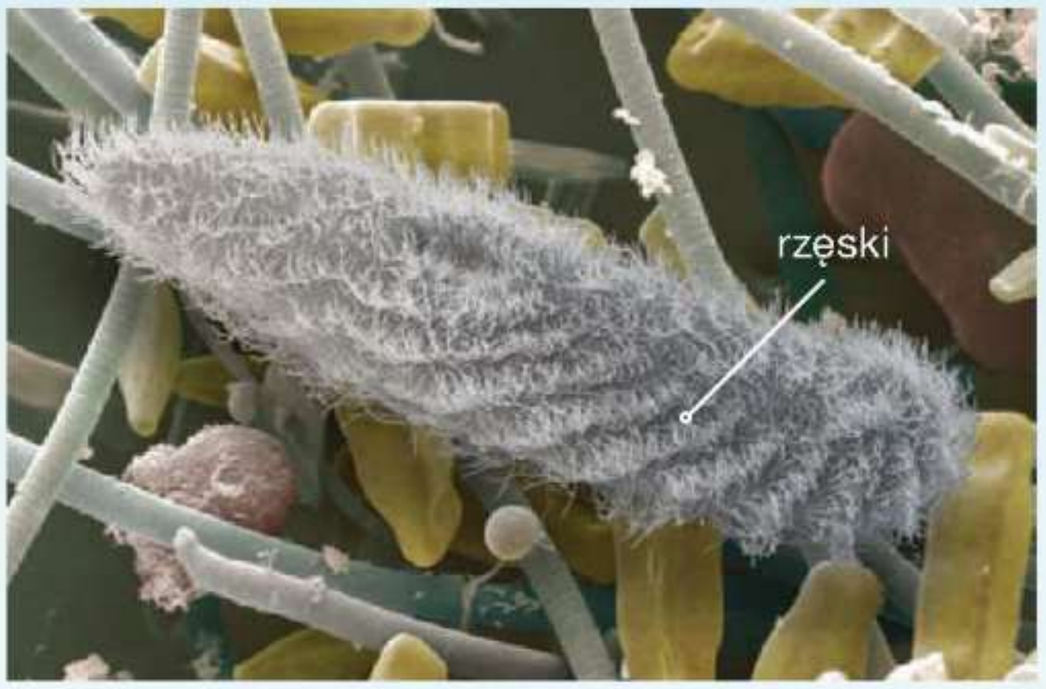


Komórki pełzaków są otoczone wyłącznie błoną komórkową, dlatego łatwo mogą zmieniać kształt i wytwarzać różnokształtne wypustki cytoplazmatyczne. Wypustki te noszą nazwę nibynóżek (pseudopodiów). Za ich pomocą odbywa się ruch pełzakowaty (pseudopodialny) komórek. Do pełzaków zaliczamy m.in. protisty z rodzaju *Amoeba*.

Wici i rzęski

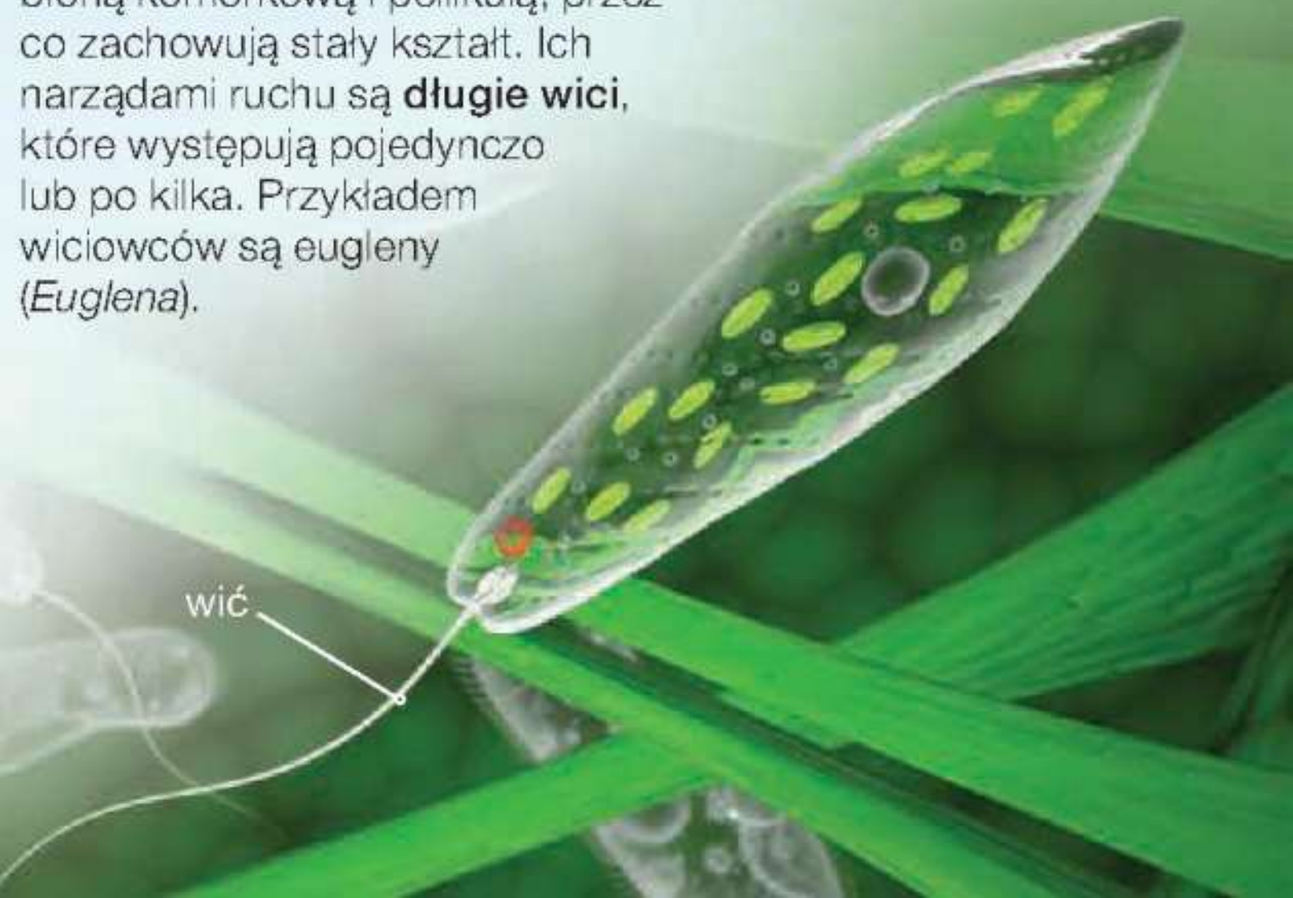
są cytoplazmatycznymi wypustkami, okrytymi błoną komórkową. Ich trzon tworzą mikrotubule, które wyrastają z ciałka podstawowego, zlokalizowanego pod błoną komórkową. Ruch za pomocą wici i rzęsek nosi nazwę ruchu undulipodialnego.





Komórki orzęsków są otoczone błoną komórkową i pellikulą, która zapewnia im stały kształt. Ich narządami ruchu są krótkie, **liczne rzęski**, ułożone zwykle w równoległe rzędy. Przykładem orzęsków są pantofelki (*Paramecium*).

Komórki wiciowców są otoczone błoną komórkową i pellikulą, przez co zachowują stały kształt. Ich narządami ruchu są **długie wici**, które występują pojedynczo lub po kilka. Przykładem wiciowców są eugleny (*Euglena*).



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, możesz odciągnąć nieco wody paskiem z bibuły filtracyjnej.

Obserwacja

Formy kolonijne

Formy kolonijne są zespołami komórek połączonych ze sobą za pomocą ścian komórkowych lub galaretowatych otoczek. Powstają one w wyniku nierozdzielenia się komórek potomnych po podziale komórki macierzystej lub wskutek jednoczenia się pojedynczych komórek w większe grupy. Życie w skupiskach – koloniach – ułatwia unoszenie się organizmów w wodzie i chroni je przed atakiem drapieżników.

Protisty wielokomórkowe

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:

- **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;
- **nitkowate** – utworzone z nici zbudowanych z długich ciągów komórek;
- **nibytkankowe (plektenchymatyczne)** – utworzone z wielokomórkowych nici, które ciasno się ze sobą splatają, formując nibytkankę (plektenchymę);
- **tkankowe** – utworzone najczęściej z tkanek twórczej i miękiszowej. Najwyżej uorganizowane plechy tkankowe mają także wyspecjalizowane komórki przewodzące asymilaty.

Komórki kolonijnych, osiadłych wiciowców z rodzaju *Dinobryon* są luźno umieszczone w celulozowych domkach. Domki chronią komórki m.in. przed atakiem drapieżników.

Plechy komórczakowe w postaci śluźni występują u protistów grzybopodobnych, np. u zlepniczka walcowatego (*Tubifera ferruginosa*). Mają one zdolność poruszania się ruchem pełzakowatym.

Odżywianie się protistów

Protisty zwierzęce oraz grzybopodobne należą do **heterotrofów**. Odżywiają się martwą materią organiczną albo innymi organizmami. Pobierają pokarm głównie na drodze endocytozy. U gatunków, które mają pellikulę, proces ten zachodzi w ściśle określonym miejscu komórki, zwanym **cytostomem**. Wyróżniamy dwa podstawowe rodzaje endocytozy:

- **fagocytozę**, czyli pobieranie przez komórkę drobnych, nierozpuszczalnych cząstek, m.in. bakterii lub szczątków organicznych. Taki rodzaj odżywiania się nosi nazwę fagotroficznego;
- **pinocytozę**, czyli pobieranie przez komórkę małych kropli płynów, zawierających substancje rozpuszczalne w wodzie. Taki rodzaj odżywiania się nosi nazwę pinocytotycznego.

Protisty heterotroficzne – oprócz pobierania pokarmu na drodze endocytozy – mogą wchłaniać z otoczenia drobnocząsteczkowe związki organiczne, które nie wymagają trawienia.

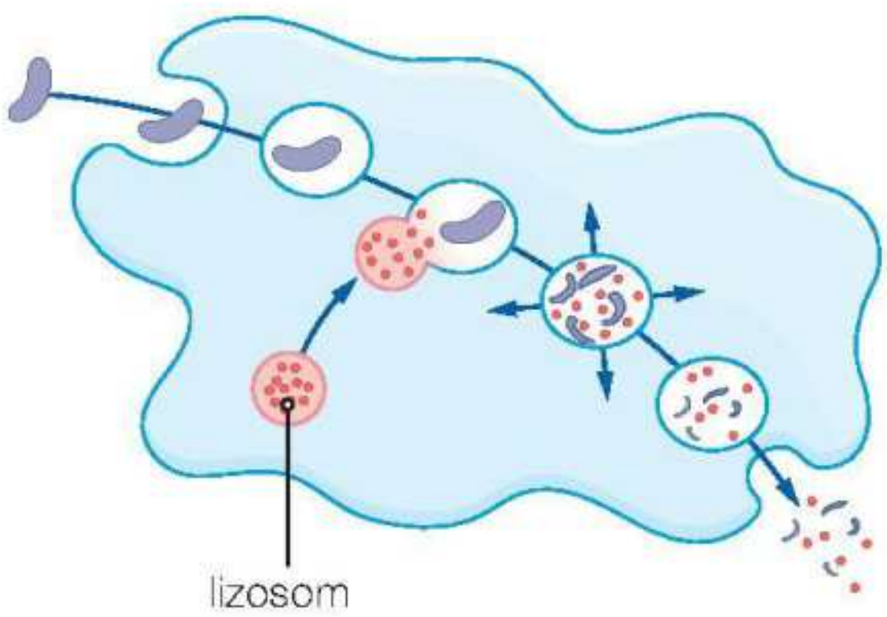
Protisty roślinopodobne są zwykle autotrofami, odżywiającymi się dzięki fotosyntezie. Ich komórki zawierają chloroplasty, w których znajdują się barwniki asymilacyjne – głównie chlorofile i karotenoidy. Podstawowym barwnikiem asymilacyjnym jest **chlorofil a**. Oprócz niego mogą występować inne rodzaje chlorofili, m.in. **chlorofile: b, c oraz d**. Różnią się one budową chemiczną, dzięki czemu absorbują światło o odmiennej długości fali. Wśród **karotenoidów**, oprócz barwników pomarańczowych i żółtych, występują też inne, m.in. brązowa **fukoksantyna**.

W wyniku fotosyntezy powstają związki organiczne, z których część jest magazynowana jako materiał zapasowy komórek. Magazynowanie odbywa się w cytozolu lub wokół specjalnych struktur – **pirenoidów** – zlokalizowanych

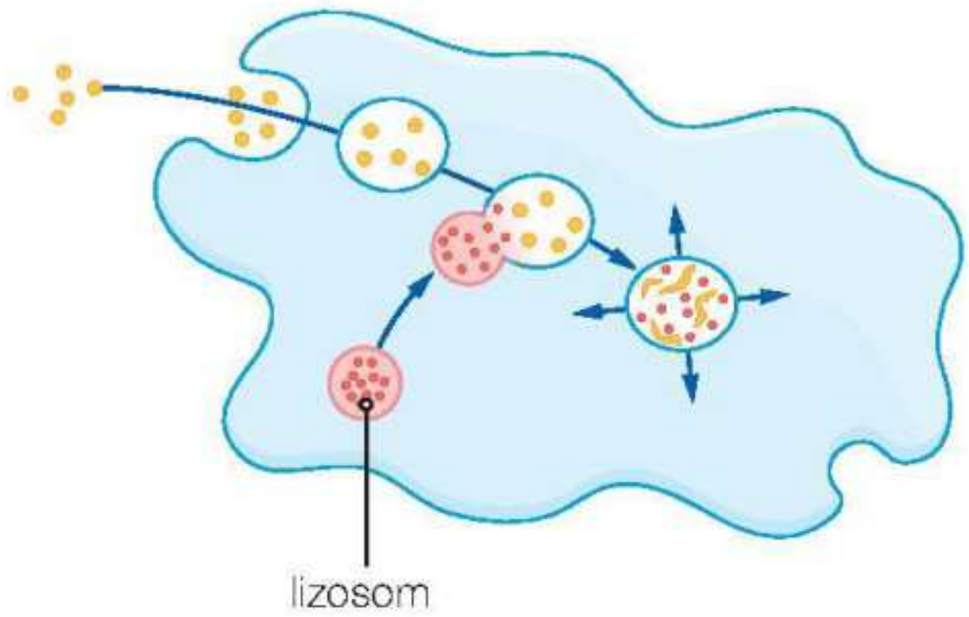
Przypomnij sobie

Endocytoza u ameb

Komórki ameb nie mają pellikuli, dlatego endocytoza może u nich zachodzić w dowolnym miejscu błony komórkowej. Podczas fagocytozy cząstki pokarmowe są otaczane pseudopodiami – w ten sposób tworzy się pęcherzyk, który wędruje w głąb cytoplazmy. Tam łączy się z lizosomem, w wyniku czego powstaje fagosom. W fagosomie pokarm ulega strawieniu przez lizosomalne enzymy hydrolityczne. W przypadku pinocytozy na powierzchni komórki tworzą się zagłębienia w kształcie kanalików. Wnikają one w głąb cytoplazmy, gdzie rozpadają się na pęcherzyki, które następnie łączą się z lizosomami. Wówczas zachodzi trawienie pokarmu.



W przypadku fagocytozy trawienie jest zwykle niekompletne, dlatego niestrawione resztki pokarmu są usuwane z komórki na drodze egzocytozy.



W przypadku pinoctytozy strawieniu ulega cały pokarm wraz z błoną pęcherzyka. Pinocytoza pociąga więc za sobą ubytki błony komórkowej. Są one jednak uzupełniane poprzez egzocytozę innych substancji oraz syntezę nowych składników błony.

w chloroplastach. Podstawowym materiałem zapasowym protistów roślinopodobnych jest **skrobia**, rzadziej inne wielocukry (m.in. paramylon) oraz **tłuszcze**.

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

Osmoregulacja u protistów

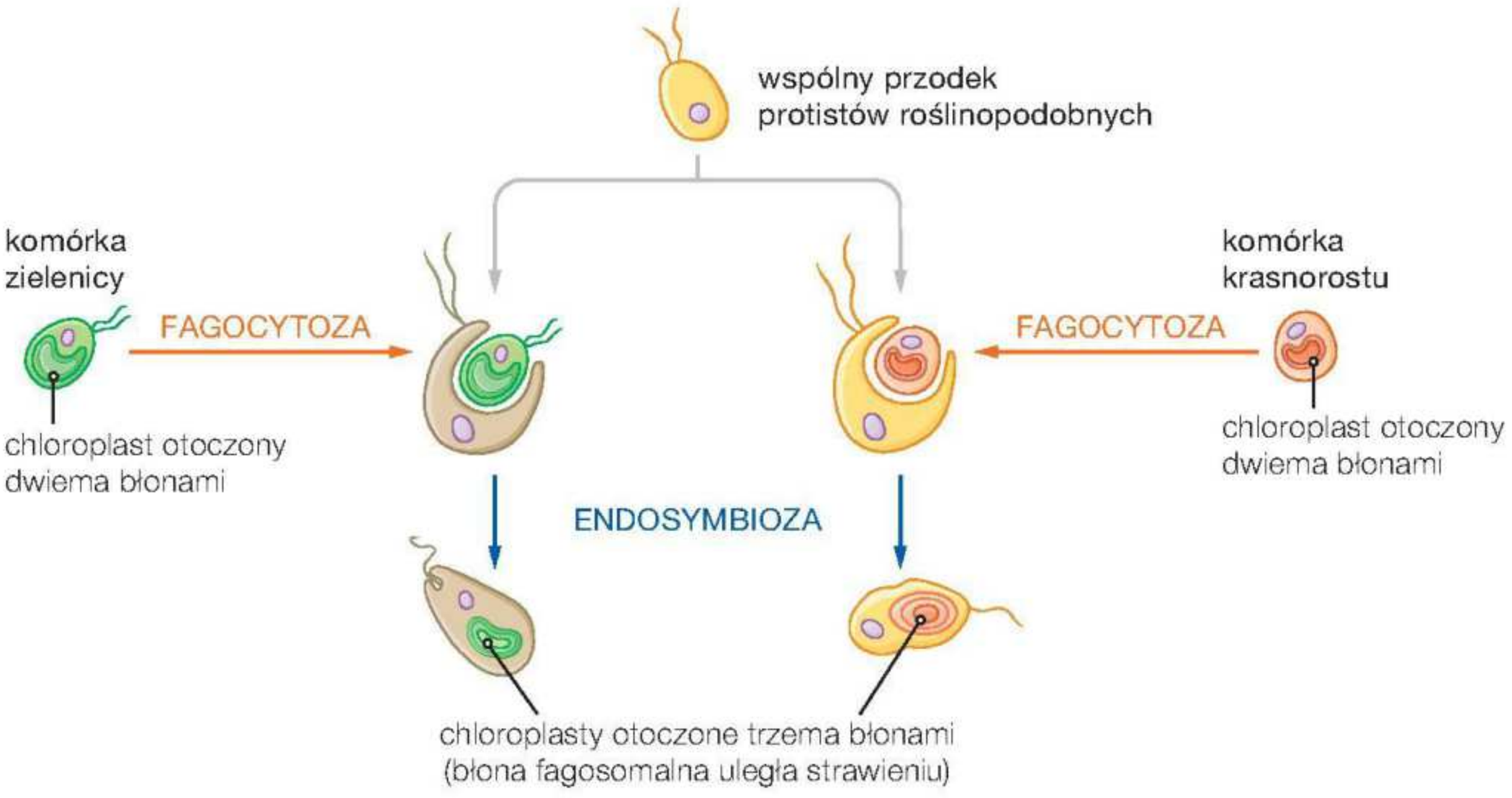
Osmoregulacja jest to regulacja ilości wody oraz stężenia związków osmotycznie czynnych w komórkach i płynach ustrojowych organizmów. Protisty, które żyją w morzach lub w organizmach zwierząt, nie potrzebują mechanizmów osmoregulacji, ponieważ są izotoniczne w stosunku do środowiska. Inaczej jest w przypadku protistów słodkowodnych, których komórki nie mają ściany komórkowej. Organizmy te są narażone na pęknięcie wskutek ciągłego, osmotycznego napływu wody do ich wnętrza. Dlatego nadmiar wody jest nieustannie zbierany i usuwany na zewnątrz przez krążące w cytozolu **wodniczki tętniące**. Prawdopodobnie wraz z wodą z komórki są usuwane także szkodliwe produkty przemiany materii. Przemawia za tym obecność wodniczek tętniących u niektórych protistów zasiedlających wody słone, głównie u morskich orzęsków.

Oddychanie protistów

Większość protistów oddycha tlenowo. Gatunki beztlenowe uzyskują energię dzięki fermentacji. Do gatunków beztlenowych należą np. symbiotyczne orzęski, zasiedlające przewody pokarmowe przeżuwaczy, oraz niektóre pasożyty wewnętrzne.

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.

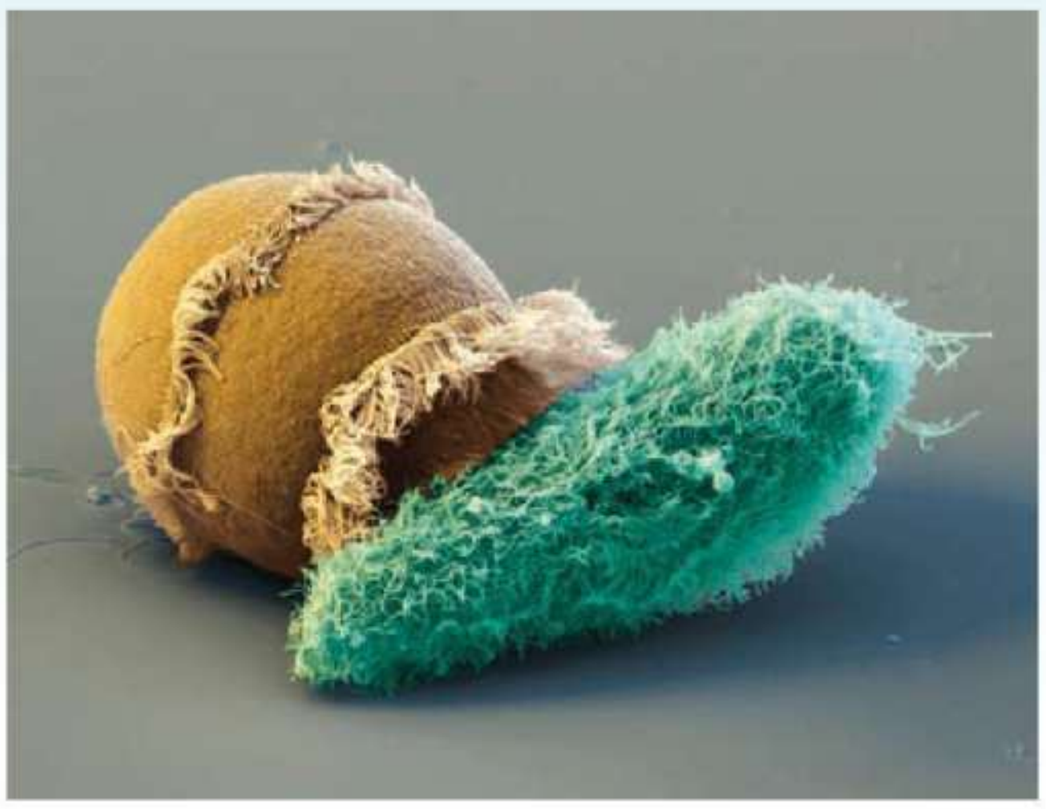


Związek między budową a trybem życia protistów

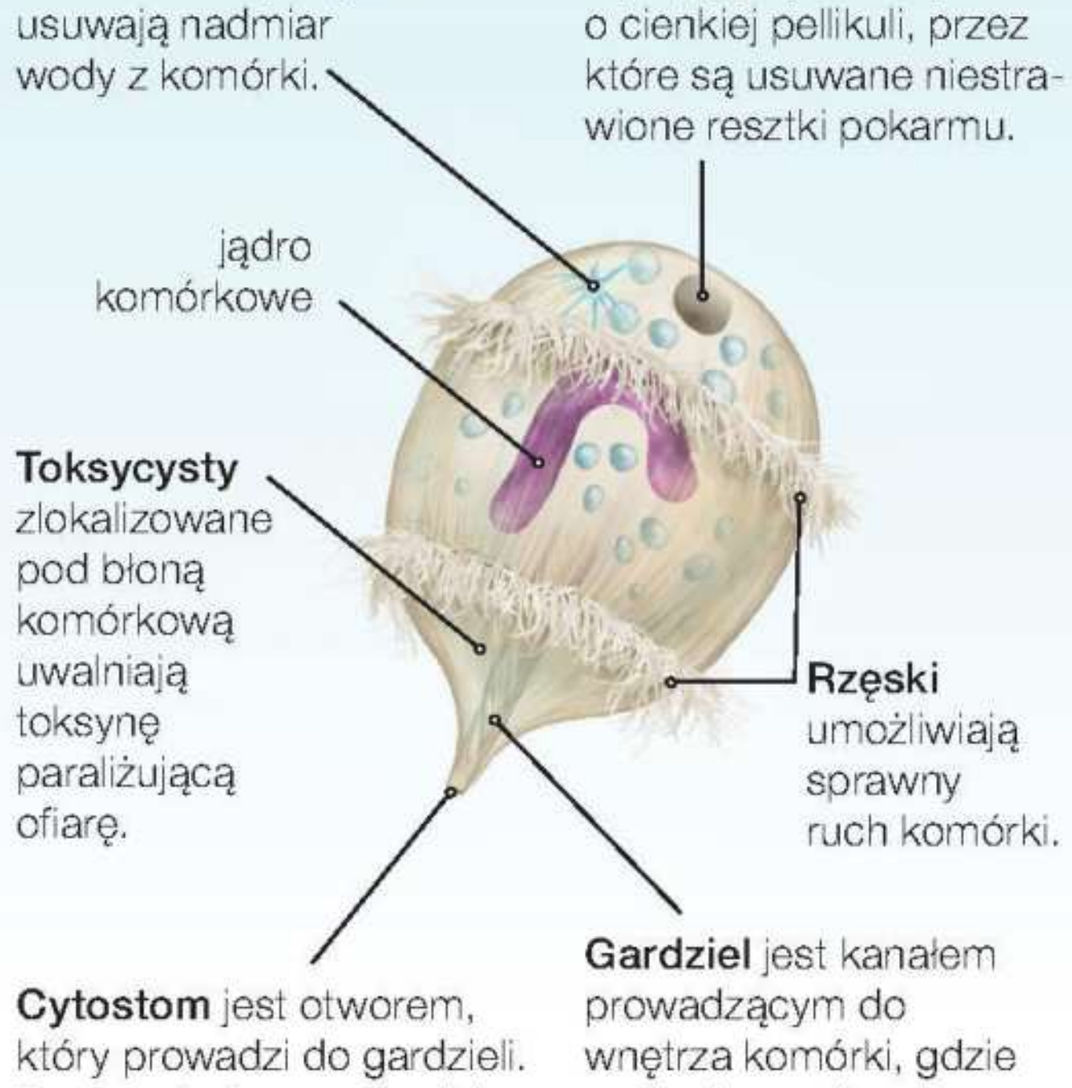
Protisty należą do najprostszych organizmów eukariotycznych. Mimo to ich komórki osiągnęły bardzo wysoki poziom specjalizacji, wynikający z przystosowania do określonego trybu życia.

Didinium – mikroskopijne drapieżniki

Protisty zwierzęce z rodzaju *Didinium* występują głównie w zbiornikach słodkowodnych, gdzie odżywiają się innymi organizmami.



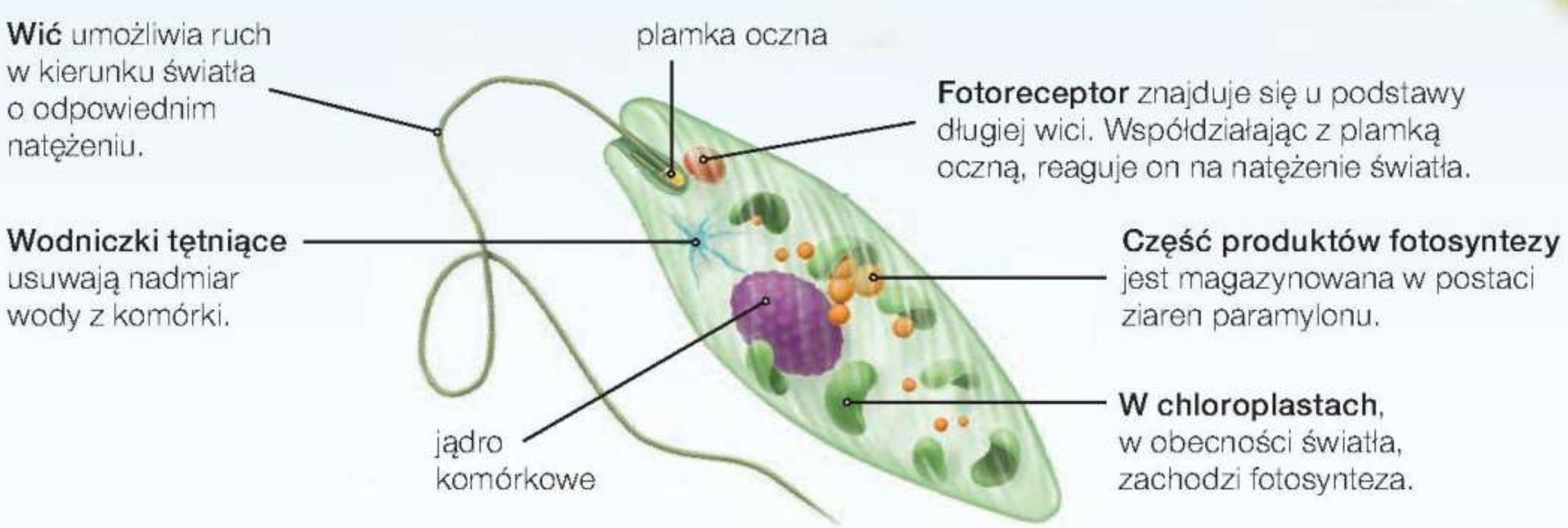
Didinium odżywiają się pantofelkami – orzęskami o zbliżonej wielkości.



Euglena zielona – wyspecjalizowany miksotrof

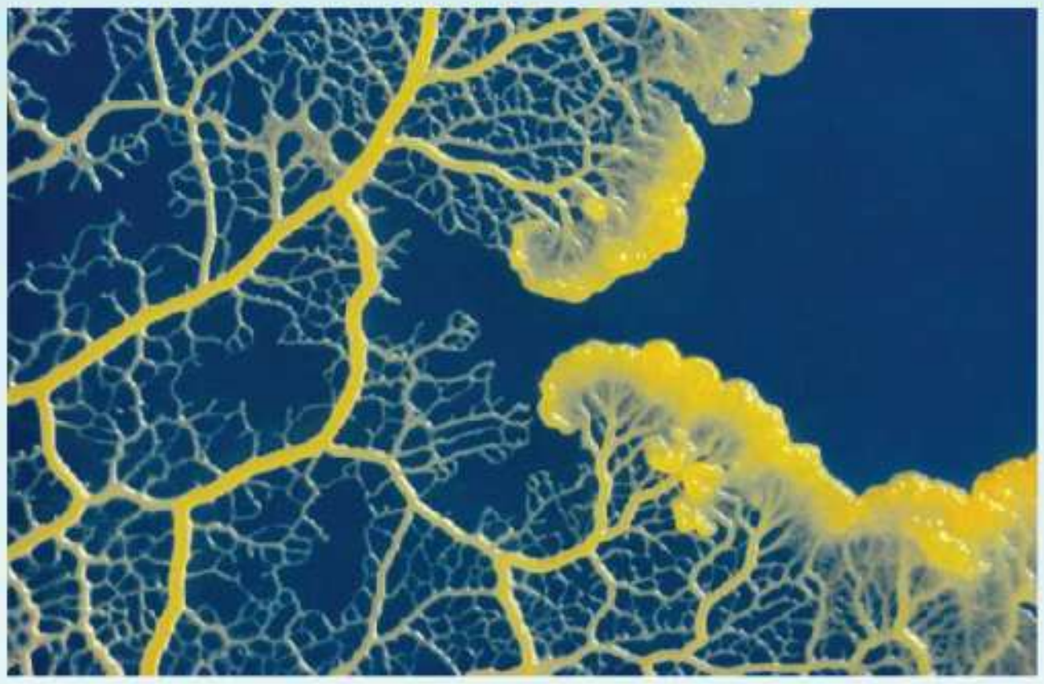
Euglena zielona (*Euglena viridis*) należy do słodkowodnych protistów roślinopodobnych. W zależności od dostępu światła odżywia się autotroficznie lub heterotroficznie. Komórka eugleny jest otoczona elastyczną pellikulą. W jej przedniej części znajduje się gardziel, z której wyrastają dwie wici: długa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

Dzięki fotoreceptorom eugleny poruszają się w kierunku źródła światła.



Maworek – skuteczny saprobiont

Maworek wielokształtny (*Physarum polycephalum*) 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 (*Macrocystis pyrifera*) 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 wodach głębokich. Jego **część łodygokształtna** jest bardzo długa (osiąga nawet 60 m), dzięki czemu wynosi część liściokształtną ku powierzchni wody, gdzie natężenie światła jest większe.

Część liściokształtną tworzą płaskie płaty plechy zbudowane z tkanki miękiszowej. Zachodzi w nich fotosynteza.

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

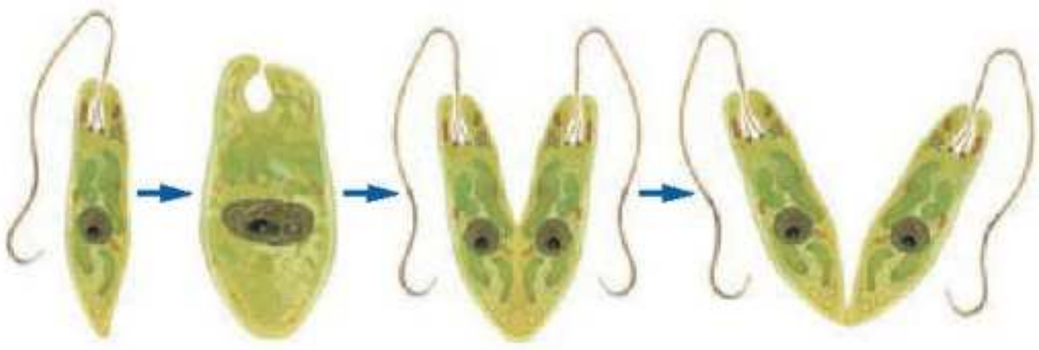
Rozmnażanie się protistów

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

U gatunków jednokomórkowych **rozmnażanie bezpłciowe** zachodzi przez **podział** poprzeczny lub podłużny komórki macierzystej na dwie komórki potomne. U gatunków wielokomórkowych może się ono odbywać przez:

- fragmentację plechy – plecha, najczęściej przypadkowo, zostaje rozerwana na fragmenty, z których w wyniku regeneracji odtwarzają się nowe, kompletne organizmy;
- mitospory – zarodniki wytwarzane na drodze mitozy. Zarodniki mogą być komórkami nieruchliwymi – **aplanosporami** – lub ruchliwymi – **zoosporami**.

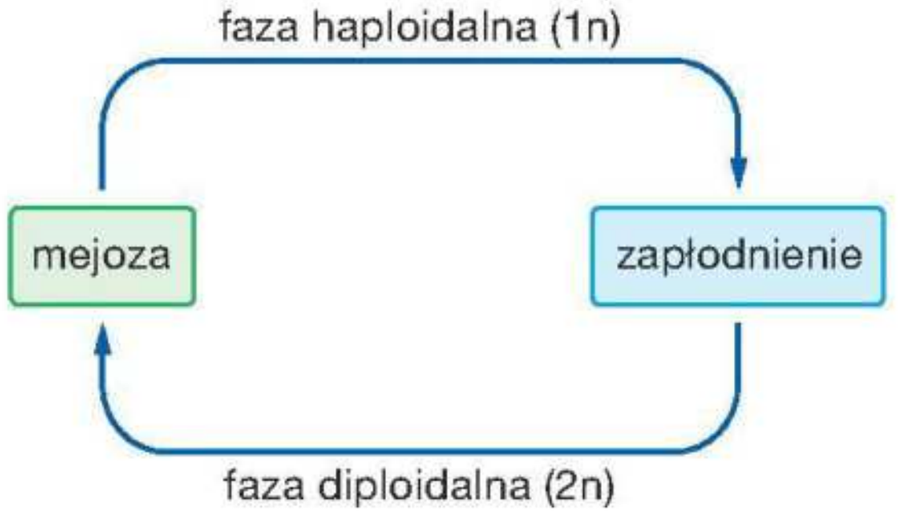
Rozmnażanie bezpłciowe pozwala na szybkie zwiększenie się liczby osobników populacji, są one jednak identyczne pod względem genetycznym. W zmiennych lub niesprzyjających warunkach środowiska nie jest to korzystne, ponieważ populacja gatunku złożona z osobników jednolitych genetycznie jest zagrożona wyginięciem.



U eugleny rozmnażanie bezpłciowe odbywa się przez podział podłużny komórki.

Rozmnażanie płciowe zachodzi w wyniku zapłodnienia (syngamii), czyli łączenia się **gamet** pochodzących od dwóch osobników. W jego przebiegu zawsze występuje **mejoza**. Dzięki temu powstają nowe kombinacje genów, a potomstwo różni się od osobników rodzicielskich. W efekcie rozmnażania płciowego zwiększa się zatem **różnorodność genetyczna** populacji, co pozwala na jej przetrwanie w zmiennych lub niekorzystnych warunkach środowiska.

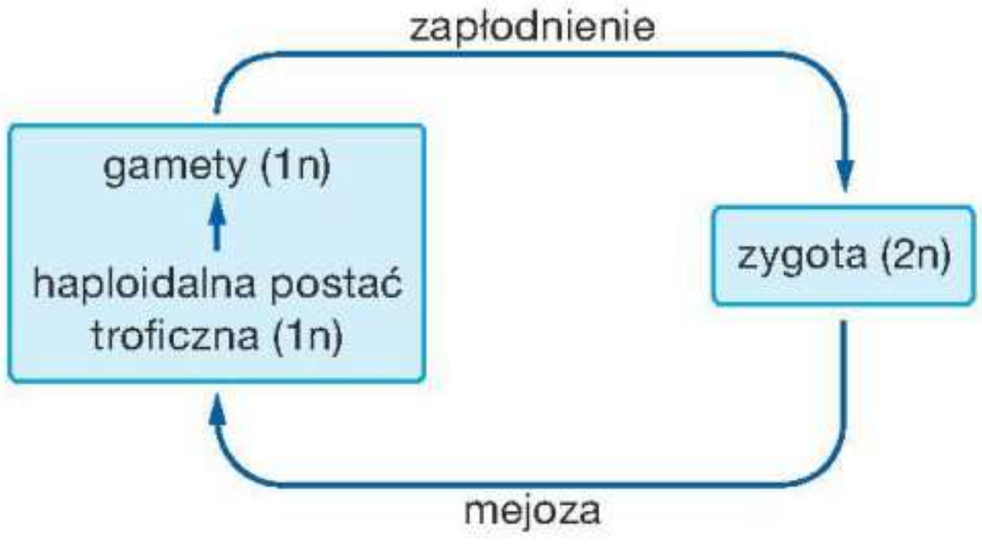
W cyklu życiowym organizmów rozmnażających się płciowo występuje **przemiana faz jądrowych**, czyli regularne następowanie po sobie faz haploidalnej (1n) i diploidalnej (2n). Faza haploidalna – **haplofaza** – trwa od mejozy do zapłodnienia, a diploidalna – **diplofaza** – od zapłodnienia do mejozy.



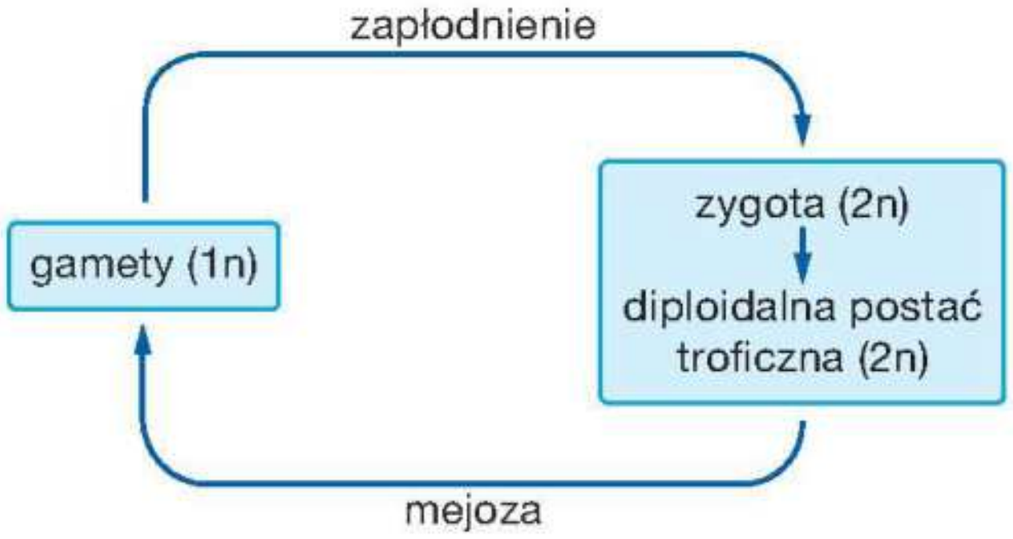
Przemiana faz jądrowych u protistów zwierzęcych

W zależności od gatunku protisty zwierzęce są **haplontami** lub **diplontami**. Haplonty to organizmy, których **postać troficzna**, czyli postać zdolna do odżywiania się, wzrostu i podziałów, jest haploidalna – ma pojedynczy zestaw chromosomów w jądrze komórkowym. Diplonty to organizmy, których postać troficzna jest diploidalna – ma dwa zestawy chromosomów w jądrze komórkowym. Od ploidalności postaci troficznej protista zależy typ reprezentowanej przez niego przemiany faz jądrowych.

Przemiana faz jądrowych z przewagą fazy haploidalnej występuje u haplontów. Komórki takich protistów przekształcają się w gamety i łączą ze sobą w procesie zapłodnienia. W efekcie powstaje diploidalna zygota, która dzieli się mejotycznie. Z jednej zygoty powstają cztery haploidalne komórki potomne, które stają się dojrzałymi osobnikami. Mejoza zachodząca bezpośrednio po zapłodnieniu nosi nazwę **mejozy postgamicznej**.



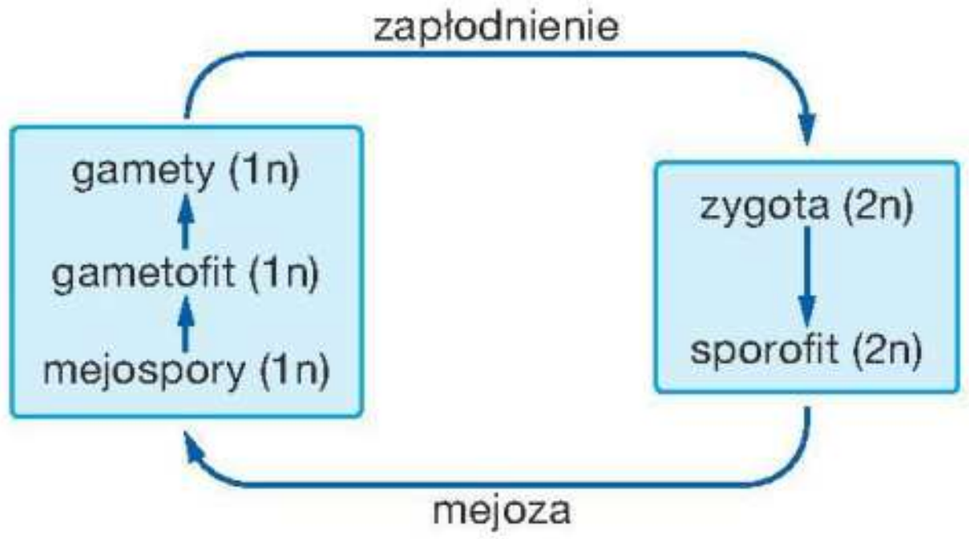
Przemiana faz jądrowych z przewagą fazy diploidalnej występuje u diplontów. Komórki takich protistów wytwarzają na drodze mejozy haploidalne gamety. W wyniku zapłodnienia powstaje diploidalna zygota, która przekształca się w dojrzałego osobnika. Mejoza, która prowadzi do wytworzenia gamet, nosi nazwę **mejozy pregamicznej**. Występuje ona powszechnie w królestwie zwierząt.



Przemiana faz jądrowych u protistów roślinopodobnych

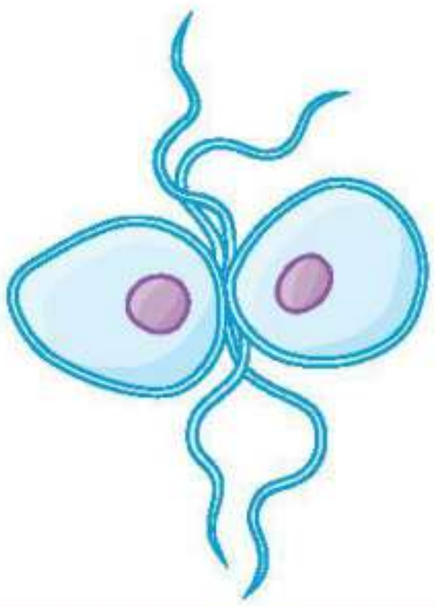
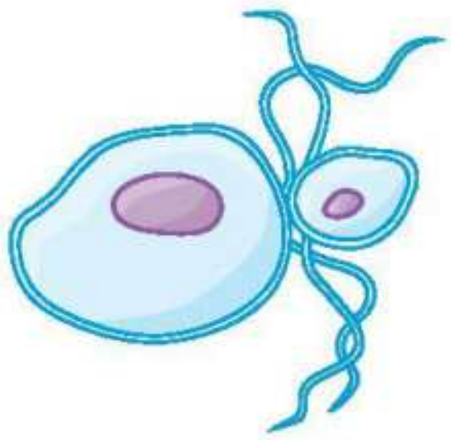
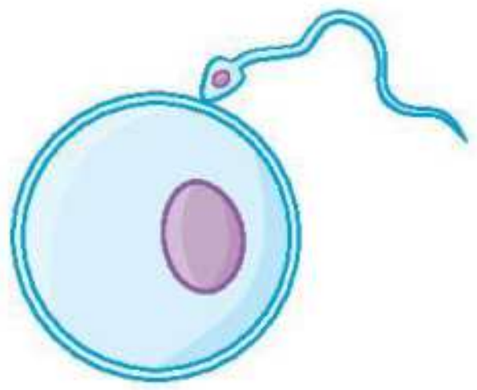
U wielokomórkowych protistów roślinopodobnych (podobnie jak u roślin) przemiana faz jądrowych jest związana z **przemianą pokoleń**. Przemiana pokoleń to regularne następowanie po sobie pokolenia rozmnażającego się za pomocą **gamet – gametofitu** – i pokolenia rozmnażającego się za pomocą **mejospor – sporofitu**. Gamety powstają w organach płciowych – **gametangiach**. Gametangia protistów są jednokomórkowe, zróżnicowane na **plemnie**, w których powstają gamety męskie, oraz **lęgnie**, w których powstają gamety żeńskie. Z kolei mejospory – haploidalne zarodniki – tworzą się w **zarodniach** (sporangiach) w wyniku podziału mejotycznego komórek macierzystych zarodników. Mejoza, która zachodzi u organizmów charakteryzujących się przemianą pokoleń, nosi nazwę **mejozy pośredniej**.

Mejospory kiełkują w gametofity, nie odtwarzają więc składu genetycznego organizmu rodzicielskiego – sporofitu. Ich powstawanie jest ściśle związane z rozmnażaniem płciowym.



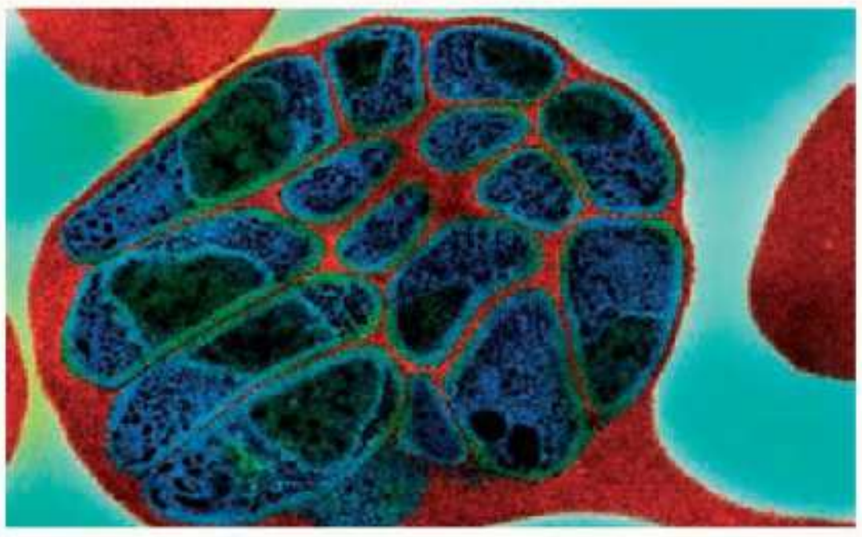
Wyróżniamy dwa typy przemian pokoleń:

- **izomorficzną** – pokolenia gametofitu i sporofitu są do siebie podobne pod względem budowy, kształtu, rozmiarów i długości życia,
- **heteromorficzną** – pokolenia gametofitu i sporofitu różnią się od siebie; w takim przypadku jedno z pokoleń dominuje.

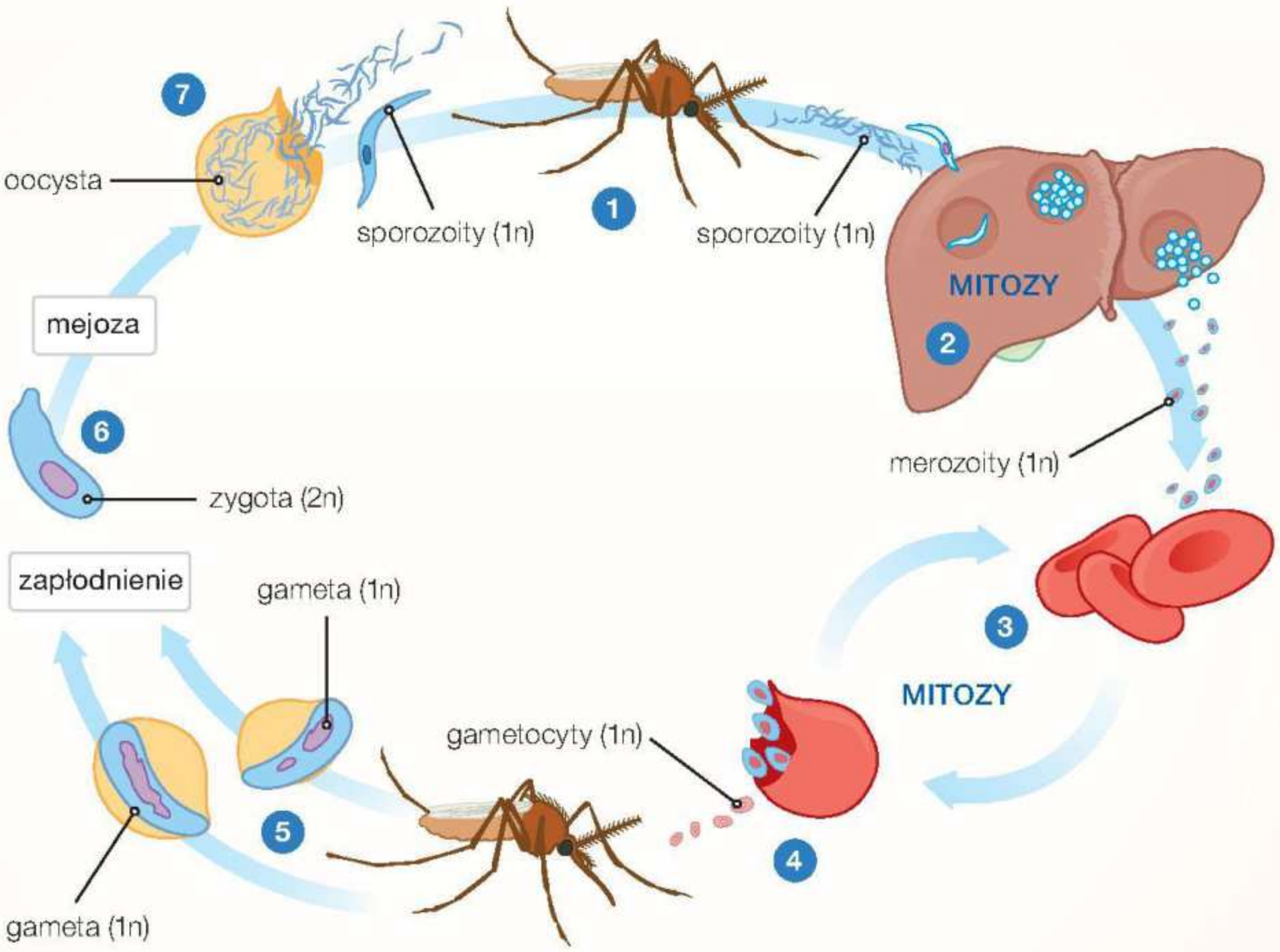
Typy zapłodnienia		
izogamia	**anizogamia**	**oogamia**
Gamety męska i żeńska mają zdolność ruchu i są morfologicznie jednakowe (izogamety).	Gamety męska i żeńska mają zdolność ruchu, ale różnią się wielkością. Gameta żeńska jest większa (makrogameta), a gameta męska – mniejsza (mikrogameta).	Gameta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

Cykl rozwojowy zarodźców malarii

Zarodźce malarii (*Plasmodium*) 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 (*Anopheles*).



Komórki zarodźca malarii wewnątrz erytrocytu człowieka (obraz spod TEM).

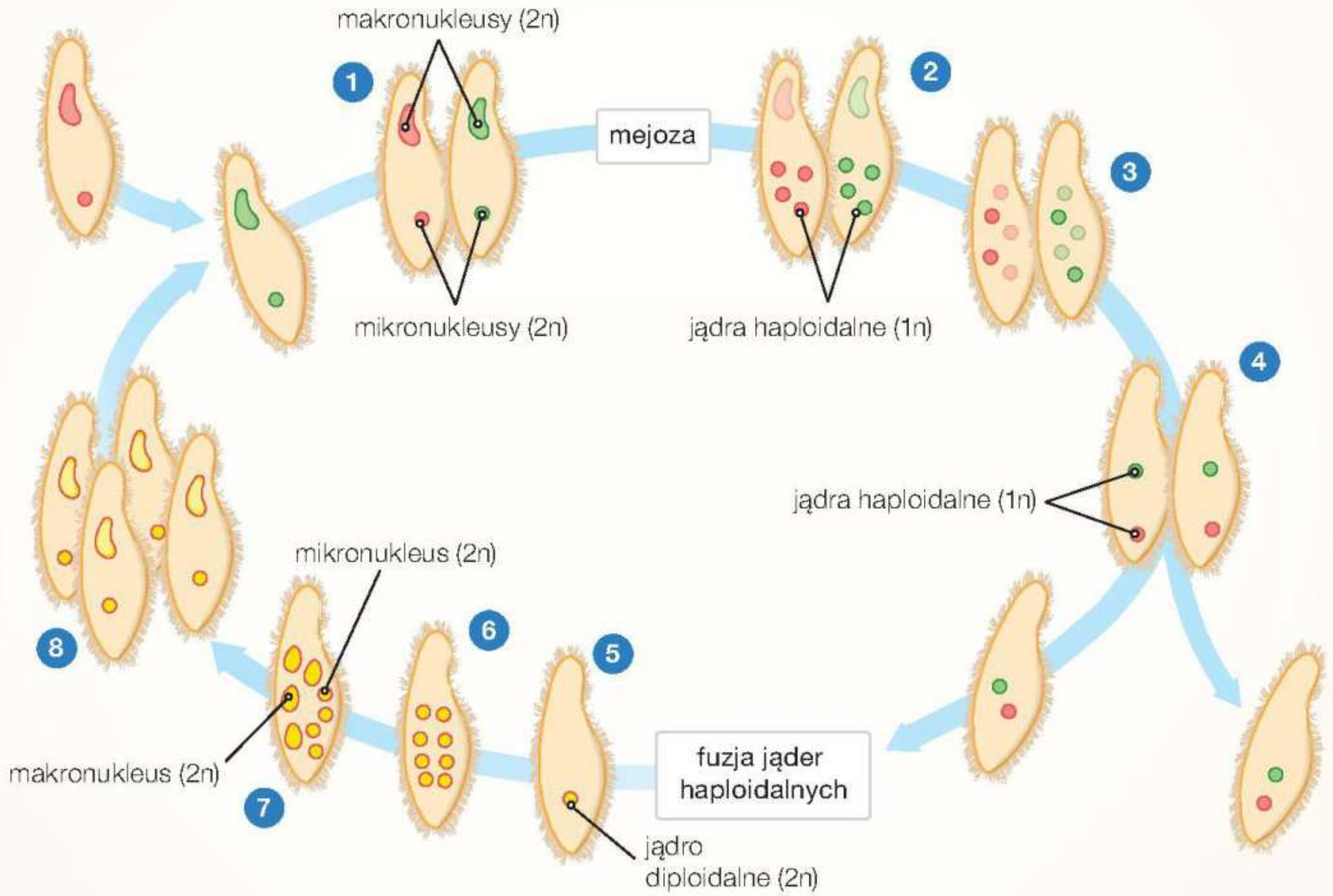


1. Zakażenie zarodźcem następuje w wyniku ukłucia przez samicę komara widliszka i wprowadzenia wrzecionowatych form inwazyjnych pasożyta – sporozoitów – do krwi człowieka.
2. Sporozoity są transportowane przez krew do wątroby, gdzie przekształcają się w pełzakowate formy inwazyjne – merozoity – które 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 i po mejozie oraz po wielokrotnych podziałach mitotycznych daje początek sporozoitom.

Cykl rozwojowy pantofelka

Pantofelek (*Paramecium caudatum*) jest protistem zwierzęcym, który należy do diplontów. Jego komórki mają dwa jądra komórkowe – makronukleusa i mikronukleusa. W cyklu rozwojowym pantofelka zachodzi **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**, która prowadzi do powstania haploidalnych jąder. Ulegają one fuzji (połączeniu), która jest funkcjonalnym odpowiednikiem zapłodnienia.

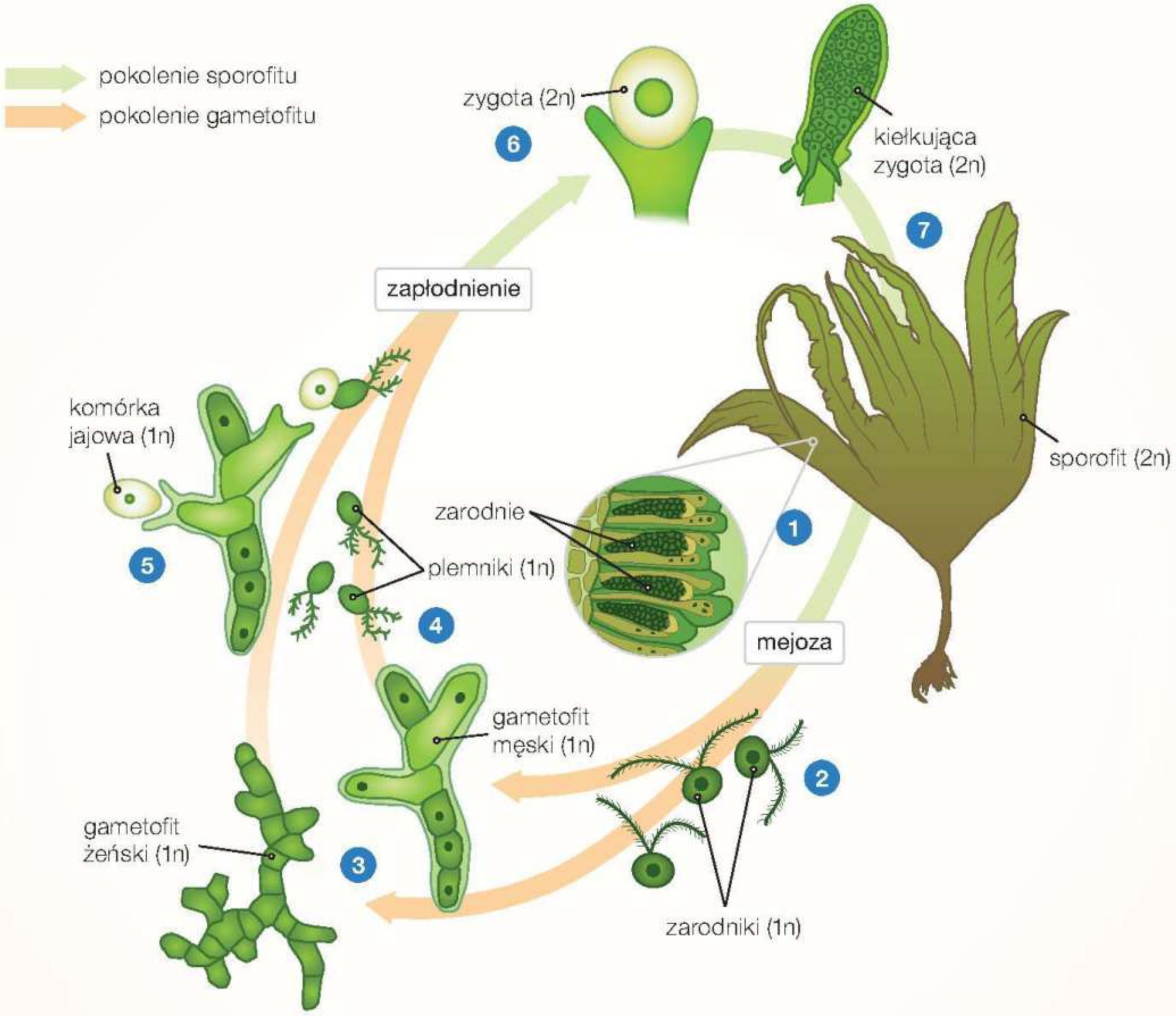
Koniugacja u pantofelków (obraz spod SEM).



1. W procesie koniugacji 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, a jedno dzieli się mitotycznie na dwa jądra potomne.
4. Komórki wymieniają się jądrami haploidalnymi.
5. Po zakończonej koniugacji w każdej komórce zachodzi fuzja jąder haploidalnych, która funkcjonalnie odpowiada procesowi zapłodnienia. W rezultacie powstaje jądro diploidalne.
6. Jądro diploidalne ulega trzem podziałom mitotycznym, przez co powstaje osiem jąder potomnych.
7. Cztery z ośmiu nowo powstałych jąder diploidalnych przekształcają się w makronukleusy, a cztery pozostałe – w mikronukleusy.
8. Zachodzi proces cytokinezy, w wyniku którego powstają cztery komórki potomne. Każda z nich ma jednego makronukleusa i jednego mikronukleusa.

Cykl rozwojowy listownicy

Listownica (*Laminaria*) 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.

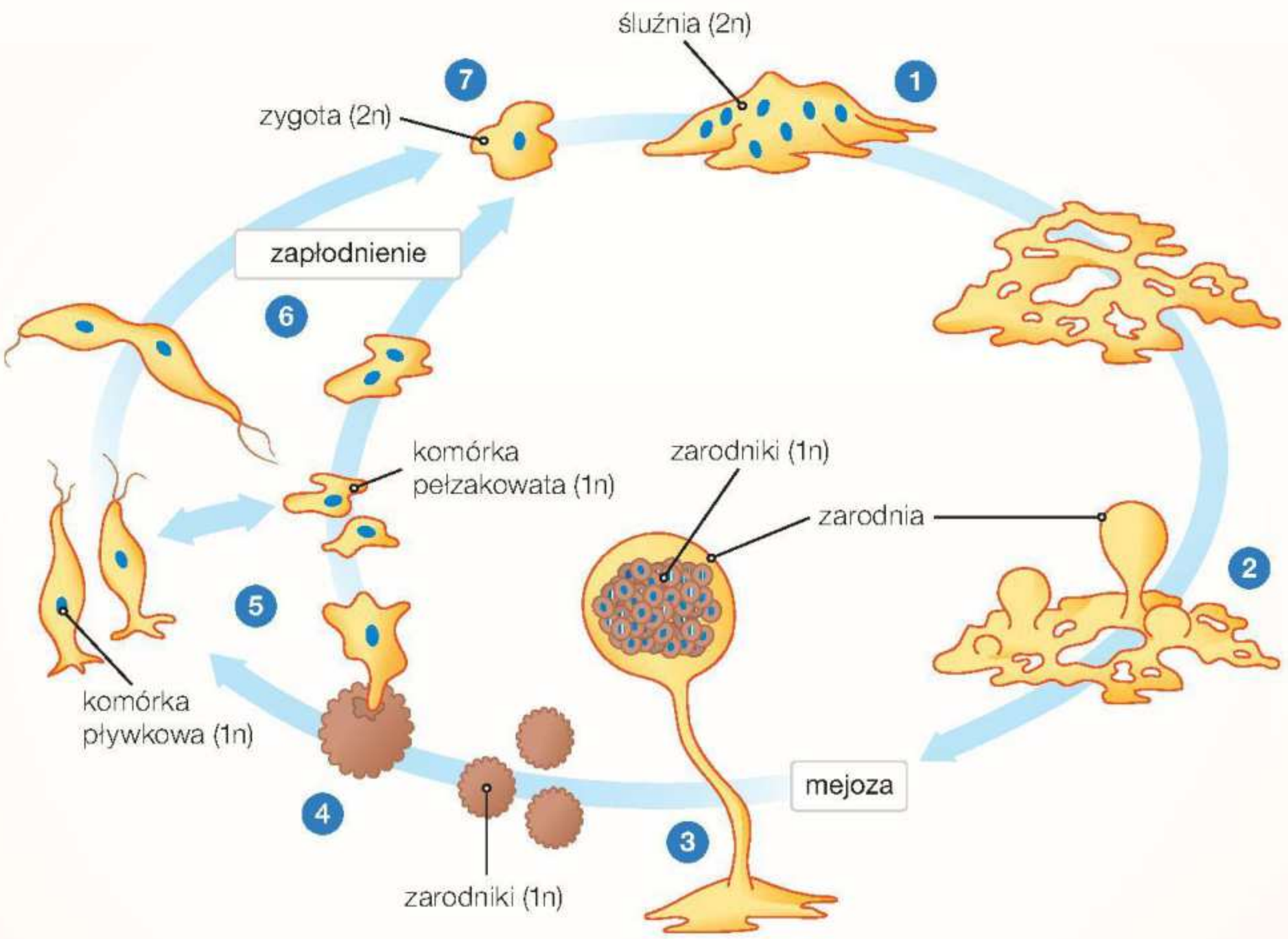


1. Diploidalna plecha sporofitu wytwarza zarodnie, w których znajdują się komórki macierzyste zarodników.
2. Komórki macierzyste zarodników ulegają mejozie. W jej wyniku powstają haploidalne dwuwiciowe zarodniki – zoospory.
3. Zarodniki kiełkują w haploidalne gametofity.
4. Gametofit męski wytwarza jednokomórkowe plemnie, w których powstają małe, opatrzone wiciami gamety męskie – plemniki.
5. Gametofit żeński wytwarza jednokomórkowe lęgnie, w których powstają duże, nieruchome 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 (*Physarum*) należy do protistów grzybopodobnych. Jego komórczakowa plecha, zwana śluźnią (plazmodium), rozwija się w środowisku bogatym w związki organiczne. Wykazuje ona zdolność powolnego ruchu pełzakowatego.

Kuliste zarodnie 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 i wytwarza komórczakową śluźnię.

Rozmnażanie bezpłciowe i płciowe

Protisty są taksonem parafiletycznym, w skład którego wchodzą organizmy blisko spokrewnione z roślinami, grzybami i zwierzętami. Z tego powodu sposoby rozmnażania zachodzące u protistów występują również u pozostałych grup eukariontów.

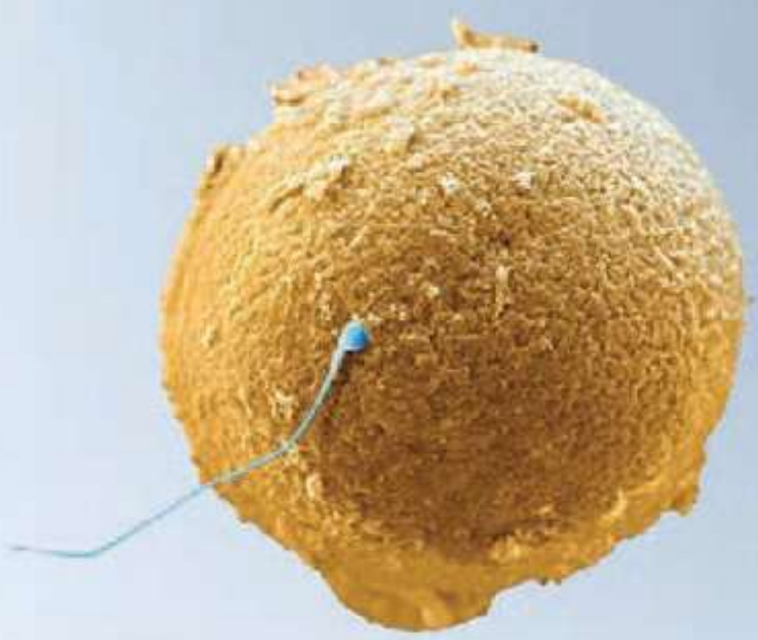
Rozmnażanie bezpłciowe

Jest to 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.

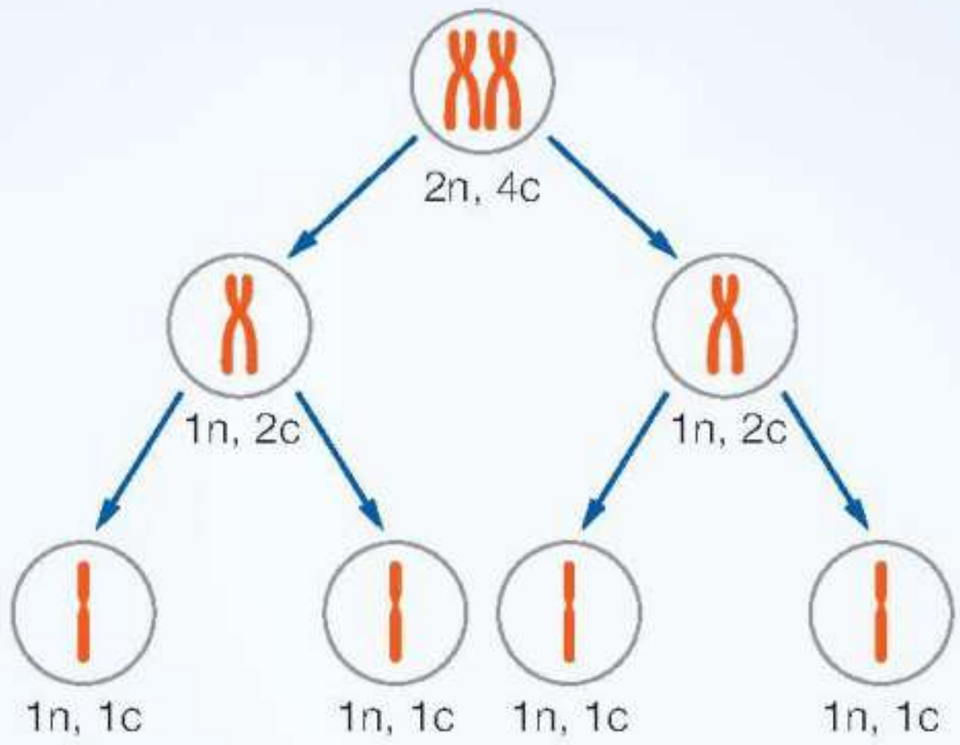
Jednym ze sposobów rozmnażania bezpłciowego jest pączkowanie, które zachodzi m.in. u stułbi (obraz spod SEM).

Rozmnażanie płciowe

Jest to 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.



Gamety (obraz spod SEM) to haploidalne komórki, które uczestniczą w zapłodnieniu.



Podczas mejozy zachodzi *crossing-over*, czyli wymiana odcinków chromatyd między chromosomami homologicznymi. Proces ten stanowi podstawę zróżnicowania genetycznego osobników w obrębie gatunku. Ponadto w trakcie mejozy dochodzi do redukcji liczby chromosomów z 2n do 1n.

Podczas zapłodnienia gamety osobników rodzicielskich łączą się, w wyniku czego powstaje zygota, a z niej – osobnik potomny o zmodyfikowanej kombinacji cech. Losowe łączenie się gamet pochodzących od różnych osobników jest dodatkowym źródłem zmienności genetycznej w obrębie gatunku.

Cykle rozwojowe organizmów eukariotycznych

Cykle rozwojowe wszystkich organizmów rozmnażających się płciowo obejmują zarówno mejozę, jak i zapłodnienie.

Mejoza postgamiczna
prowadzi do wytworzenia postaci troficznych lub mejospor.

Mejoza pregamiczna
prowadzi do wytworzenia gamet.

Mejoza pośrednia
prowadzi do wytworzenia mejospor.

Cykl rozwojowy z mejozą postgamiczną zachodzi m.in. u roślin pierwotnie wodnych, np. u zawłotni. W tym cyklu dominuje faza haploidalna (1n).

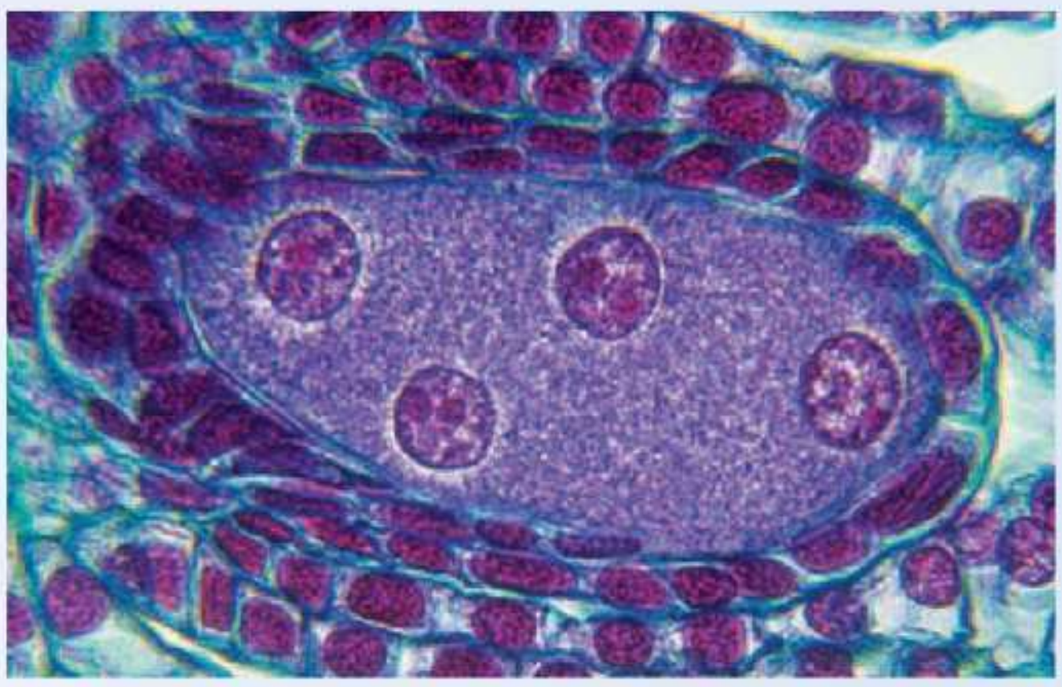
Cykl rozwojowy z mejozą pregamiczną zachodzi m.in. u zwierząt, np. u żaby. W tym cyklu dominuje faza diploidalna (2n).

Cykl rozwojowy z mejozą pośrednią zachodzi m.in. u roślin, np. u paproci. W tym cyklu występuje przemiana pokoleń – gametofitu (1n) i sporofitu (2n).

Krótka historia zarodnika

Nazwa zarodnik (spora) pochodzi z XIX w., kiedy sposoby rozmnażania się organizmów były słabo poznane. Terminem tym określano przede wszystkim struktury służące do bezpłciowego rozmnażania się eukariontów. Sytuacja skomplikowała się wraz z odkryciem, że niektóre zarodniki (mitospory) powstają w wyniku mitozy, a niektóre (mejospory) w wyniku mejozy. W drugiej połowie XX w. większość botaników i mykologów uznała mitospory za zarodniki uczestniczące w rozmnażaniu bezpłciowym, a mejospory za zarodniki uczestniczące w rozmnażaniu płciowym.

Mitospory (obraz spod SEM) powstają w wyniku mitozy. Są związane z rozmnażaniem bezpłciowym wielu protistów oraz grzybów.



Mejospory (obraz spod mikroskopu optycznego) powstają w wyniku mejozy. Są związane z rozmnażaniem płciowym wielu protistów oraz grzybów i roślin.

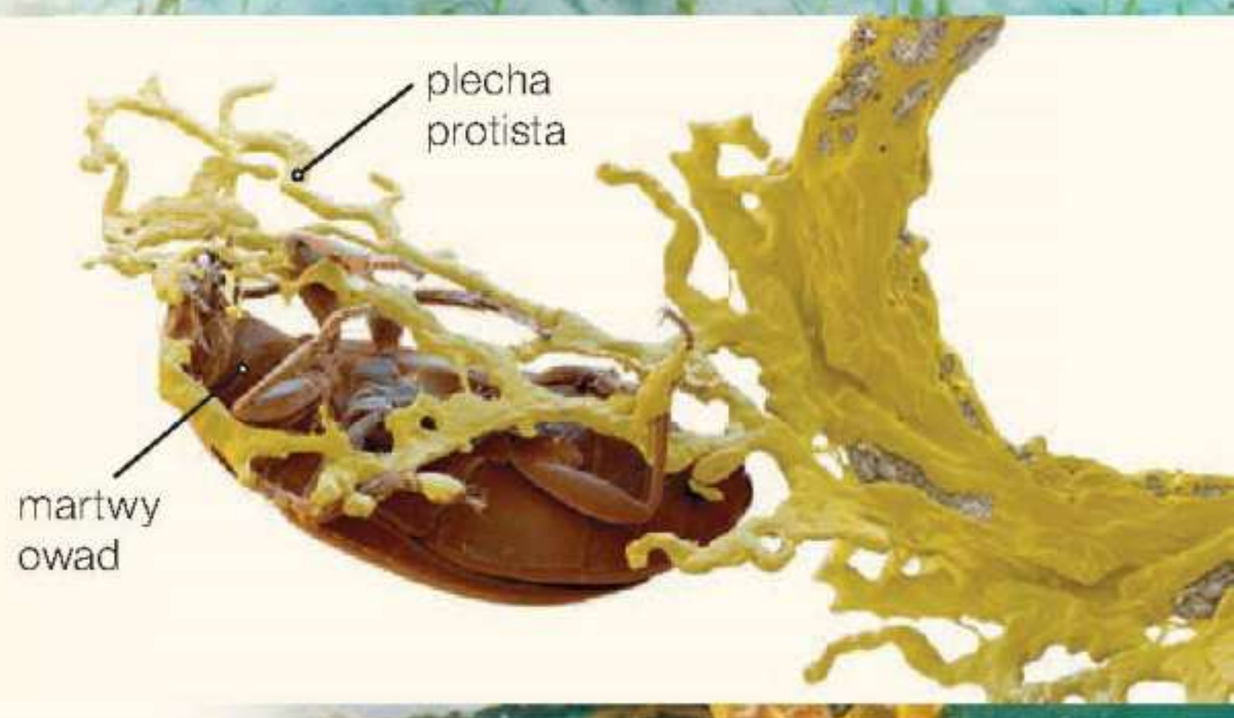
Znaczenie protistów w przyrodzie i dla człowieka

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 jest uwalniany tlen, który ulatnia się do atmosfery. Korzystają z niego wszystkie organizmy oddychające tlenowo.

Udział w rozkładzie martwej materii organicznej

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



Tworzenie siedlisk

Plechy dużych protistów roślinopodobnych porastające dno zbiorników wodnych tworzą siedliska dla zwierząt, m.in. dla ryb. Niektóre ryby, np. antenarius sargassowy (*Histrio histrio*), upodabniają się wyglądem do plech protistów, chroniąc się w ten sposób przed atakiem drapieżników.

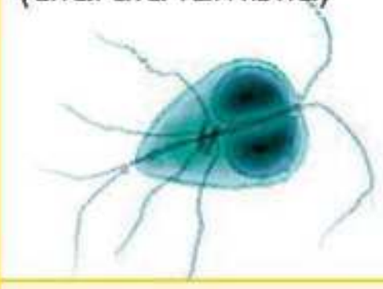
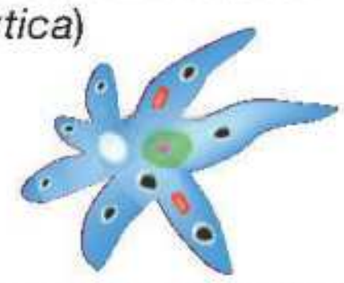
Tworzenie skał

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, rozpuszczone w wodzie, tworzą 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	jeden z czterech gatunków zarodźca (*Plasmodium*)	• ukłucie przez samicę komara widliszka	• odstraszanie lub zwalczanie komarów • stosowanie leków antymalarycznych przed wyjazdem 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 zakażonego protistem • zakażenie przez łożysko	• długotrwałe gotowanie mięsa oraz picie przegotowanego mleka • przestrzeganie zasad higieny • unikanie kontaktów z zakażonymi kotami
Czerwonka pełzakowata	pełzak czerwonki (*Entamoeba histolytica*) 	• droga pokarmowa	• przestrzeganie zasad higieny • dbanie o stan sanitarny wód

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. Wyjaśnij, dlaczego protisty żyjące w wodach słonych oraz protisty pasożytnicze nie potrzebują mechanizmów osmoregulacji.
4. Wymień organelle ruchu charakterystyczne dla protistów i scharakteryzuj sposób ich funkcjonowania.
5. Scharakteryzuj przebieg rozmnażania bezpłciowego i płciowego u przedstawicieli protistów jedno- i wielokomórkowych.

2.4. Grzyby – heterotroficzne beztkankowce

Zwróć uwagę na:
- różnorodność morfologiczną grzybów,
- budowę i czynności życiowe grzybów,
- cykle rozwojowe grzybów,
- znaczenie grzybów.

Grzyby to organizmy heterotroficzne, jednokomórkowe lub wielokomórkowe o budowie plechowej. Niektóre gatunki grzybów występują w zbiornikach wodnych, jednak większość zasiedla wilgotne środowiska lądowe o niewielkim nasłonecznieniu, temperaturze w zakresie 5–40°C oraz odpowiedniej zawartości materii organicznej.

Budowa komórek grzybów

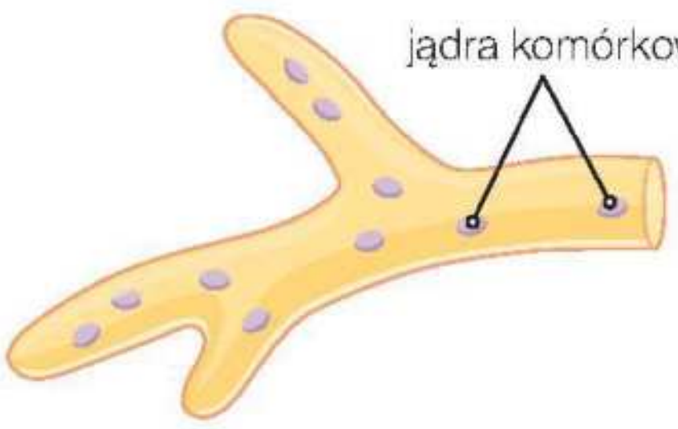
Komórki grzybów zawierają organelle typowe dla komórek eukariotycznych, np. jądro komórkowe czy mitochondria. Mają również cechy specyficzne, które odróżniają je od komórek zwierzęcych oraz roślinnych.

Komórki grzybów są otoczone ścianą komórkową, której głównym składnikiem jest **chityna**. Ich substancjami zapasowymi są **glikogen** oraz **tłuszcze**. W komórkach grzybów występują liczne **wakuole**. Magazynują one wodę i jony, a także substancje zapasowe oraz uboczne produkty przemiany materii. Często zawierają związki trujące, pełniące funkcję obronną, lub barwniki, które przywabiają zwierzęta uczestniczące w rozprzestrzenianiu się zarodników. Bardzo ważną funkcją wakuol grzybowych jest funkcja trawienna.

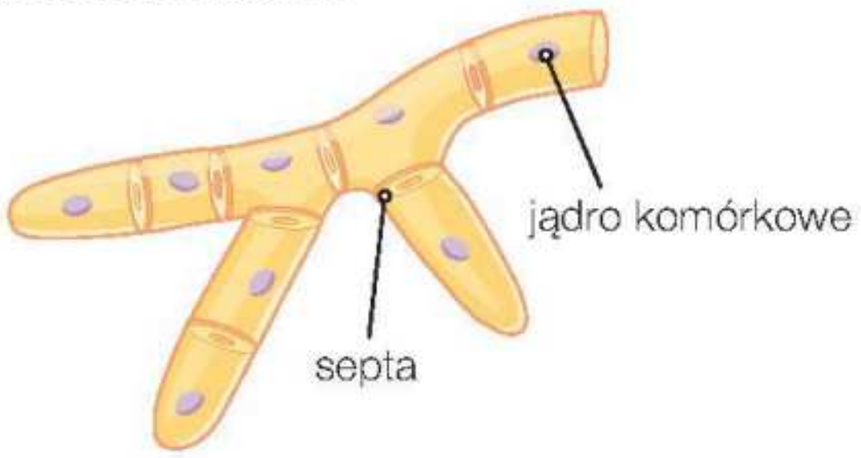
Grzyby jedno- i wielokomórkowe

Wśród grzybów występują organizmy jednokomórkowe, jednak większość z nich to organizmy wielokomórkowe o budowie plechowej. Plechy, zwane **grzybniami**, są zbudowane z długich, nitkowatych, prostych lub rozgałęzionych **strzępek**. 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. W zależności od gatunku grzyba komórki wchodzące w skład strzępek są wielojądrowe (komórczakowe), jednojądrowe lub dwujądrowe. 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.

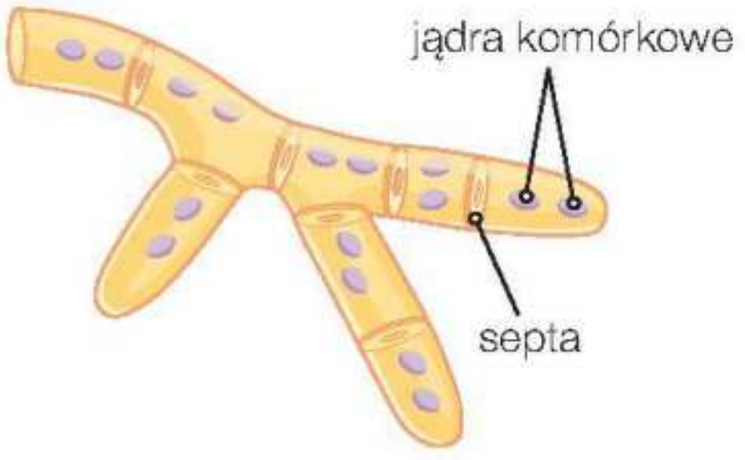
Rodzaje strzępek



Strzępka komórczakowa.



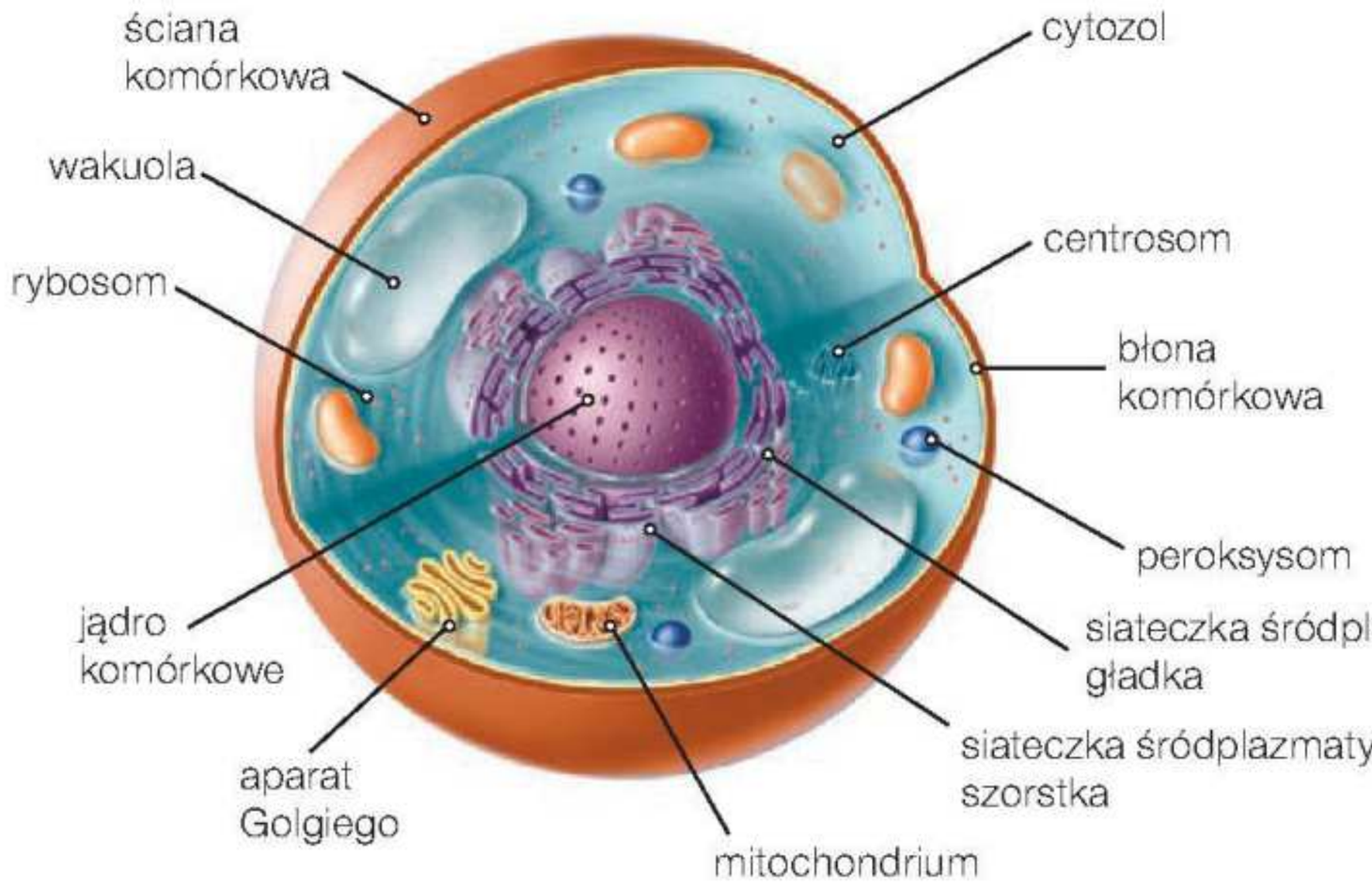
Strzępka wielokomórkowa jednojądrowa.



Strzępka wielokomórkowa dikariotyczna (dwujądrowa).

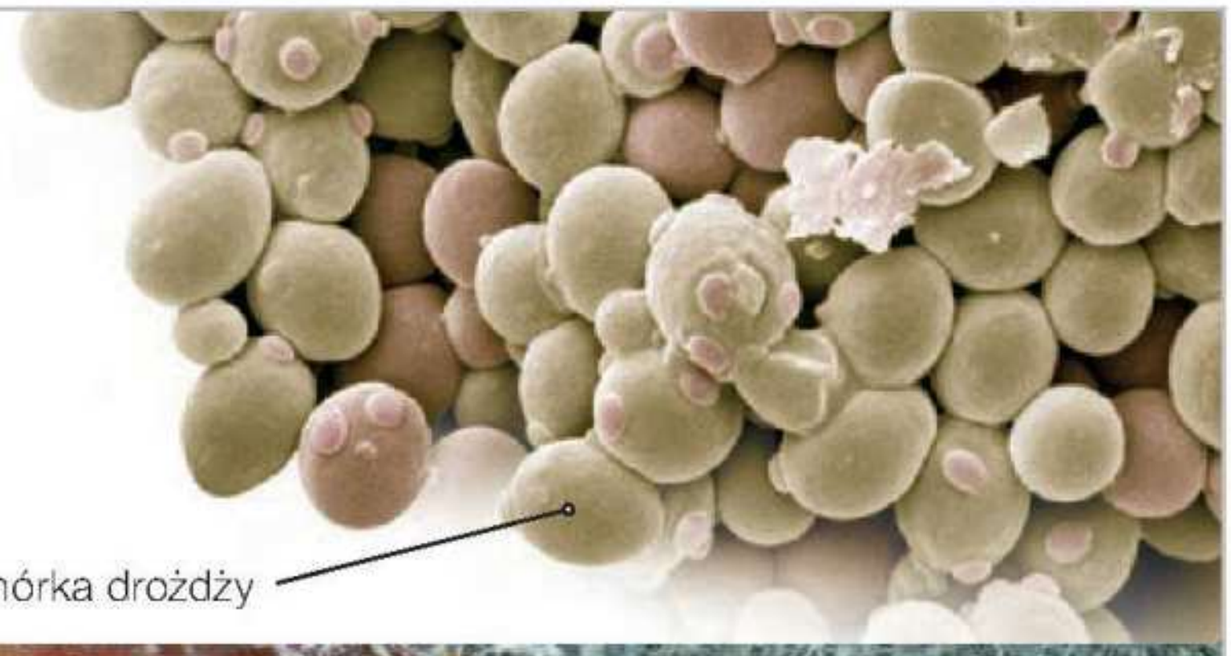
Przypomnij sobie

Budowa komórki grzybowej



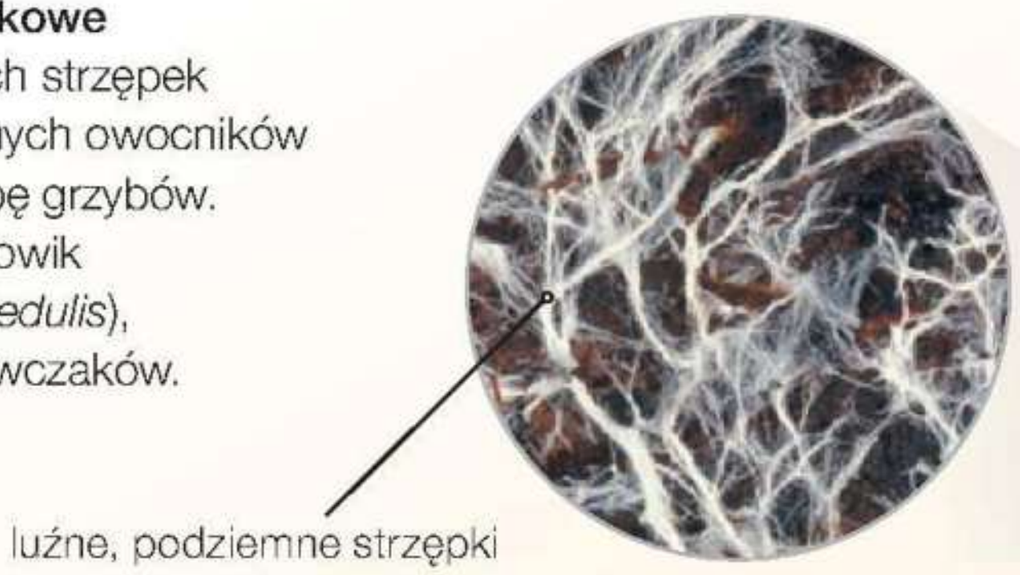
Formy morfologiczne grzybów

Formy jednokomórkowe są wśród grzybów stosunkowo nieliczne, a większość z nich może w pewnych warunkach wytwarzać grzybnie. Przykładem form jednokomórkowych są drożdże piekarskie (*Saccharomyces cerevisiae*), należące do workowców.



Formy wielokomórkowe zbudowane z luźnych strzępek stanowią liczną grupę grzybów i są potocznie nazywane pleśniami. Przykładem jest rozłożek czerniejący (*Rhizopus nigricans*), należący do sprzężniowych.

Formy wielokomórkowe zbudowane z luźnych strzępek i plektenchymatycznych owocników stanowią liczną grupę grzybów. Przykładem jest borowik szlachetny (*Boletus edulis*), należący do podstawczaków.



Odżywianie się grzybów

Wszystkie grzyby należą do **heterotrofów** odżywiających się **osmotroficznie**. Taki sposób odżywiania się polega na wydzielaniu do środowiska enzymów hydrolitycznych wakuol trawiennych, które rozkładają złożone związki organiczne do związków prostszych, rozpuszczalnych w wodzie. Produkty trawienia są następnie wchłaniane przez komórkę.

Wśród grzybów wyróżniamy:

- grzyby saprobiontyczne, które odżywiają się martwą materią organiczną,
- grzyby pasożytnicze, które atakują rośliny, zwierzęta, a nawet grzyby innych gatunków, wywołując niekiedy bardzo groźne choroby,
- 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 penetrują ich ciała, wydzielając enzymy trawiące ich tkanki.

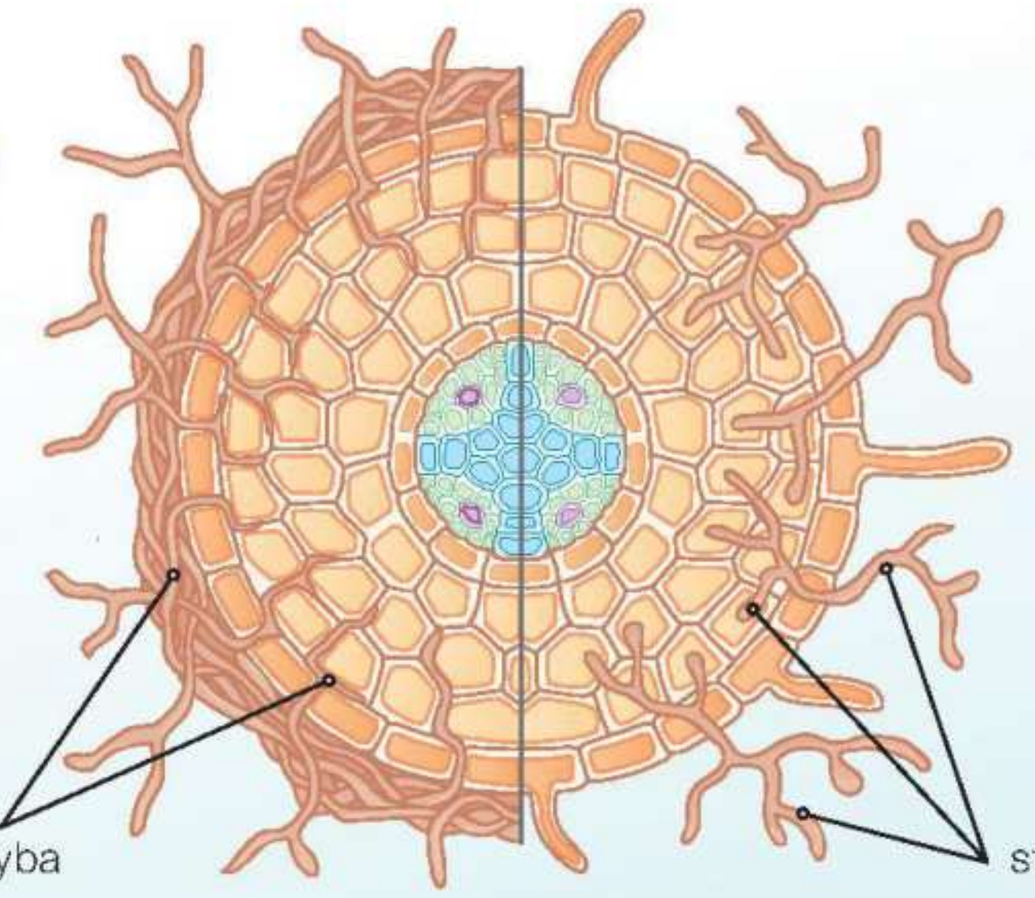
Oddychanie grzybów

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.

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;
- rozsiewaniu mitospor – zarodników powstałych w wyniku mitozy. Zarodniki mogą być komórkami nieruchliwymi – **aplanosporami** – lub ruchliwymi – **zoosporami**. Aplanospory są charakterystyczne dla grzybów lądowych, a zoospory dla grzybów wodnych.

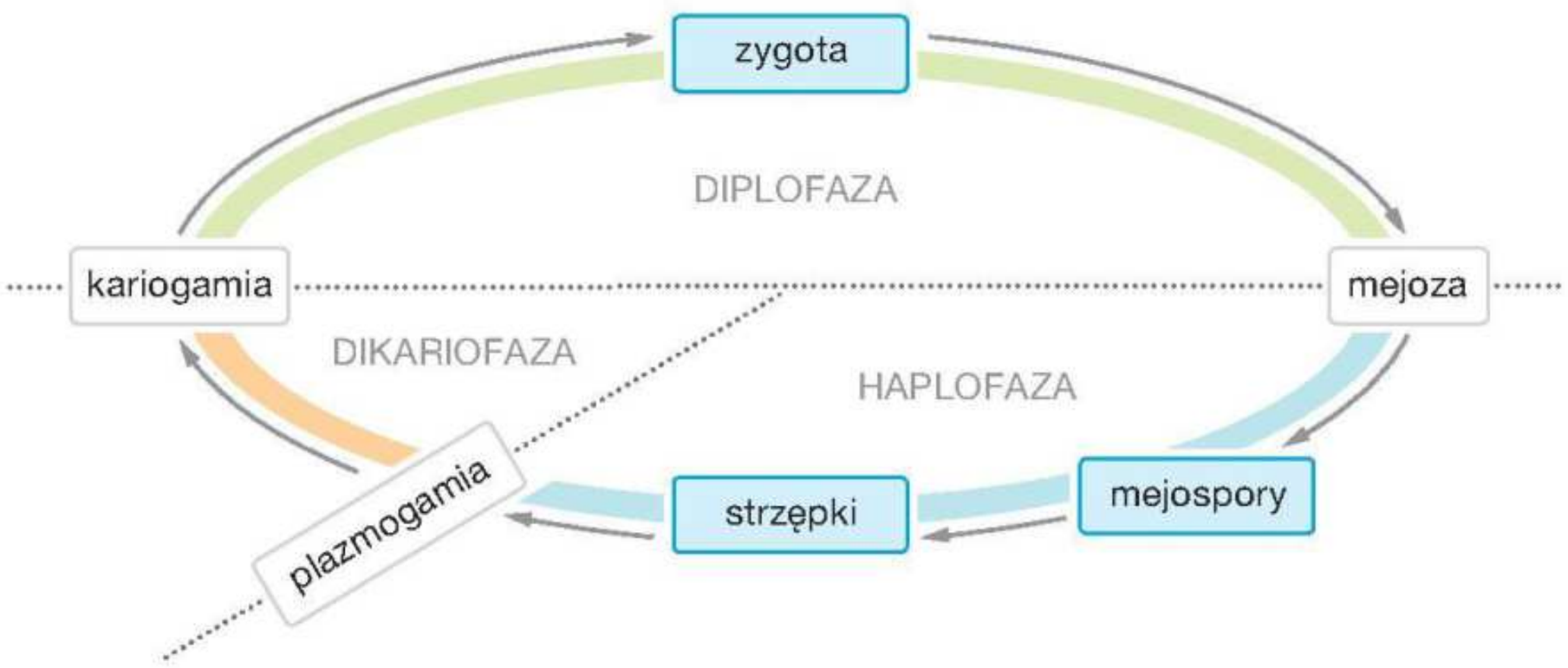
Pączkujące drożdże z rodzaju *Candida* (obraz spod SEM).

Rozmnażanie płciowe grzybów obejmuje zapłodnienie, w wyniku którego powstaje diploidalne jądro zygotyczne, oraz **mejozę**, w wyniku której powstają haploidalne zarodniki – **mejospory**.

U grzybów wyróżnia się następujące sposoby zapłodnienia:

- **gametogamię** – jest to łączenie się gamet, które może przyjmować postać izo-, anizo- lub oogamii. Gamety powstają w gametangiach, które są zróżnicowane na gametangia męskie – **plemnie** – i gametangia żeńskie – **lęgnie**. Gametogamia zachodzi np. u niektórych skoczkowych;
- **gametangiogamię** – polega ona na łączeniu się całych gametangiów. W procesie tym zawartość plemni przelewa się do lęgni. Gametangiogamia zachodzi np. u sprzężniowych i workowców;
- **somatogamię** – polega ona na łączeniu i zrastaniu się zróżnicowanych płciowo strzępek. Somatogamia zachodzi np. u podstawczaków.

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**. W związku z tym cykl rozwojowy obejmuje trzy fazy jądrowe: haplofazę (1n), dikariofazę (1n + 1n) oraz diplofazę (2n).



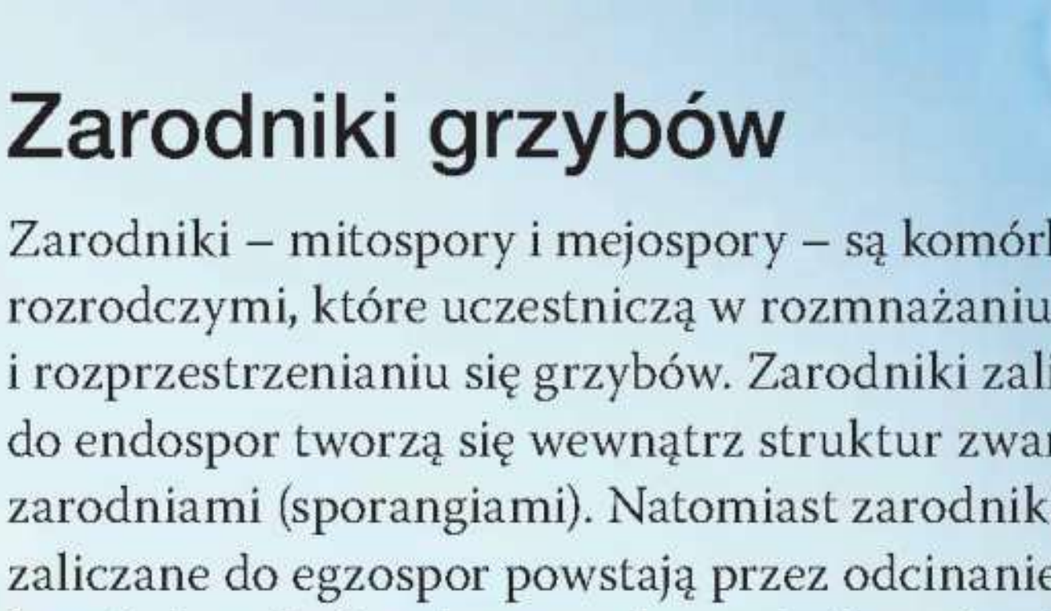
Schemat rozmnażania płciowego grzybów (nie uwzględniono długości trwania faz).

Zarodniki grzybów

Zarodniki – mitospory i mejospory – są komórkami rozrodczymi, które uczestniczą w rozmnażaniu i rozprzestrzenianiu się grzybów. Zarodniki zaliczane do endospor tworzą się wewnątrz struktur zwanych zarodniami (sporangiami). Natomiast zarodniki zaliczane do egzospor powstają przez odcinanie się komórek na końcach strzępek zarodnikonośnych.

Mitospory

Mitospory powstają w wyniku podziałów mitotycznych komórek macierzystych i uczestniczą w rozmnażaniu bezpłciowym.



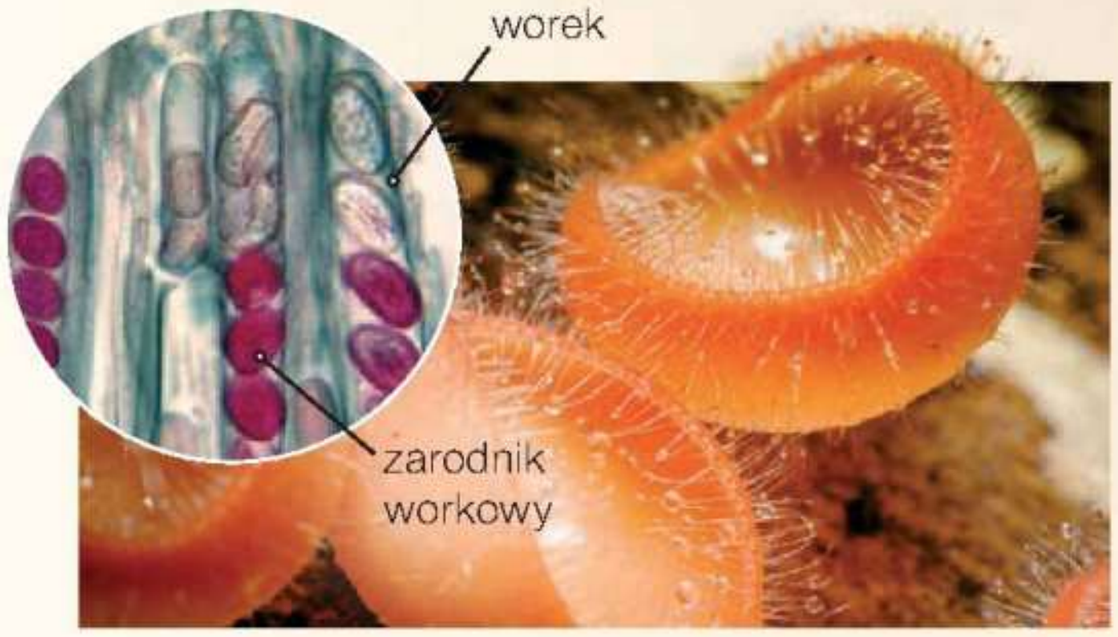
Zarodniki sporangialne, zaliczane do endospor, powstają w kulistych zarodniach, tworzących się na szczycie strzępek zarodnikonośnych. Są wytwarzane przez grzyby z typu sprzężniowych.

Zarodniki konidialne, zaliczane do egzospor, powstają przez odcinanie się pojedynczych komórek na końcach strzępek zarodnikonośnych. Są wytwarzane przez grzyby z typu workowców.

Zarodniki powstają często w plektenchymatycznych owocnikach.

Mejospory

Mejospory tworzą się w wyniku podziałów mejotycznych komórek macierzystych i uczestniczą w rozmnażaniu płciowym. U większości grzybów mejospory powstają w owocnikach, w obrębie tzw. hymenoforów zawierających hymenium – warstwę rodzajną. U grzybów z typu podstawczaków hymenofory mają postać blaszek (np. u pieczarek) lub rurek (np. u borowików).



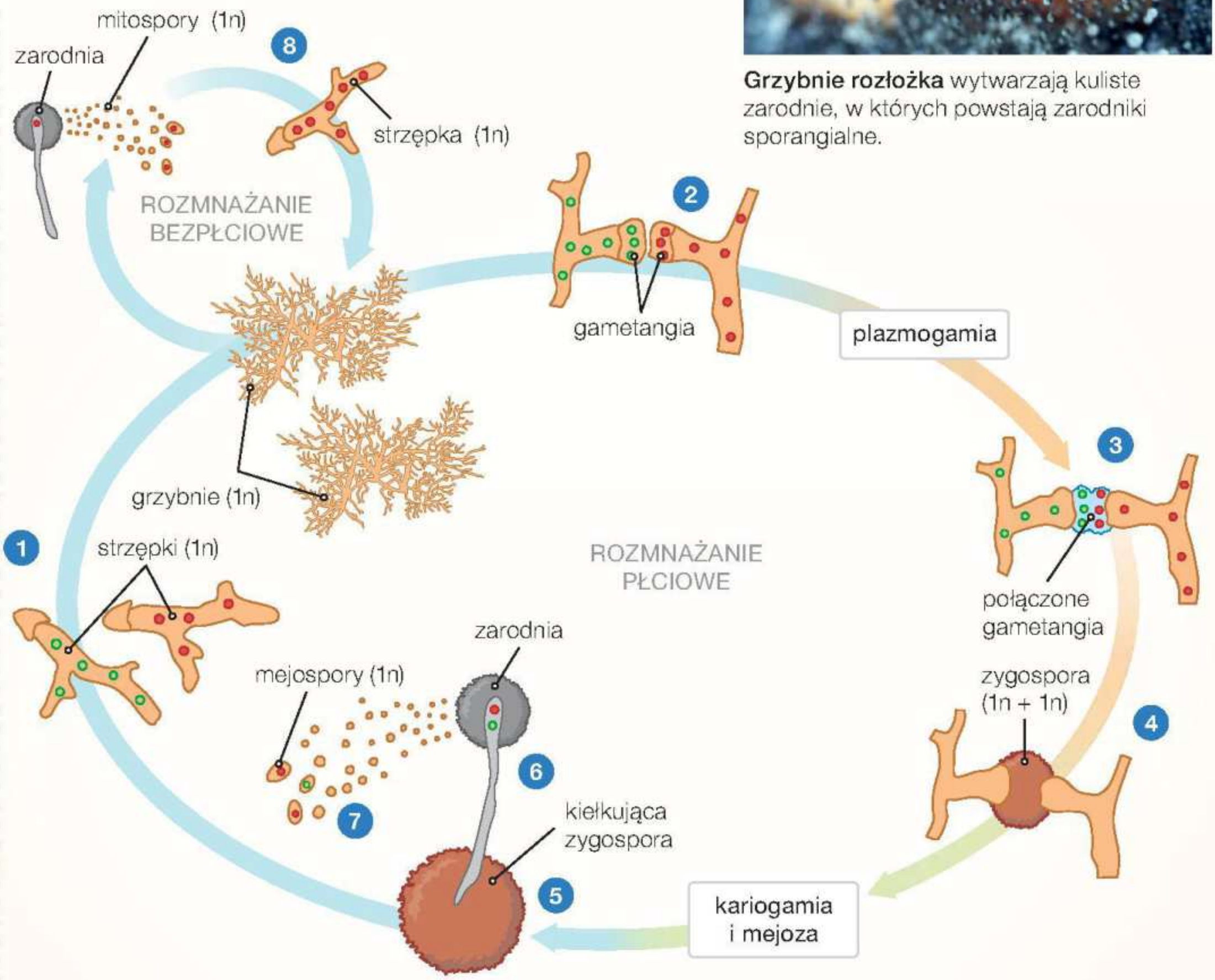
Zarodniki workowe, zaliczane do endospor, powstają w podłużnych zarodniach zwanych workami. Są wytwarzane przez grzyby z typu workowców.

Zarodniki podstawkowe, zaliczane do egzospor, powstają na specjalnych strukturach zwanych podstawkami. Są wytwarzane przez grzyby z typu podstawczaków.

Cykl rozwojowy sprzężniowych

Przedstawicielem typu sprzężniowych jest rozłożek czerniejący (*Rhizopus nigricans*) – saprobiontyczny grzyb powodujący pleśnienie różnych produktów spożywczych. Strzępki rozłożka są zbudowane z wielojądrowych, haploidalnych komórek. Są to więc strzępki komórczakowe.

Grzybnie rozłożka wytwarzają kuliste zarodnie, w których powstają zarodniki sporangialne.

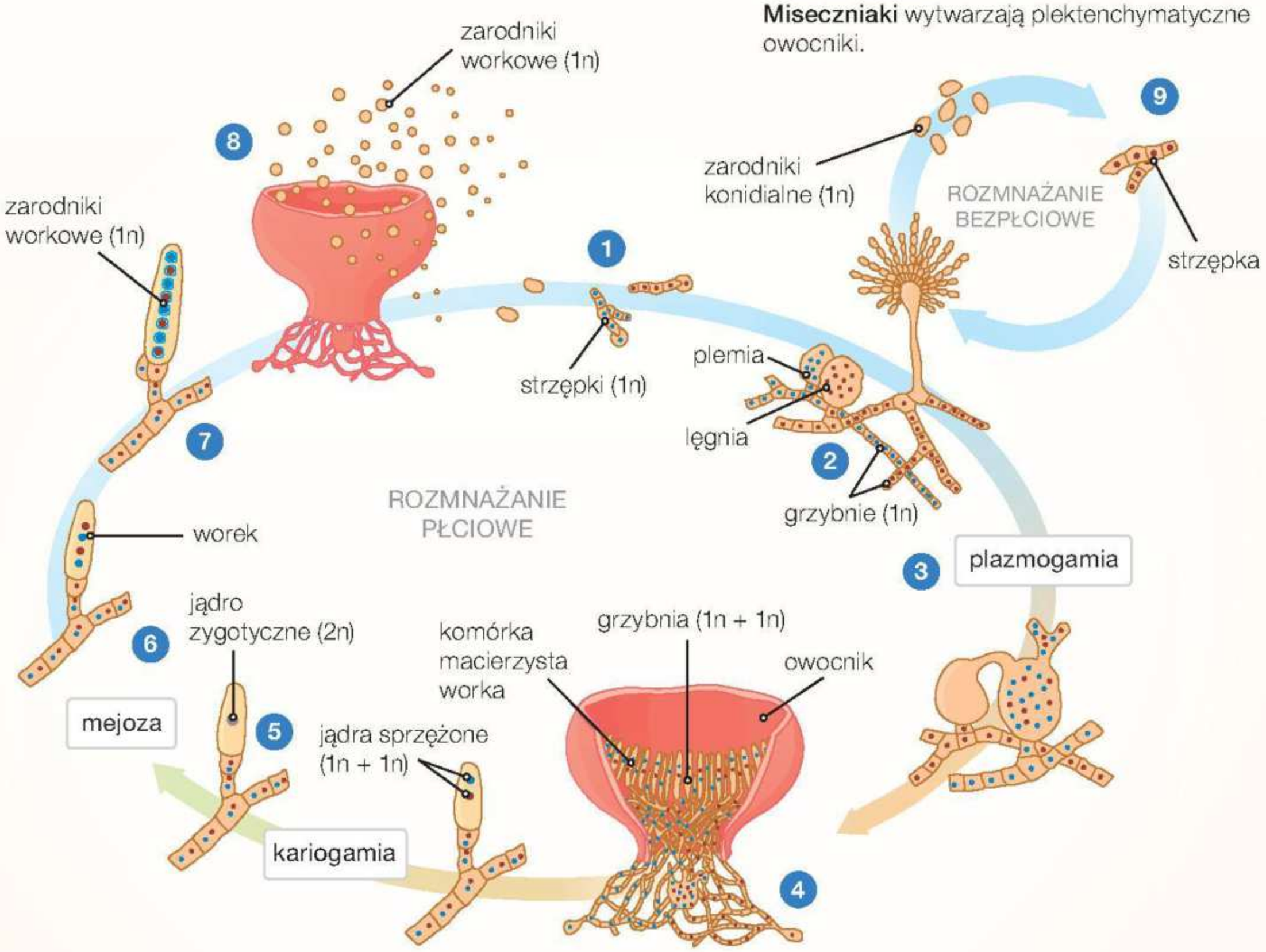


1. Z zarodników rozwijają się zewnętrznie identyczne, ale zróżnicowane płciowo (różnoimienne) grzybnie, zbudowane z wielojądrowych, haploidalnych strzępek.
2. Na końcach strzępek dwóch różnoimiennych grzybni powstają gametangia.
3. Zachodzi gametangiogamia, podczas której następuje rozpuszczenie ściany oddzielającej od siebie oba gametangia, a następnie plazmogamia, czyli połączenie się ich zawartości.
4. Powstaje zygospora – grubościenna zygota o charakterze przetrwalnikowym, która jest odporna na niekorzystne warunki środowiska. Różnoimienne jądra komórkowe zygoty układają się w pary jąder sprzężonych.
5. W sprzyjających warunkach w obrębie zygospory dochodzi do kariogamii różnoimiennych jąder, w wyniku której powstają jądra diploidalne.
6. Wkrótce po kariogamii diploidalne jądra zygospory dzielą się mejotycznie, a z zygospory wyrasta wielojądrowa haploidalna strzępka zakończona kulistą zarodnią zawierającą mejospory.
7. Mejospory wysypują się z zarodni.
8. Podczas rozmnażania bezpłciowego grzybnie wytwarzają kuliste zarodnie, w których powstają mitospory. Dają one początek nowym grzybniom.

Cykl rozwojowy workowców

Do workowców należy np. czarka szkarłatna (*Sarcoscypha coccinea*). Jej haploidalna grzybnia wytwarza owocniki, w których powstają strzępki dikariotyczne, a następnie worki z zarodnikami workowymi.

Miseczniaki wytwarzają plektenchymatyczne owocniki.

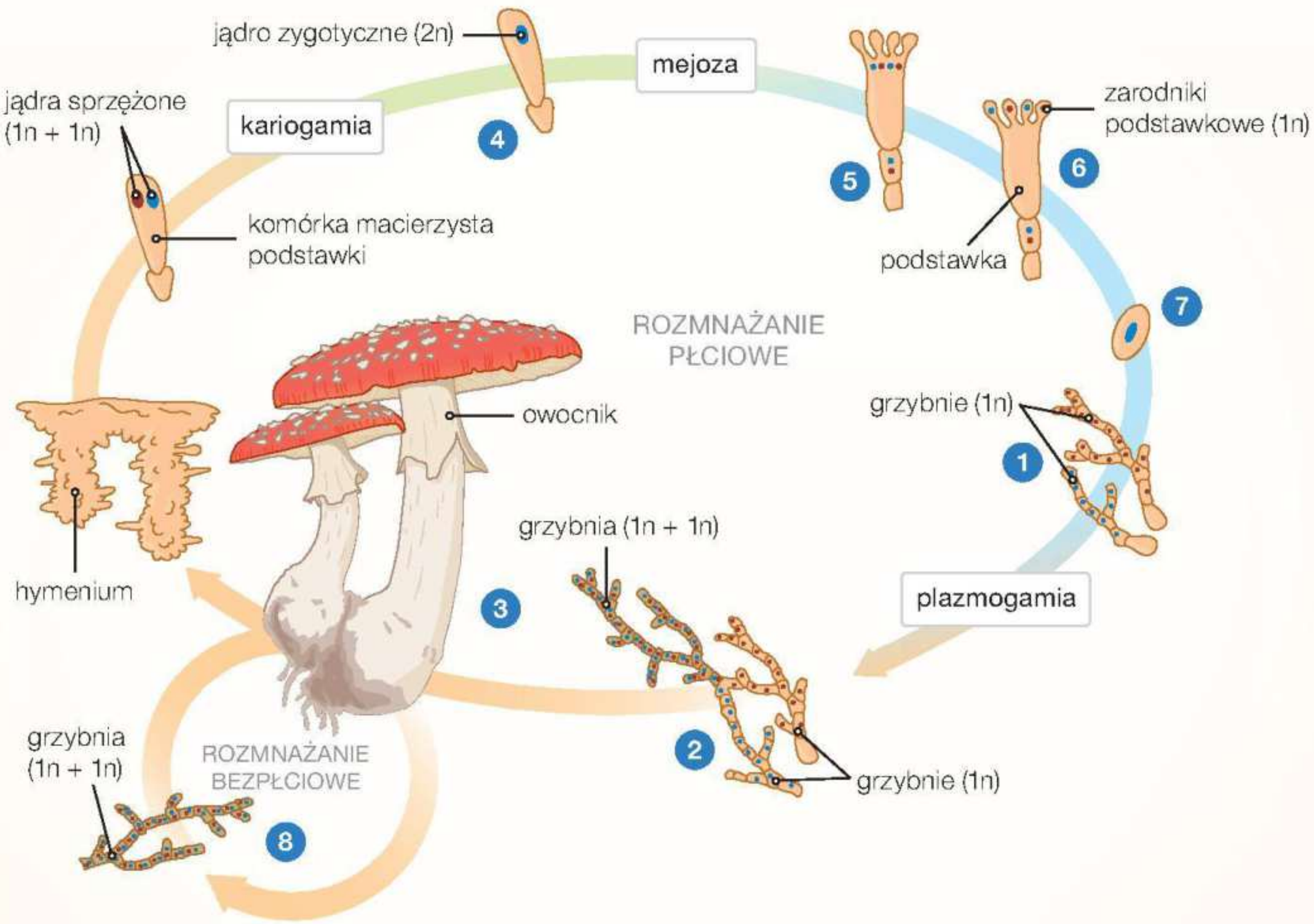


1. Z zarodników workowych wyrastają wielokomórkowe, haploidalne, zróżnicowane płciowo grzybnie.
2. Grzybnie wytwarzają gametangia męskie – plemnie – i gametangia żeńskie – lęgnie.
3. Podczas gametangiogamii dochodzi do przelania zawartości plemni do lęgni, a następnie do plazmogamii.
4. Zróżnicowane płciowo jądra układają się w pary jąder sprzężonych. Przemieszczają się one do strzępek wyrastających z zapłodnionej lęgni, tworząc grzybnię dikariotyczną.
5. W szczytowych komórkach strzępek, zwanych komórkami macierzystymi worków, następuje zlewanie się jąder sprzężonych, czyli kariogamia. W jej wyniku powstają diploidalne jądra zygotyczne.
6. Każde jądro zygotyczne przechodzi mejozę, dając początek czterem jądrom haploidalnym.
7. Pojedyncza komórka macierzysta worka przekształca się w wydłużoną zarodnię, nazywaną workiem. Jądra haploidalne worka dzielą się mitotycznie, dając ostatecznie osiem zarodników workowych.
8. Uwolnione z zarodni zarodniki workowe rozwijają się w nowe haploidalne grzybnie.
9. Podczas rozmnażania bezpłciowego grzybnie wytwarzają strzępki zarodnikonośne, na których powstają mitospory – konidia.

Cykl rozwojowy podstawczaków

Do podstawczaków należy m.in. muchomor czerwony (*Amanita muscaria*). Jego grzybnia jest początkowo zbudowana z haploidalnych komórek i nosi nazwę grzybni pierwotnej. Jej dalszy rozwój odbywa się, gdy zajdzie somatogamia. W wyniku tego procesu powstaje długotrwała, dikariotyczna forma grzybni, zwana grzybnią wtórną. Wytwarza ona owocniki, w których powstają zarodniki podstawkowe.

Owocniki muchomora składają się z kapelusza oraz trzonu. Spód kapelusza tworzy hymenofor w postaci blaszek.



1. Z zarodników podstawkowych wyrastają wielokomórkowe, haploidalne, zróżnicowane płciowo grzybnie.
2. Zachodzi somatogamia, czyli połączenie się dwóch różnopłciowych strzępek należących do dwóch haploidalnych grzybni. W jej wyniku dochodzi do plazmogamii. Powstaje komórka z parą jąder sprzężonych. Komórka ta daje początek grzybni dikariotycznej.
3. Grzybnia silnie się rozrasta, jej strzępki splatają się, tworząc owocniki.
4. W szczytowych komórkach niektórych strzępek, zwanych komórkami macierzystymi podstawek, dochodzi do kariogamii. W efekcie powstają diploidalne jądra zygotyczne.
5. Każde jądro zygotyczne dzieli się mejotycznie na cztery jądra haploidalne.
6. Pojedyncza komórka macierzysta podstawki wytwarza cztery wyrostki, do których wnikają jądra haploidalne. Dają one początek zarodnikom podstawkowym.
7. Zarodniki odrywają się od podstawek i kiełkują w nowe grzybnie.
8. Rozmnażanie bezpłciowe zachodzi przez fragmentację grzybni.

Znaczenie grzybów 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 powodują psucie się produktów żywnościowych, niszczenie drewna oraz materiałów skórzanych, wełnianych i bawełnianych.

Udział we wzroście i 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. Innym pospolitym przykładem symbiozy, w której uczestniczą grzyby, są porosty.

Źródło pokarmu dla innych organizmów

Grzyby stanowią pokarm wielu zwierząt, w tym ludzi. Ich wartość energetyczna jest niewielka, zawierają jednak liczne witaminy (B_1, B_2, PP, A, D) i sole mineralne. Występująca w ich ścianach komórkowych chityna poprawia perystaltykę przewodu pokarmowego.

Zastosowanie w przemyśle spożywczym

Grzyby przeprowadzające fermentację są wykorzystywane do produkcji artykułów spożywczych. Drożdże piekarskie (*Saccharomyces cerevisiae*) wykorzystuje się do produkcji piwa i wina oraz w piekarnictwie do spulchniania ciasta. Pewne gatunki pędzlaka (m.in. *Penicillium camembertii*, *Penicillium roquefortii*) są wykorzystywane do produkcji serów.

Zastosowanie w przemyśle farmaceutycznym i biotechnologii

W przemyśle farmaceutycznym z grzybów otrzymuje się antybiotyki (m.in. penicylinę i cefalosporyny). Komórki drożdży, poddane genetycznej modyfikacji, używane są do syntezy białek o znaczeniu leczniczym.

Grzyby pasożytnicze

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

- **Do grzybów atakujących rośliny uprawne** należy m.in. rdza źdźbłowa (*Puccinia graminis*). 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 (*Armillaria mellea*).

- **U zwierząt hodowlanych** grzyby pasożytnicze wywołują grzybice skóry, błon śluzowych lub narządów wewnętrznych.

- **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.

Polecenia kontrolne

1. Omów różne sposoby odżywiania się i oddychania grzybów.
2. Podaj dwa przykłady bezpłciowego rozmnażania się grzybów.
3. Określ różnicę między mitosporami a mejosporami oraz między egzosporami a endosporami.
4. Wyjaśnij pojęcie *przemiana faz jądrowych* oraz wskaż fazę dominującą w cyklu rozwojowym sprzężniowych, workowców i podstawczaków.
5. Na podstawie dostępnych źródeł przygotuj prezentację dotyczącą dróg zakażenia człowieka grzybami chorobotwórczymi oraz zasad profilaktyki grzybic. W prezentacji uwzględnij grzybice skóry, narządów płciowych oraz płuc.

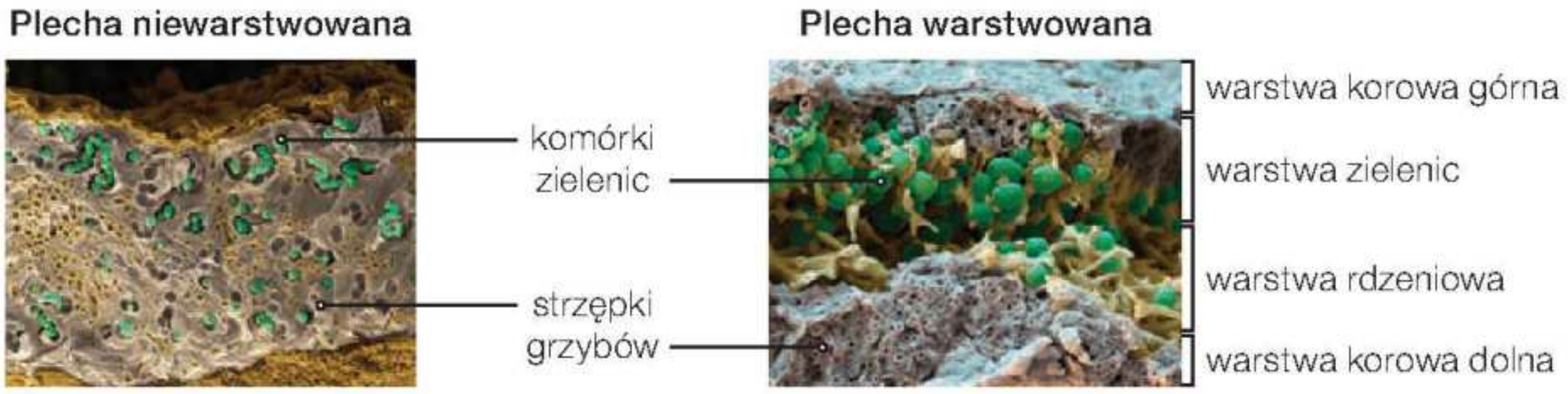
2.5. Porosty – organizmy dwuskładnikowe

Zwróć uwagę na:
- budowę porostów,
- rolę porostów jako organizmów wskaźnikowych,
- znaczenie porostów.

Porosty to organizmy o budowie plechowej. Są nazywane **organizmami dwuskładnikowymi**, ponieważ budują je strzępki grzybów oraz komórki zielenic lub sinic. Porosty można spotkać zarówno w strefie arktycznej, jak i w wilgotnych lasach równikowych. Mają one 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.

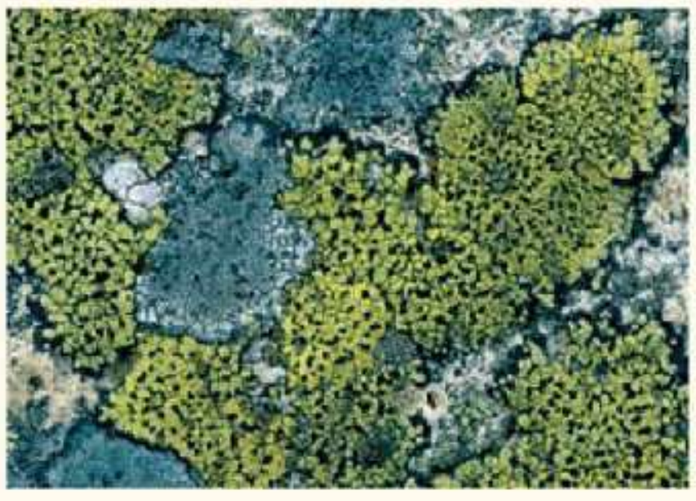
Budowa plech porostów

Porosty to organizmy zbudowane ze strzępek workowców, rzadziej podstawczaków, oraz z komórek zielenic – roślin pierwotnie wodnych – lub sinic – fotosyntetyzujących bakterii. Strzępki grzyba są ciasno splecione i tworzą nibytkankę. Między strzępkami znajdują się komórki zielenic lub sinic. U niektórych porostów zielenice lub sinice są rozmieszczone równomiernie w obrębie całej plechy (plecha niewarstwowana), u innych są skupione w wyraźną warstwę (plecha warstwowana).



Rodzaje plech porostów

Ze względu na budowę morfologiczną u porostów wyróżniono trzy główne rodzaje plech: skorupiaste, listkowate i krzaczkowate.



Plecha skorupiasta wzorca geograficznego (*Rhizocarpon geographicum*) jest silnie spłaszczona i w całości przylega do podłoża.

Plecha listkowata złotorostu ściennego (*Xanthoria parietina*) jest mniej lub bardziej spłaszczona i przylega do podłoża tylko w kilku miejscach.

Plecha krzaczkowata mąkli tarniowej (*Evernia prunastri*) jest rozgałęziona i słabo związana lub niezwiązana z podłożem.

Rozmnażanie się porostów

Porosty rozmnażają się wyłącznie bezpłciowo. Wykorzystują do tego celu specjalne struktury plechy nazywane **rozmnóżkami**.

Same grzyby wchodzące w skład porostów mogą się rozmnażać płciowo we właściwy dla siebie sposób.

Związek między składnikami porostu

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.

Do niedawna wzajemne relacje grzybów z zielenicami i sinicami uznawano za obustronnie korzystne, jednak ostatnie badania wskazują 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 nie wchodzą ze sobą w związki symbiotyczne. Ich zdaniem porosty stanowią przykład pasożytnictwa grzyba na organizmie fotosynetyzującym.

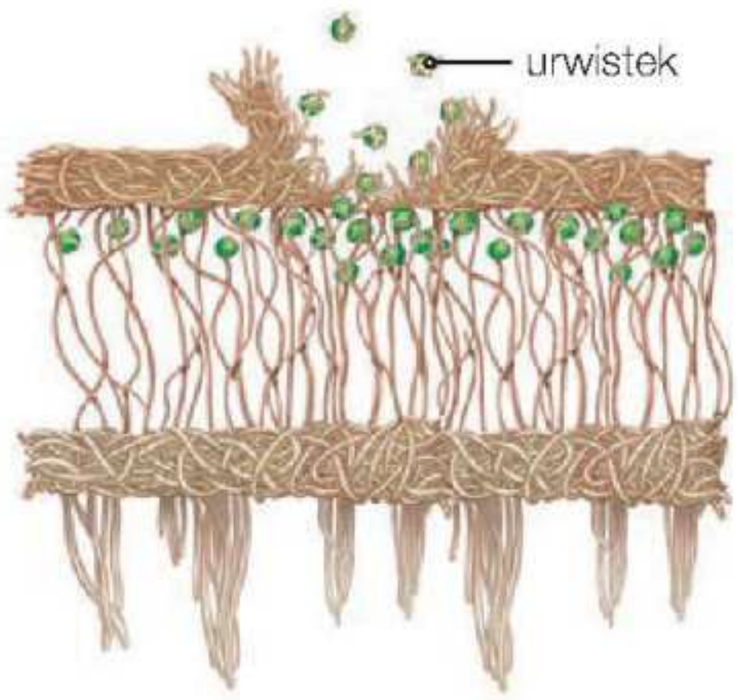
Grzyby wchodzące w skład porostu wytwarzają owocniki, w których powstają zarodniki workowe lub podstawkowe.

Porosty jako gatunki wskaźnikowe

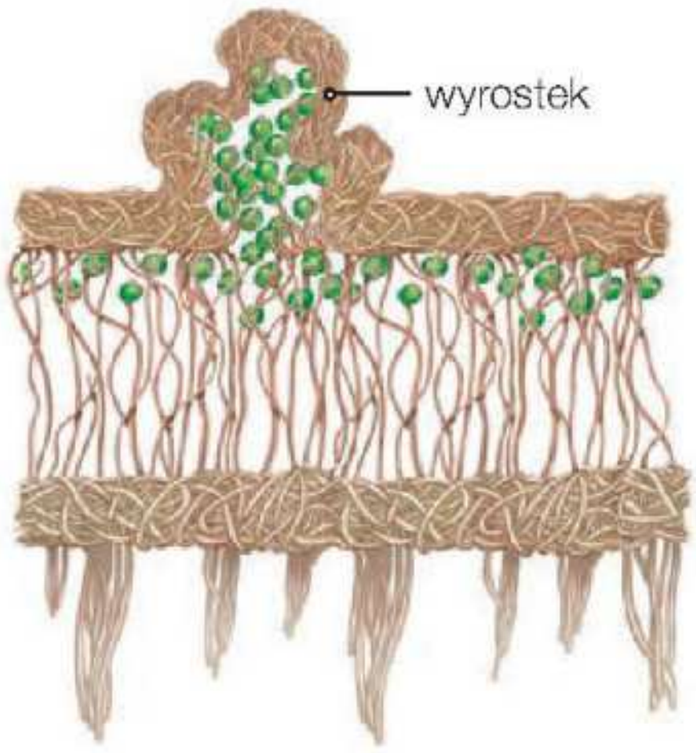
Na podstawie obecności określonych gatunków porostów nadrzewnych można ocenić stopień zanieczyszczenia powietrza tlenkiem siarki(IV) – SO_2 – na danym obszarze. W tym celu stosuje się skalę porostową. Dzieli się ona na siedem stref. Każda strefa porostowa to obszar o określonym stężeniu SO_2 w powietrzu, na którym żyje charakterystyczny dla niej gatunek porostu.

Rozmnóżki porostów

Porosty wytwarzają dwa typy rozmnóżek: urwistki i wyrostki.



Urwistki formują się wewnątrz plechy i wydostają się przez jej pęknięcia. Zawierają od jednej do kilku komórek zielenic lub sinic otoczonych strzępkami grzyba.



Wyrostki są większe od urwistków, ale zbudowane z tych samych elementów. Powstają na powierzchni plechy jako kruche i łatwo odłamujące się uwypuklenia.

Znaczenie porostów w przyrodzie i dla człowieka

Udział w procesach glebotwórczych

Porosty często jako pierwsze zasiedlają nowe środowiska. Rosną np. na nagich skałach, gdzie uczestniczą w tworzeniu się gleby. Dopiero na przygotowanym przez nie podłożu mogą rozwijać się rośliny. Dlatego porosty są nazywane **organizmami pionierskimi**.

Źródło pokarmu dla innych organizmów

Porosty stanowią pokarm wielu zwierząt, w tym ludzi. Największe znaczenie mają na obszarach tundry, gdzie żywią się nimi m.in. ssaki kopytne.

Bioindykatory

Porosty nadrzewne stosuje się w bioindykacji – na podstawie ich występowania ocenia się stan czystości powietrza. Na przykład granicznik płucnik (*Lobaria pulmonaria*) występuje wyłącznie na terenach o bardzo czystym powietrzu.

Zastosowanie w przemyśle chemicznym

Orselkę barwierską (*Roccella tinctoria*) wykorzystuje się do wytwarzania lakmusu – barwnika używanego w pracowniach i laboratoriach chemicznych. Barwnik ten występuje głównie w postaci papierków wskaźnikowych, które zmieniają zabarwienie pod wpływem zmian pH roztworu.

Zastosowanie w przemyśle farmaceutycznym

Niektóre porosty, m.in. płucnicę islandzką (*Cetraria islandica*), wykorzystuje się w przemyśle farmaceutycznym do produkcji środków wykrztuśnych i nawilżających błonę śluzową dróg oddechowych.

Polecenia kontrolne

1. Przedstaw budowę, środowisko i sposób życia porostów.
2. Na podstawie dostępnych źródeł przygotuj prezentację na temat porostów jako bioindykatorów.

Podsumowanie

1 Systematyka i jej zadania

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

Zadania systematyki:
- opisanie, nazwanie i sklasyfikowanie wszystkich organizmów – zarówno współcześnie żyjących, jak i wymarłych,
- zbudowanie naturalnego systemu klasyfikacji, opartego na ewolucyjnym pokrewieństwie organizmów.

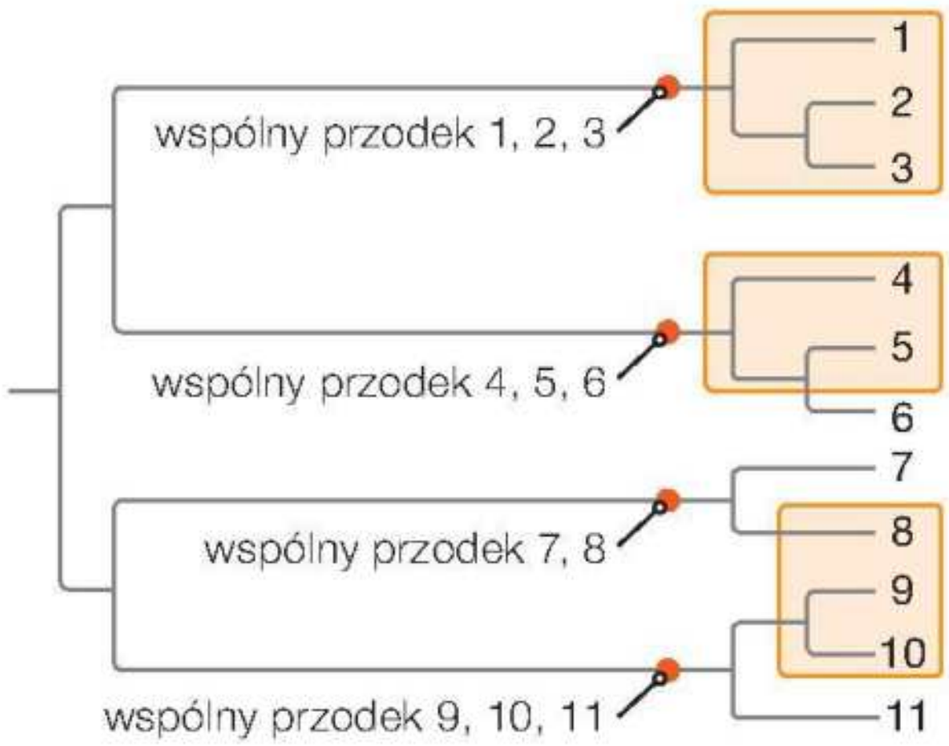
2 Zasady klasyfikacji biologicznej

- Przy tworzeniu nazw gatunkowych obowiązuje nazewnictwo binominalne (dwuimienne). Pierwszy człon nazwy to nazwa rodzajowa, a drugi – nazwa gatunkowa.
- Przy nadawaniu nazw gatunkowych obowiązuje reguła priorytetu – pierwszeństwo ma ta nazwa gatunkowa, która została nadana gatunkowi najwcześniej.
- W opisie każdego gatunku wyznacza się okaz typowy, który jest wzorcem gatunku.
- Po opisaniu i nazwaniu danego gatunku klasyfikuje się go do odpowiednich taksonów wyższych kategorii taksonomicznych.

3 Systemy klasyfikacji organizmów

Systemy sztuczne	System naturalny
Klasyfikacja organizmów jest oparta na intuicyjnie dobranych kryteriach, np. wybranych cechach morfologicznych, anatomicznych lub fizjologicznych. W tej klasyfikacji wykorzystuje się dwie metody: • metodę logicznego podziału – rozpatruje się wybrane, pojedyncze cechy organizmów, • metodę fenetyczną – rozpatruje się wszechstronne podobieństwo cech organizmów.	Klasyfikacja organizmów jest oparta na analizie morfologicznej, anatomicznej lub fizjologicznej, a następnie potwierdzona badaniami molekularnymi. Na podstawie tej klasyfikacji tworzy się drzewa rodowe (drzewa filogenetyczne), które przedstawiają rozwój rodowy (filogenezę). Gałęzie drzewa rodowego to linie rozwojowe (linie filetyczne), czyli grupy organizmów mające wspólnego przodka.

4 Rodzaje taksonów



Takson monofiletyczny (klad) – grupa naturalna. Wywodzi się od jednego przodka i obejmuje wszystkich jego potomków, np. ssaki.

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

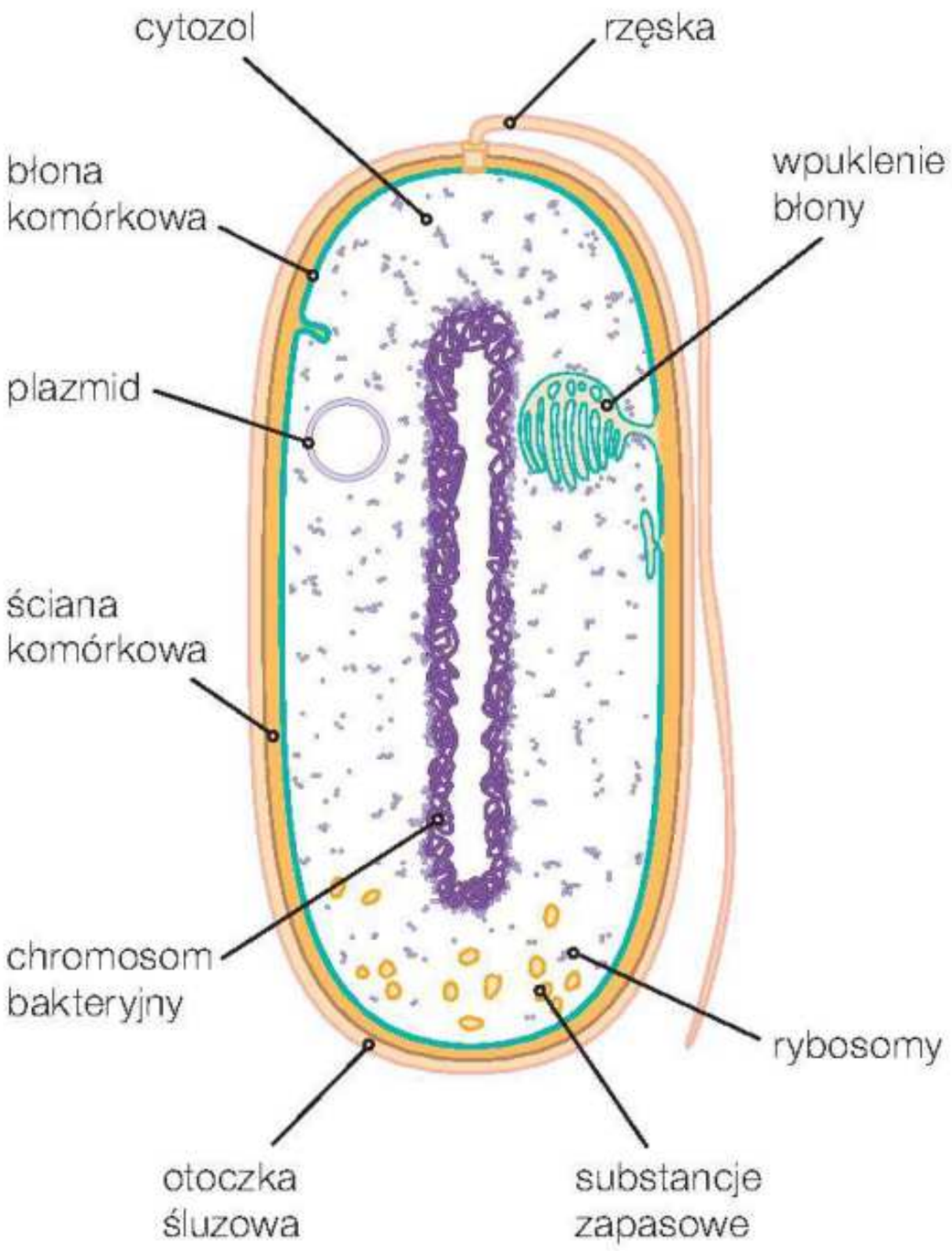
Takson polifiletyczny – grupa sztuczna. Wywodzi się od różnych przodków i obejmuje organizmy bardzo daleko ze sobą spokrewnione, np. glony.

5 Porównanie organizmów prokariotycznych

Cecha	Organizmy prokariotyczne	
	bakterie (Bacteria)	archeowce (Archaea)
Białka związane z DNA	DNA nawinięty na zasadowe białka niehistonowe.	DNA nawinięty na zasadowe białka histonowe.
Geny	Geny nie zawierają odcinków niekodujących.	Geny zawierają często odcinki niekodujące.
Lipidy błonowe	Kwasy tłuszczowe proste, połączone z resztą glicerolu wiązaniami estrowymi.	Kwasy tłuszczowe rozgałęzione, połączone z resztą glicerolu wiązaniami eterowymi.
Ściana komórkowa	Zbudowana głównie z peptydoglikanu – mureiny. Dodatkowo może być osłonięta błoną zewnętrzną.	Nie zawiera peptydoglikanów. Dodatkowo może być osłonięta ochronną warstwą S, zbudowaną z białek.

6 Elementy budowy komórki bakteryjnej

- Ściana komórkowa – jest zwykle obecna, 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, uczestniczące w koniugacji.
- Rzęski – są zakotwiczone w błonie i ścianie komórkowej, umożliwiają bakterii ruch.
- Cytozol – wypełnia wnętrze bakterii.
- Materiał genetyczny – jest nim chromosom bakteryjny, który zawiera geny niezbędne do życia bakterii. W cytozolu obecne są też plazmidy, które zawierają geny przydatne, ale niekonieczne do przeżycia.
- Rybosomy – uczestniczą w biosyntezie białek, ich stała sedymentacji wynosi 70 S.
- Tylakoidy – uczestniczą w fotosyntezie. Są obecne wyłącznie u bakterii fotosyntetyzujących.

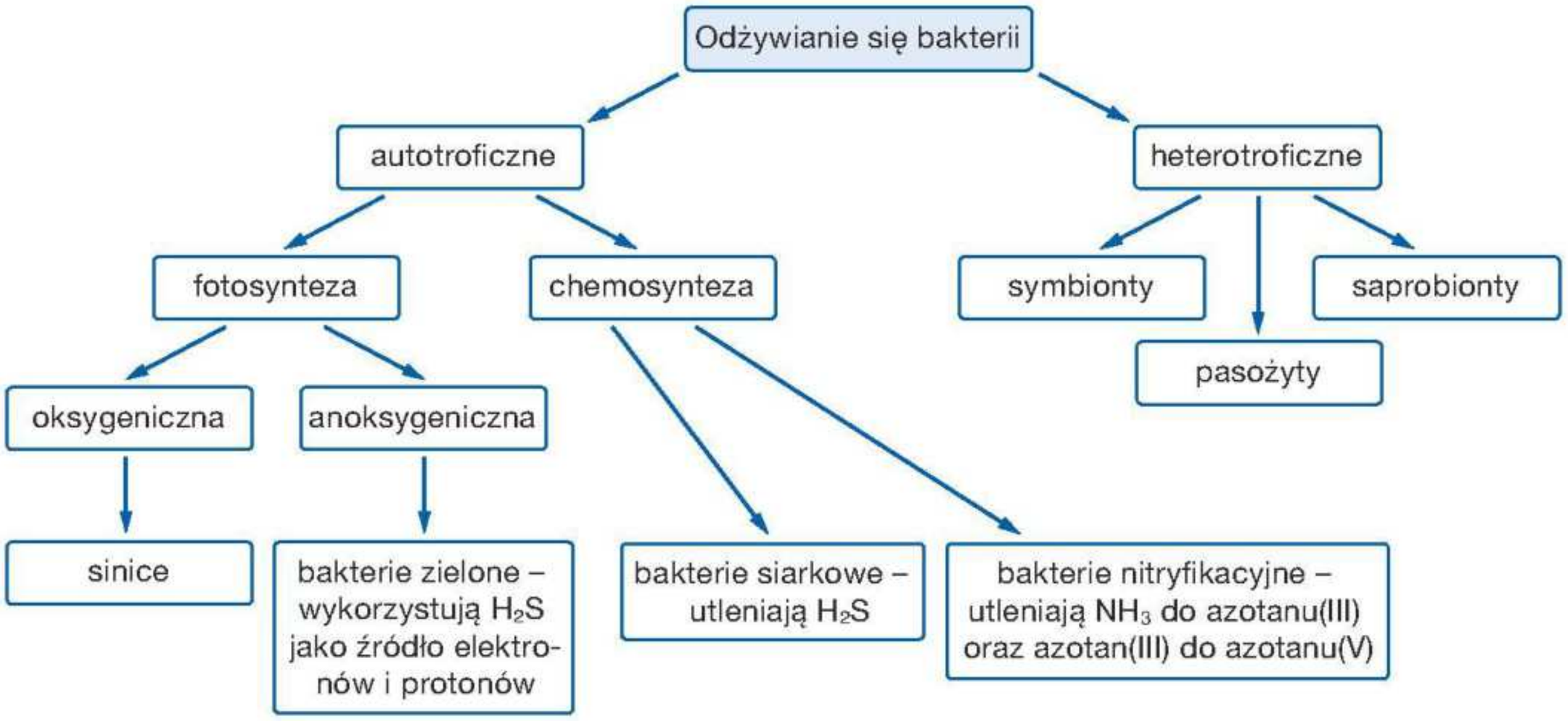


Budowa komórki bakteryjnej.

7 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

8 Odżywianie się bakterii



9 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*.

10 Rozmnażanie się i procesy płciowe bakterii

Rozmnażanie się – prowadzi do zwiększenia się liczby komórek bakterii. Zachodzi wyłącznie przez podział komórki.

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.

11 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.

12 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 nagie lub pokryte 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

13 Rozmnażanie się protistów

Rozmnażanie bezpłciowe – przez fragmentację plechy i mitospory.

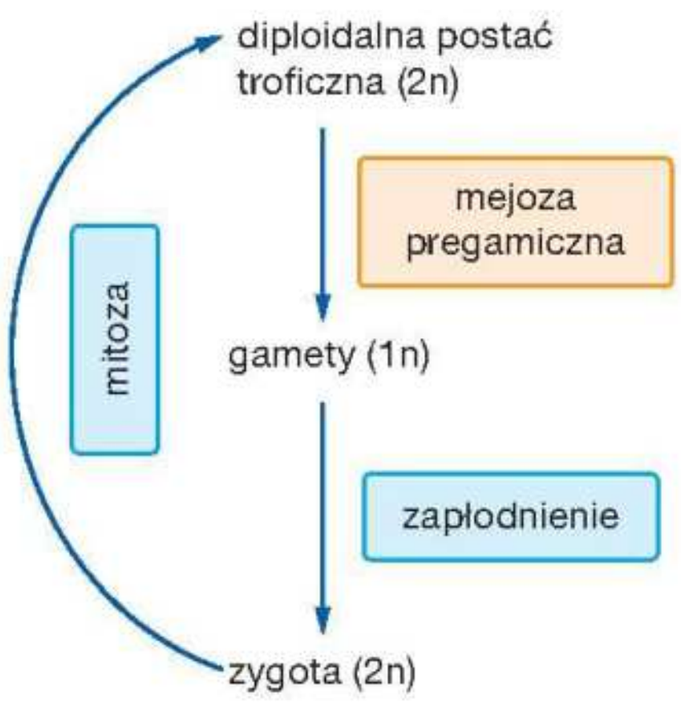
Rozmnażanie płciowe – przez gamety i mejospory.

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 jest mniejsza i ma zdolność ruchu.

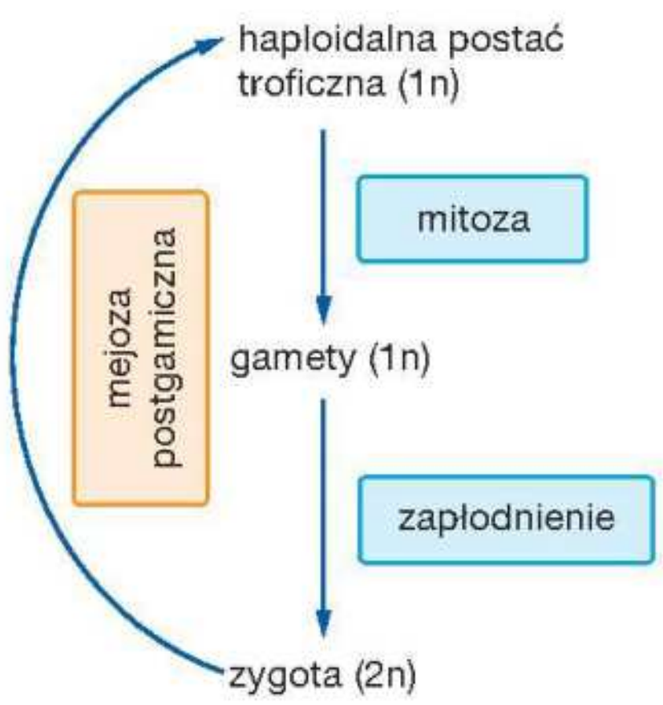
14 Przemiana faz jądrowych i przemiana pokoleń u protistów

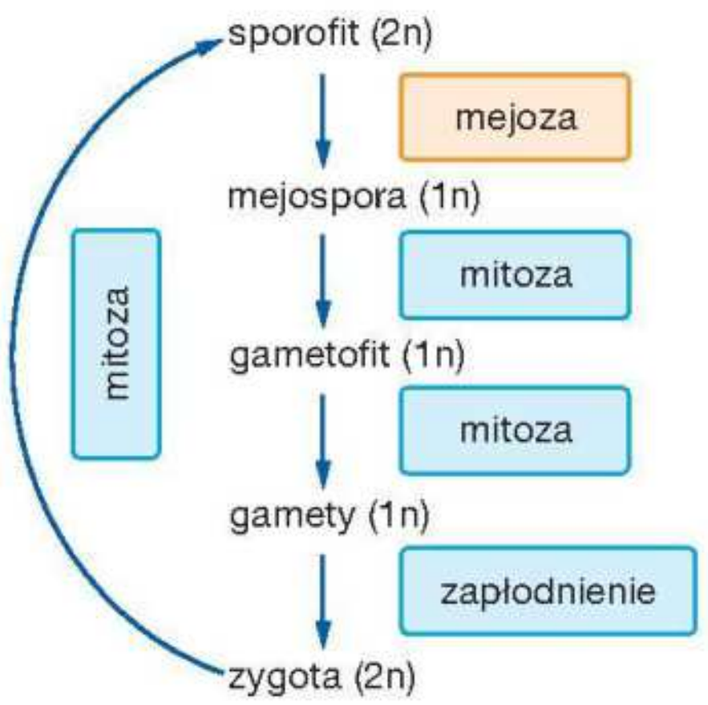
Przemiana faz jądrowych – regularne następowanie po sobie faz haploidalnej (1n) i diploidalnej (2n). Faza haploidalna (haplofaza) trwa od mejozy do zapłodnienia, a diploidalna (diplofaza) od zapłodnienia do mejozy.

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



Protisty zwierzęce.





Protisty roślinopodobne.

15 Cechy grzybów:

- komórki są otoczone ścianą komórkową zbudowaną z chityny,
- do substancji zapasowych magazynowanych wewnątrz komórek należą glikogen i tłuszcze,
- w komórkach obecne są liczne wakuole, które zawierają: wodę, jony, barwniki i substancje toksyczne,
- występują w dwóch formach morfologicznych – mogą być jednokomórkowe lub wielkokomórkowe o budowie plechowej (zbudowane ze strzępek tworzących grzybnię),
- wyróżnia się grzyby oddychające tlenowo oraz przeprowadzające fermentację mleczanową lub fermentację alkoholową,
- są heterotroficzne – wyróżnia się wśród nich pasożyty, symbionty i saprofity.

16 Rozmnażanie się grzybów

Rozmnażanie bezpłciowe – przez fragmentację plechy, pączkowanie i mitospory.

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

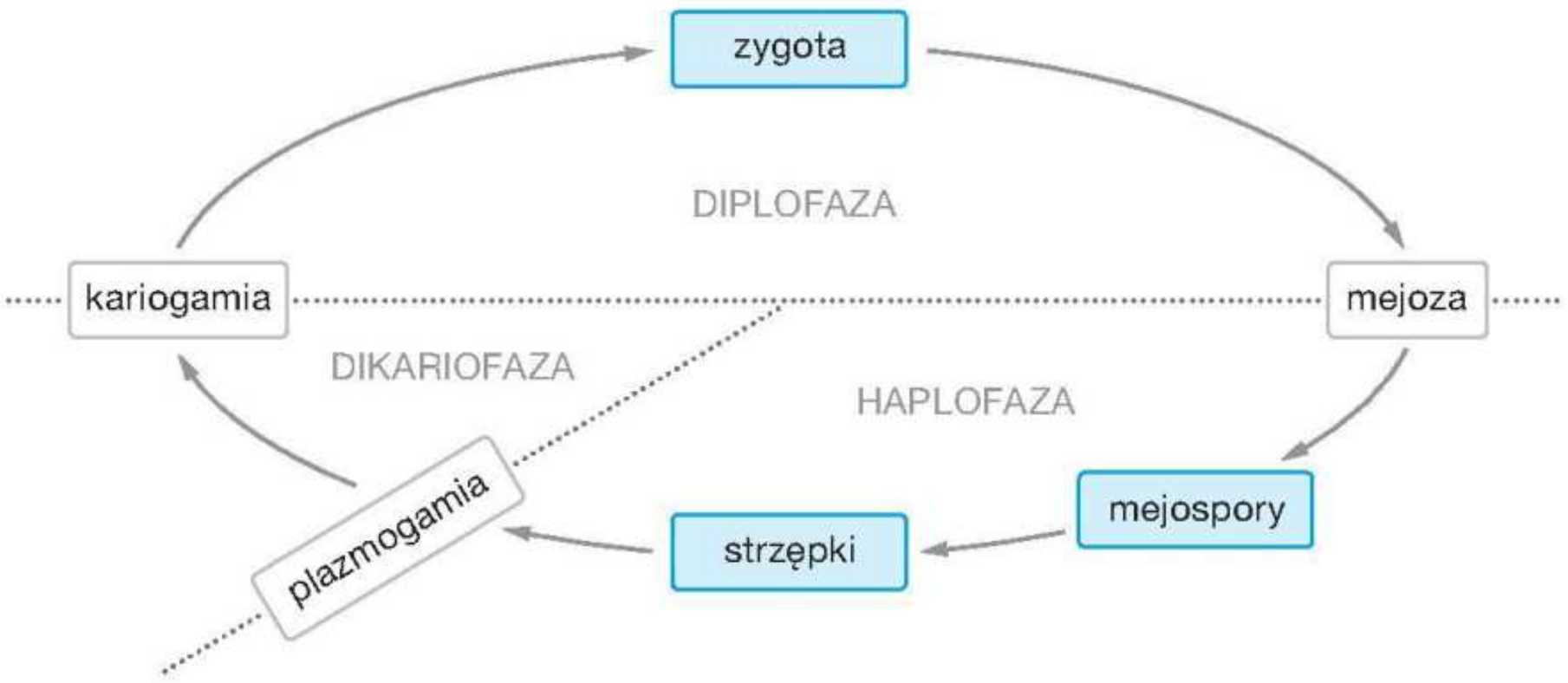
Sposoby zapłodnienia u grzybów		
gametogamia	**gametangiogamia**	**somatogamia**
Łączenie się gamet powstających w gametangiach: lęgniach (gametangiach żeńskich) i plemniach (gametangiach męskich).	Łączenie się całych gametangiów – lęgni i plemni.	Zrastanie się zróżnicowanych płciowo strzępek.

17 Typy zarodników grzybów:

- zarodniki sporangialne – powstają w kulistych zarodniach (endospory, mitospory lub mejospory),
- zarodniki konidialne – powstają przez odcinanie się komórek na końcach strzępek (egzospory, mitospory),
- zarodniki workowe – powstają w specjalnych zarodniach (workach) u workowców (endospory, mejospory),
- zarodniki podstawkowe – powstają przez odcięcie komórki na podstawce u podstawczaków (egzospory, mejospory).

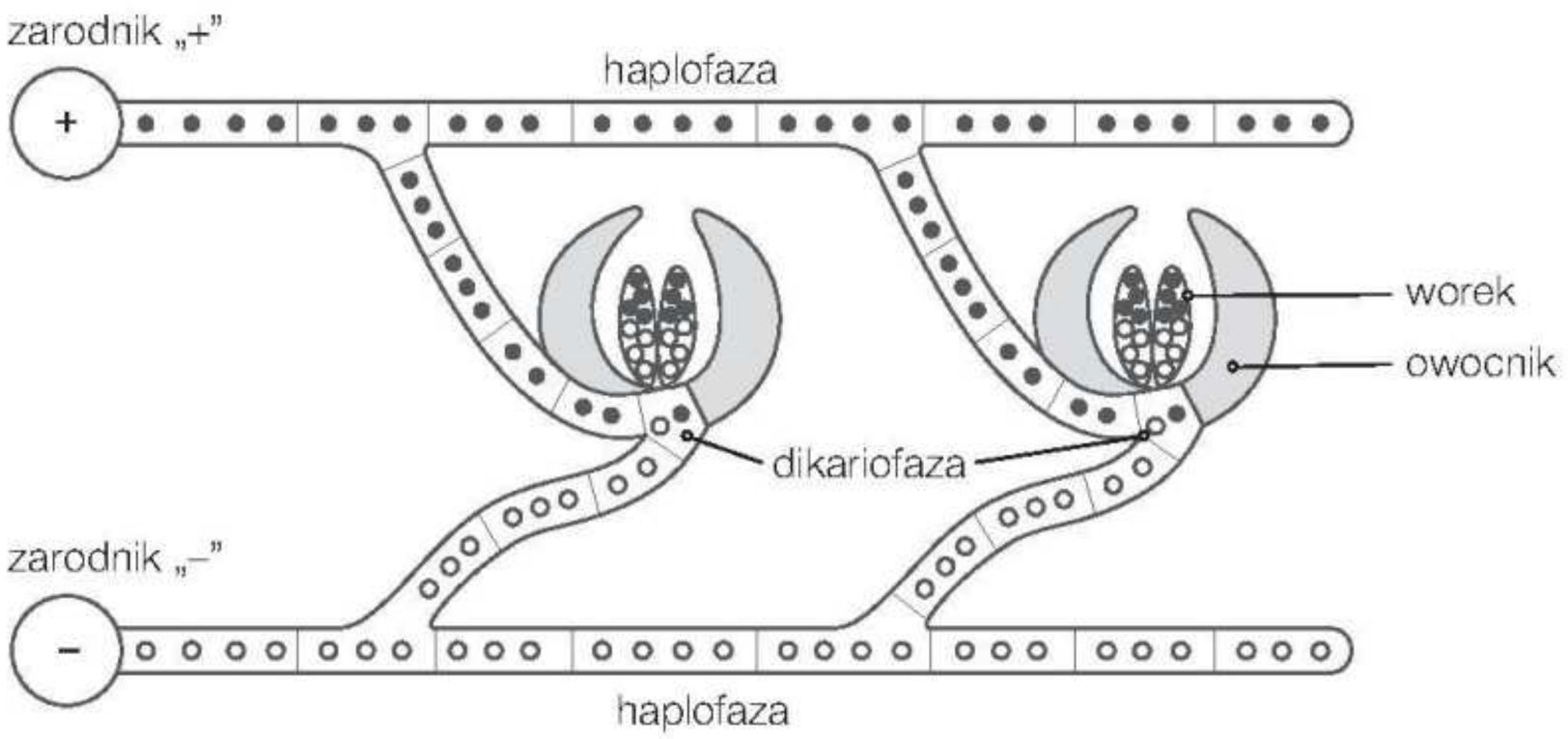
18 Przemiana faz jądrowych u grzybów

W cyklu rozwojowym grzybów wyróżnia się trzy fazy jądrowe: haplofazę (1n), dikariofazę (1n + 1n) oraz diplofazę (2n).

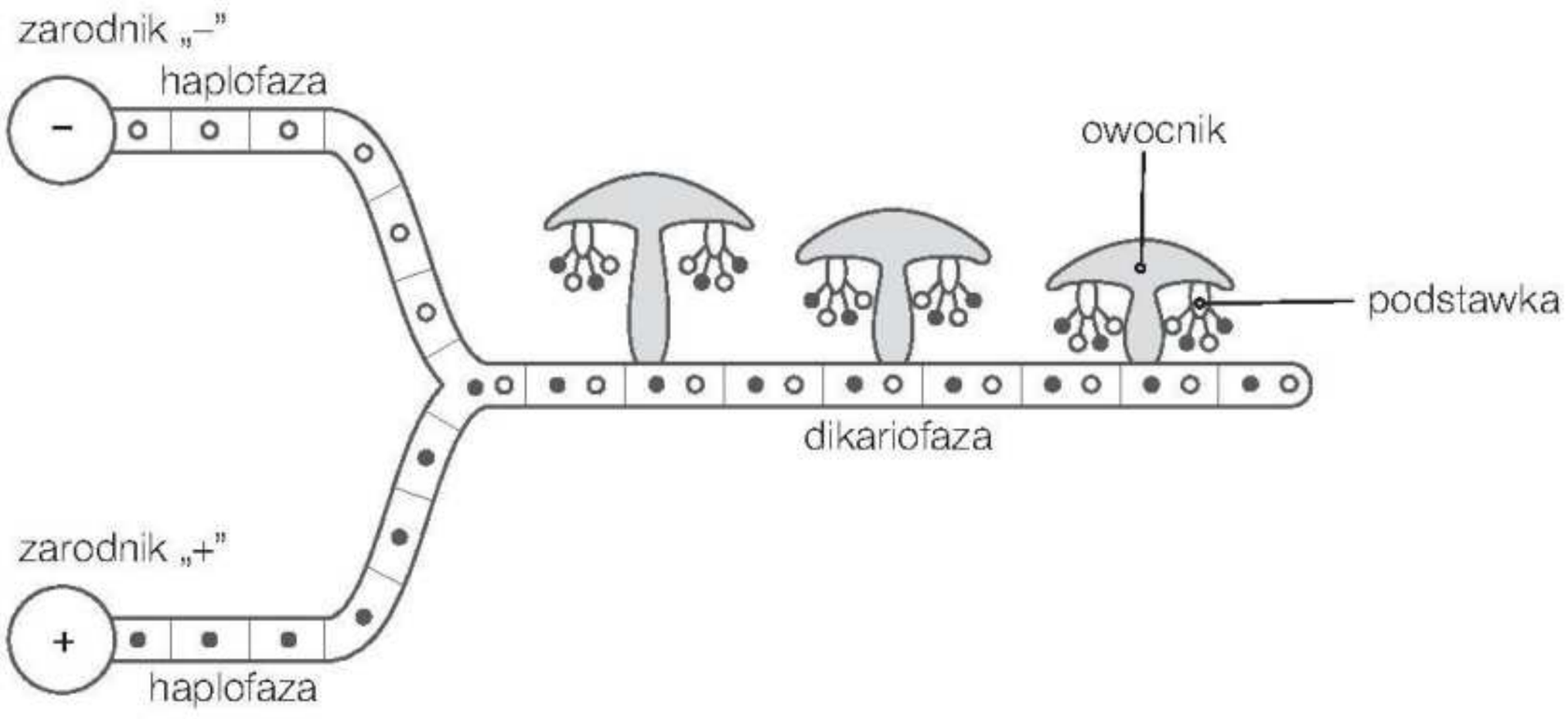


19 Porównanie sprzężniowych, workowców i podstawczaków

Cecha	Sprzężniowe	Workowce	Podstawczaki
Rozmnażanie bezpłciowe	zarodniki sporangialne (mitospory)	zarodniki konidialne (mitospory)	fragmentacja plechy
Rozmnażanie płciowe	gametangiogamia, zarodniki sporangialne (mejospory)	gametangiogamia, zarodniki workowe (mejospory)	somatogamia, zarodniki podstawkowe (mejospory)
Haplofaza	dominuje	dominuje	krótka (ograniczona do grzybni pierwotnej)
Dikariofaza	krótka (ograniczona do zygospory)	krótka (ograniczona do warstwy rodzajnej owocnika)	dominująca
Diplofaza	krótka (ograniczona do jądra zygotycznego)	krótka (ograniczona do jądra zygotycznego)	krótka (ograniczona do jądra zygotycznego)



Cykl rozwojowy workowców.



Cykl rozwojowy podstawczaków.

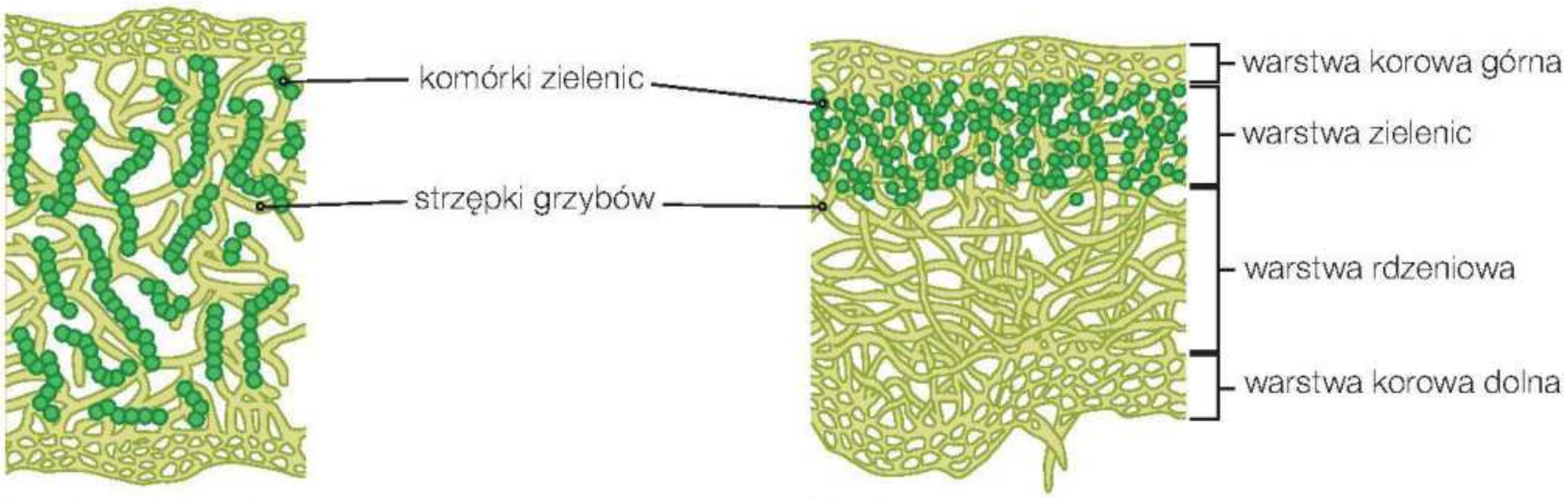
20 Rodzaje mikoryzy

Mikoryza	
zewnętrzna (ektotroficzna)	**wewnętrzna (endotroficzna)**
• Strzępki grzyba wnikają między komórki korzenia. • Powstaje mufka, ograniczająca wzrost korzenia. • Grzyby przejmują funkcje pobierania wody i soli mineralnych. • Występuje np. między koźlarzem a brzozą, borowikiem a dębem.	• Strzępki grzyba wnikają do wnętrza komórek korzenia. • Nie ograniczają wzrostu korzenia. • Występuje między grzybami a wieloma roślinami zielnymi i krzewinkami.

21 Cechy porostów:

- są to organizmy zbudowane z dwóch składników: strzępek grzyba (workowca, rzadziej podstawczaka) oraz komórek zielenic lub sinic,
- 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,
- należą do bioindykatorów – są wykorzystywane do oceny stanu czystości powietrza.

22 Budowa plech porostów



Plecha niewarstwowana. **Plecha warstwowana.**

23 Rodzaje plech porostów:

- skorupiaste,
- listkowate,
- krzaczkowate.

24 Rozmnażanie się porostów

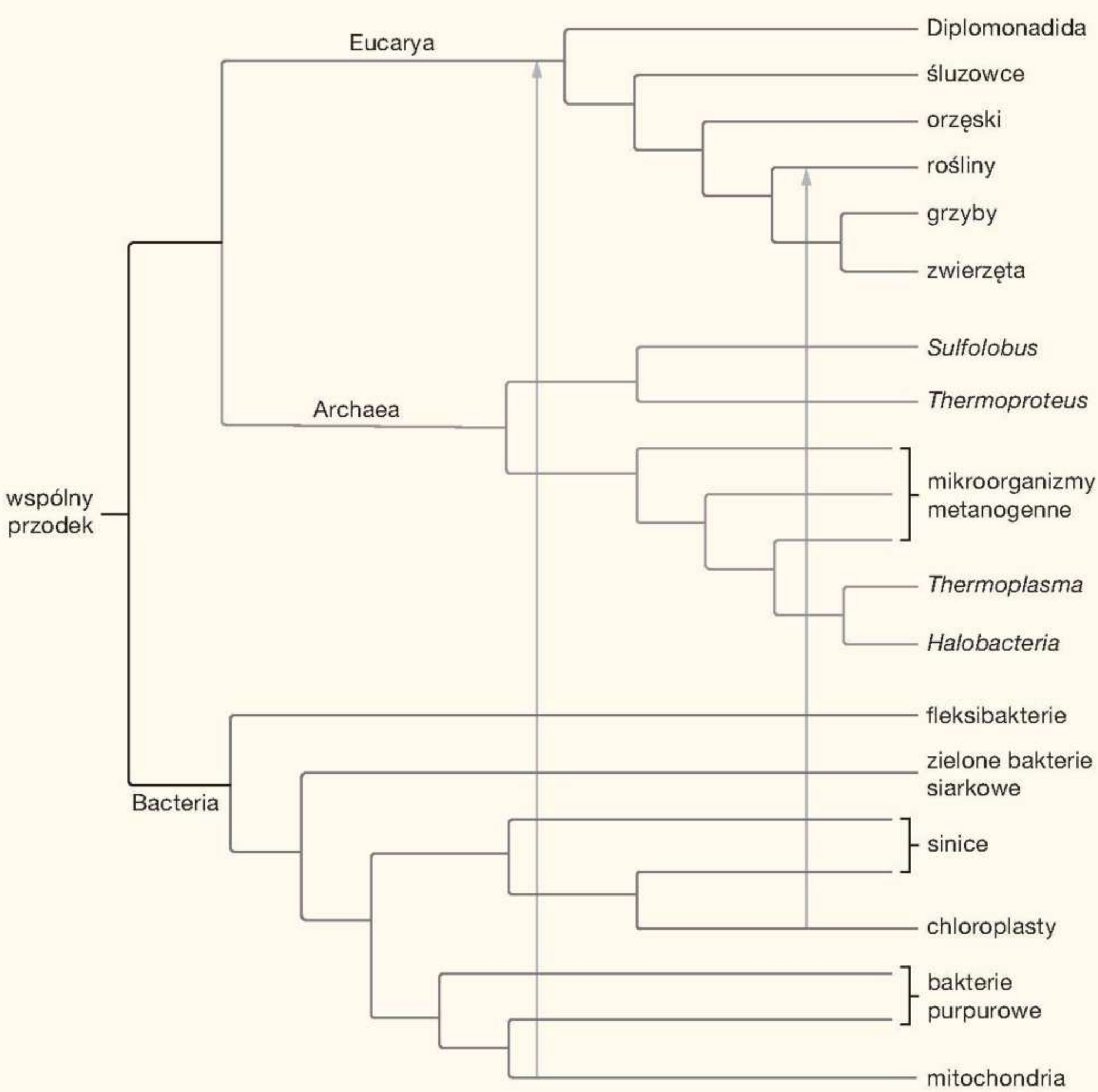
Porosty rozmnażają się wyłącznie bezpłciowo.

Sposoby rozmnażania się porostów	
przez urwistki	**przez wyrostki**
• Urwistki formują się wewnątrz plechy i wydostają się przez jej pęknięcia. • Zawierają od jednej do kilku komórek zielenic lub sinic otoczonych strzępkami grzyba.	• Wyrostki są większe od urwistków, ale zbudowane z tych samych elementów. • Powstają na powierzchni plechy jako kruche i łatwo odłamujące się uwypuklenia.

Sposób na zadania

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 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) Wymień 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.

Wskazówki

Podpunkt a)

1. Przypomnij sobie, jakie rodzaje taksonów wyróżniamy. Informację na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 29.
2. Zastanów się, jakie są różnice między poszczególnymi taksonami. Informacja ta znajduje się w podręczniku na s. 29.
3. Określ kryterium wyodrębniania taksonów.
4. Przeanalizuj schematy w podręczniku na s. 29 oraz drzewo rodowe przedstawione we wstępie do zadania.
5. Zastanów się, do jakiego taksonu należy określony w poleceniu fragment drzewa rodowego.
6. Sformułuj odpowiedź.

Podpunkt b)

1. Przypomnij sobie budowę komórek: prokariotycznej i eukariotycznej. Informację dotyczącą budowy komórki bakteryjnej znajdziesz w podręczniku do klasy 2 na s. 33, a dotyczącą budowy obu typów komórek – w podręczniku do klasy 1 na s. 81–83.
2. Zastanów się, jakie elementy budują komórkę bakteryjną, a jakie – komórkę eukariotyczną. Informacje na ten temat znajdziesz w podręczniku do klasy 1 na s. 81–83.
3. Odszukaj i porównaj wszystkie elementy budowy komórek przedstawionych na rysunkach w podręczniku do klasy 1 na s. 81–83.
4. Zastanów się, jakie struktury komórkowe są wspólne dla wszystkich organizmów.
5. Sformułuj odpowiedź.

Podpunkt c)

1. Przypomnij sobie, co oznaczają gałęzie w drzewie rodowym. Informację na ten temat znajdziesz w treści zadania oraz w podręczniku na s. 29.
2. Odszukaj w drzewie rodowym chloroplasty.
3. Zastanów się, które organizmy znajdujące się w drzewie rodowym mają wspólnego przodka z chloroplastami.
4. Sformułuj odpowiedź.

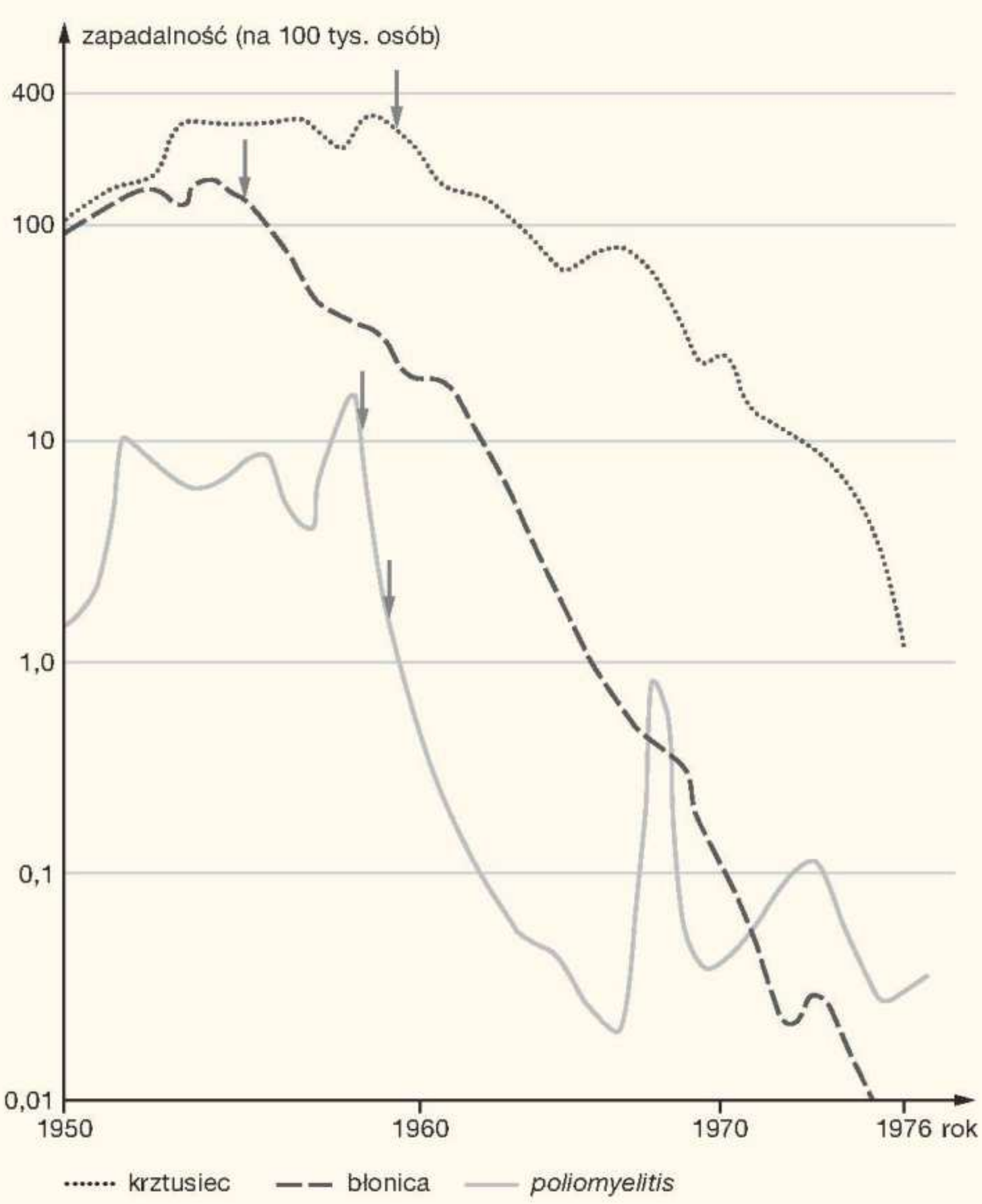
Podpunkt d)

1. Przypomnij sobie budowę mitochondrium. Informację na ten temat znajdziesz w podręczniku do klasy 1 na s. 105.
2. Zastanów się, które elementy budowy mitochondrium odróżniają je od innych struktur występujących w komórkach eukariotycznych.
3. Zastanów się, które struktury występujące w mitochondrium świadczą o jego endosymbiotycznym pochodzeniu.
4. Sformułuj odpowiedź.

Zadania powtórzeniowe

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Wykres przedstawia wpływ szczepień na zapadalność na krztusiec, błonicę i chorobę Heinego-Medina (*poliomyelitis*) w Polsce. Początek masowych szczepień zaznaczono strzałką. W przypadku choroby Heinego-Medina pierwsza strzałka oznacza szczepionkę inaktywowaną (z zabitym patogenem lub z jego fragmentem), a druga – szczepionkę z żywym drobnoustrojem.



Źródło: W.J.H. Kunicki-Goldfinger, *Życie bakterii*, Warszawa 2008, s. 527.

a) Sformułuj wniosek dotyczący wpływu szczepień na zapadalność na błonicę w Polsce.

b) Oceń, czy poniższe stwierdzenia dotyczące chorób zakaźnych i szczepień są prawdziwe. Zaznacz P, jeśli stwierdzenie jest prawdziwe, albo F – jeśli jest fałszywe.

1.	Szczepionki inaktywowane nie spowodowały spadku zachorowalności na *poliomyelitis*.	P	F
2.	Z przedstawionych danych wynika, że najwięcej osób chorowało na krztusiec.	P	F
3.	W 1975 roku w Polsce częściej dochodziło do zachorowań na *poliomyelitis* niż na błonicę.	P	F

c) Dokończ zdanie. Wybierz odpowiedź A lub B oraz jej uzupełnienie (1–3).

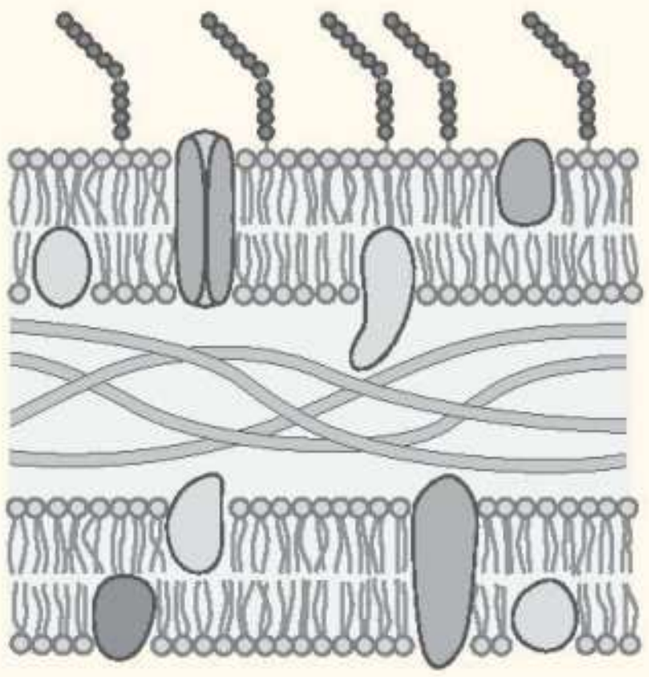
Poliomyelitis należy do chorób

A.	wirusowych,	które są roznoszone drogą	1.	pokarmową.
B.	bakteryjnych,		2.	kropelkową.
			3.	płciową.

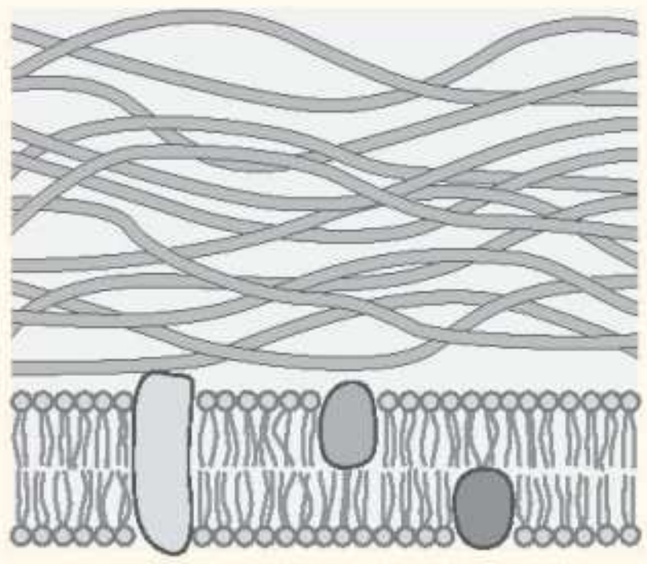
d) Określ, jaki wpływ – bakteriobójczy czy bakteriostatyczny – na bakterie chorobotwórcze będzie miało zastosowanie antybiotyków hamujących wytwarzanie mureiny. Odpowiedź uzasadnij, uwzględniając sposób działania tych antybiotyków.

2 Na rysunkach przedstawiono budowę ścian komórkowych dwóch bakterii (A i B).

A.



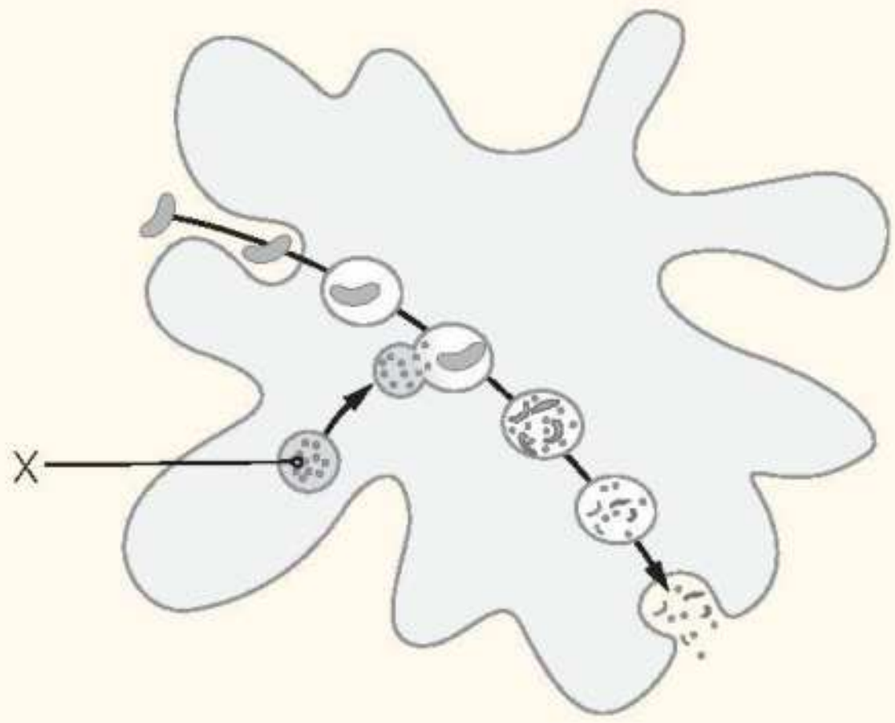
B.



a) Określ, która bakteria (A czy B) jest oporna na pewien antybiotyk, wiedząc, że działa on wyłącznie na bakterie Gram-dodatnie. Uzasadnij odpowiedź za pomocą jednego argumentu.

b) Wyjaśnij, w jaki sposób można wykazać doświadczalnie przynależność danych bakterii do grupy bakterii Gram-dodatnich lub Gram-ujemnych.

3 Schemat przedstawia jeden ze sposobów endocytozy u ameb. Może ona zachodzić w dowolnym miejscu błony komórkowej.



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.

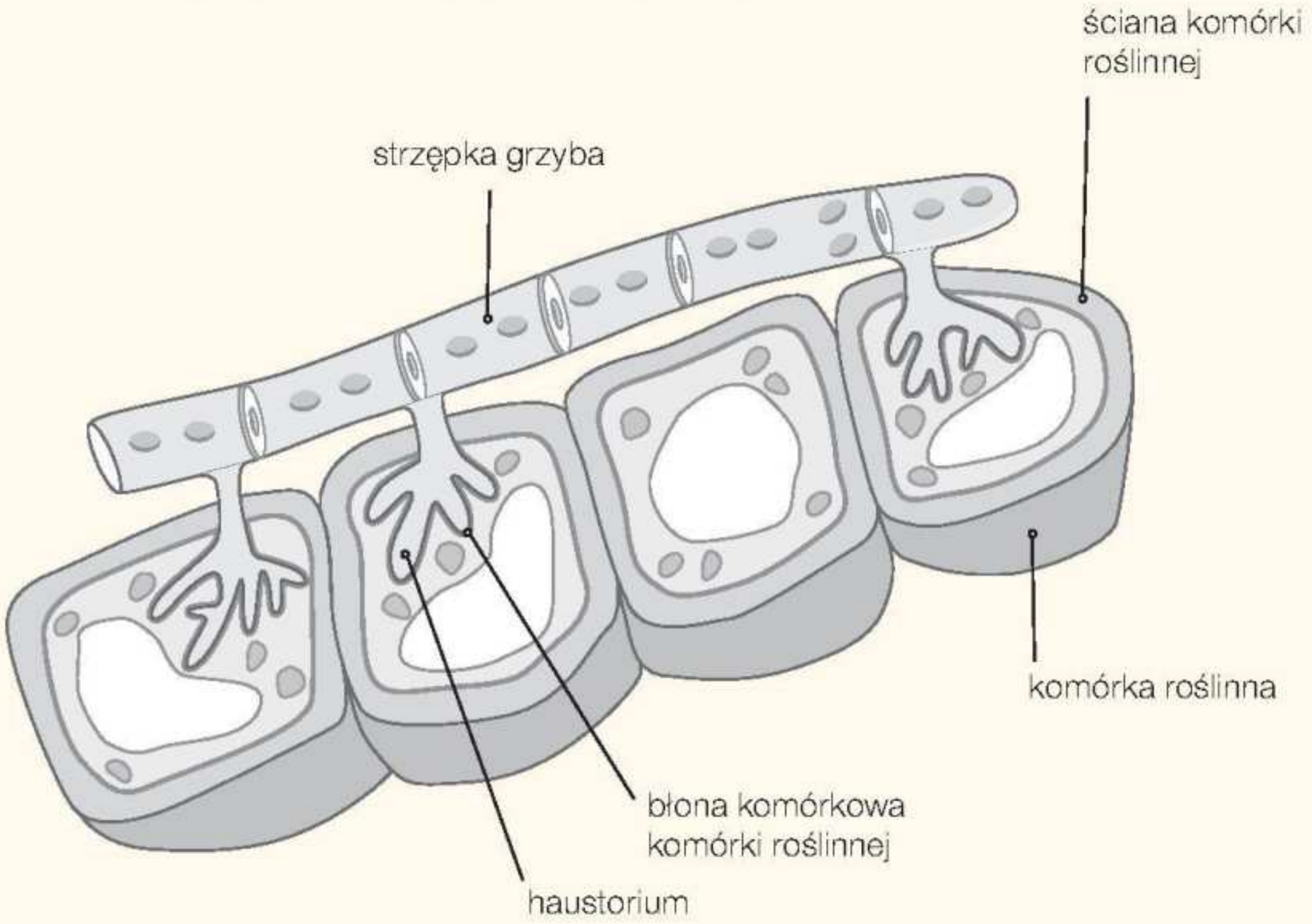
c) Wyjaśnij, dlaczego endocytoza u ameb, w przeciwieństwie do wielu gatunków protistów, może zachodzić w dowolnym miejscu błony komórkowej.

4 Malaria jest jedną z najczęściej występujących na świecie 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) Wyjaśnij, na czym polega atak malarii.

5 Schemat przedstawia strzępkę pewnego grzyba mikoryzowego.



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

Określ kierunek transportu substancji, który zachodzi między strzępką grzyba a komórką roślinną. Narysuj w odpowiednich miejscach poprawnie skierowaną strzałkę.

1. glukoza: strzępka grzyba ? komórka roślinna
2. woda: strzępka grzyba ? komórka roślinna
3. substancje wzrostowe: strzępka grzyba ? komórka roślinna

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

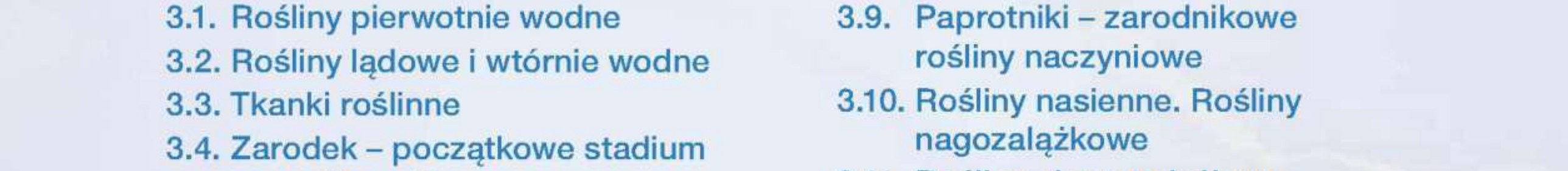
a) Podaj nazwy dwóch grup organizmów fotosyntetyzujących, które wchodzą w skład plech porostów.

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

3. Różnorodność roślin

3.1. Rośliny pierwotnie wodne
3.2. Rośliny lądowe i wtórnie wodne
3.3. Tkanki roślinne
3.4. Zarodek – początkowe stadium sporofitu roślin
3.5. Korzeń – organ podziemny rośliny
3.6. Pęd. Budowa i funkcje łodygi
3.7. Budowa i funkcje liści
3.8. Mchy – rośliny o dominującym gametoficie
3.9. Paprotniki – zarodnikowe rośliny naczyniowe
3.10. Rośliny nasienne. Rośliny nagozalążkowe
3.11. Rośliny okrytozalążkowe
3.12. Rozprzestrzenianie się roślin okrytozalążkowych
3.13. Różnorodność i znaczenie roślin okrytozalążkowych

Fot. Miękisz powietrzny rdestnicy (mikrofotografia spod mikroskopu optycznego).



3.1. Rośliny pierwotnie wodne

Zwróć uwagę na:
- cechy charakterystyczne zielenic, krasnorostów i glaukocystofitów,
- znaczenie zielenic i krasnorostów.

Rośliny pierwotnie wodne są ściśle związane ze środowiskiem wodnym – występują w zbiornikach wody słodkiej i słonej lub w miejscach stale wilgotnych, np. na korze drzew.

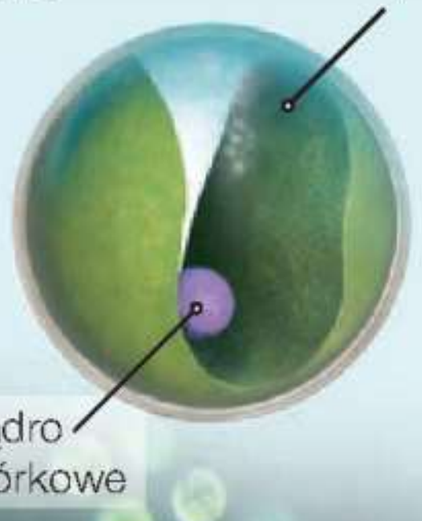
Do roślin pierwotnie wodnych należą **glaukocystofity**, **krasnorosty** i **zielenice**. Są one **organizmami autotroficznymi**, które przeprowadzają fotosyntezę oksygeniczną. Rośliny

Formy morfologiczne roślin pierwotnie wodnych

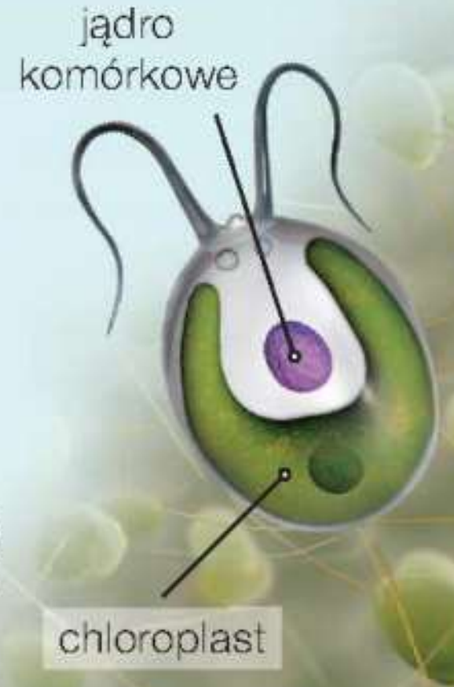
Do roślin pierwotnie wodnych należą organizmy jednokomórkowe, kolonijne lub wielokomórkowe o budowie plechowej. Wśród plech wyróżnia się plechy komórczakowe, nitkowate, nibytkankowe lub tkankowe. Niektóre z nich są podzielone na część łodygokształtną, część liściokształtną oraz chwytniki.

Formy jednokomórkowe

Formy jednokomórkowe kokoidalne odznaczają się brakiem organelli ruchu i sztywną ścianą komórkową. Przykładem jest chlorella (*Chlorella*), która należy do zielenic.



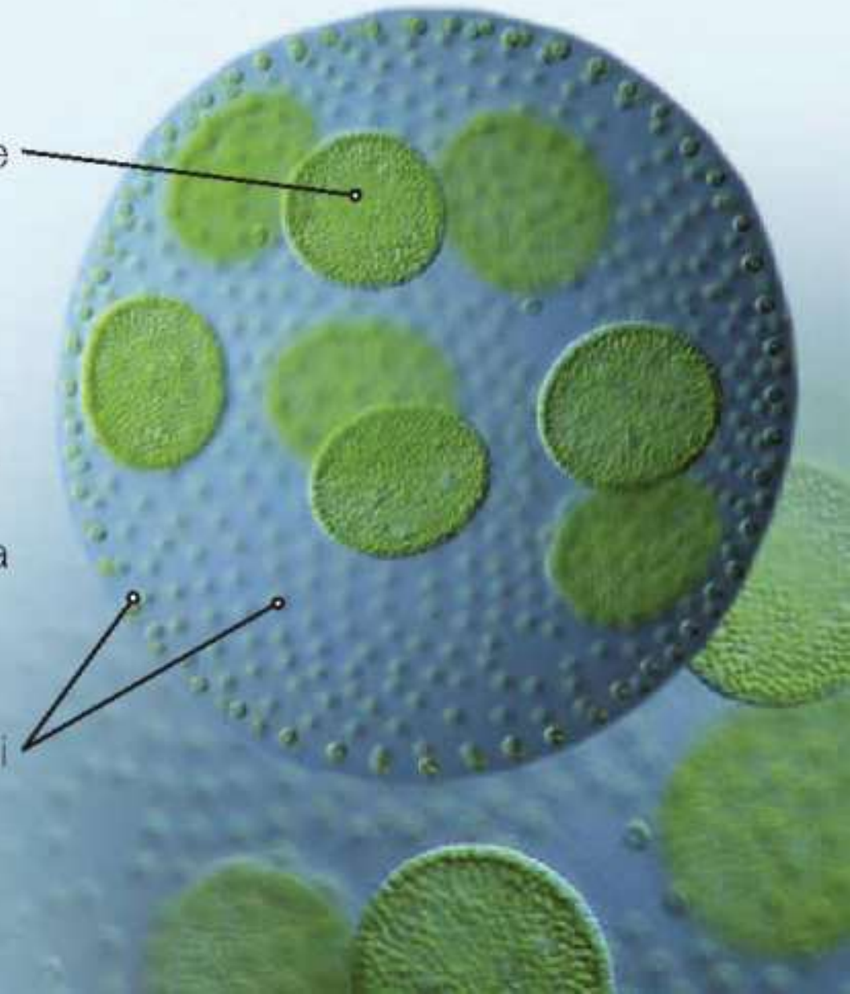
Formy jednokomórkowe wiciowcowe poruszają się za pomocą jednej lub dwóch wici. Są otoczone błoną komórkową, a niekiedy dodatkowo ścianą komórkową. Przykładem jest zawłotnia (*Chlamydomonas*), która należy do zielenic.



Formy kolonijne

Kolonie zbudowane z komórek połączonych ze sobą galaretowatą otoczką występują np. u gwiazdoszka (*Pediastrum*), który należy do zielenic.

Kolonie zbudowane z komórek zrośniętych ze sobą ścianami i kontaktujących się za pomocą plazmodesm występują np. u toczka (*Volvox*), który należy do zielenic.



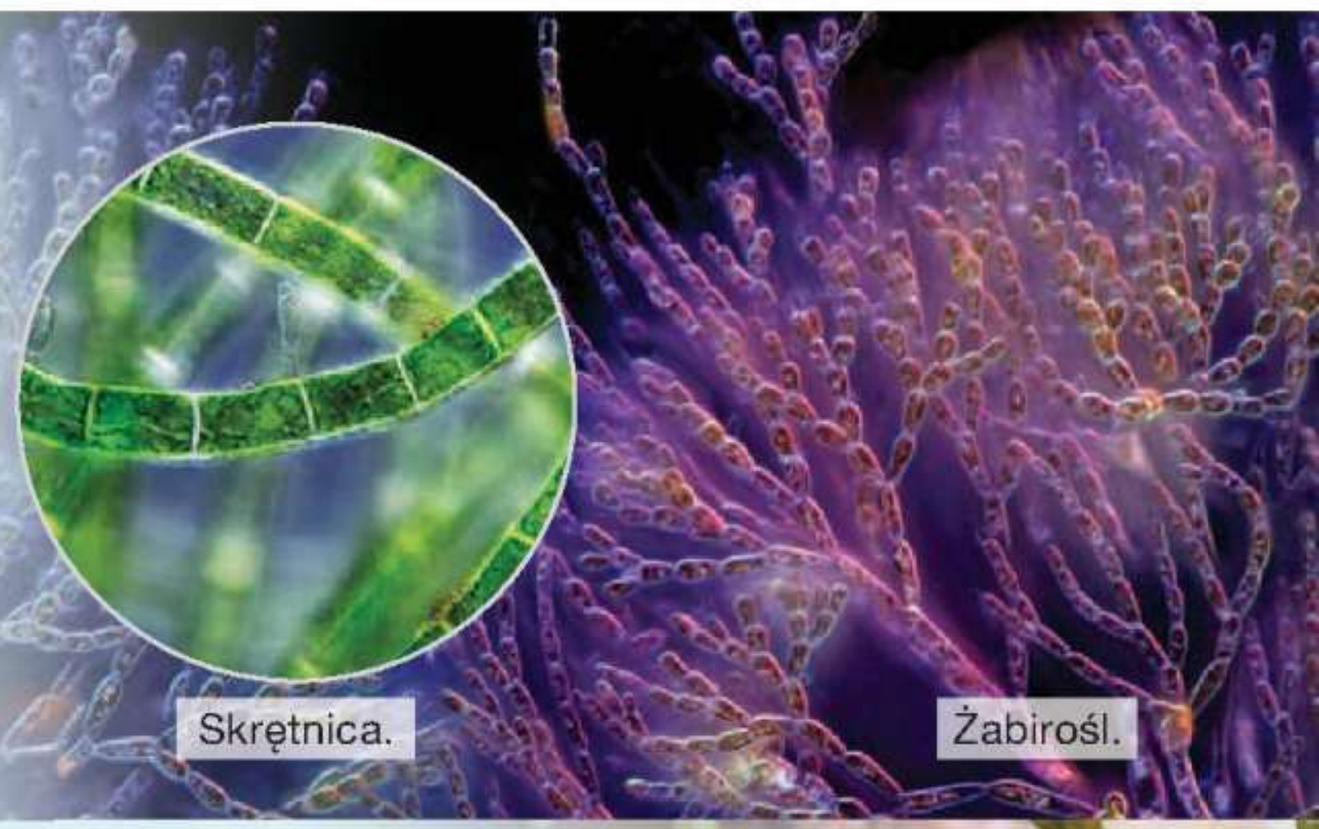
pierwotnie wodne przypominają pod wieloma względami protisty roślinopodobne – wyróżnia się wśród nich formy jednokomórkowe, kolonijne i wielokomórkowe o budowie plechowej. Plechy roślin pierwotnie wodnych mogą być podzielone na część łodygokształtną, część liściokształtną i chwytniki. Części te, mimo zewnętrznego podobieństwa do organów roślin lądowych, nie mają jednak charakterystycznej dla nich budowy anatomicznej. Za przynależnością zielenic, krasnorostów i glaukocystofitów do królestwa roślin przemawia natomiast budowa ich komórek, a w szczególności chloroplastów. Organelle te, podobnie jak chloroplasty roślin lądowych, mają **dwie błony białkowo-lipidowe** i powstały prawdopodobnie w wyniku **endosymbiozy pierwotnej**.

Ponadto komórki roślin pierwotnie wodnych, tak jak komórki roślinne, mają:

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

Formy plechowe

Plecha nitkowata jest zbudowana z luźnych nici, które składają się z wielu szeregowo ułożonych komórek. Taka plecha występuje np. u żabirośli (*Batrachospermum*) należącej do krasnorostów i u skrętnicy (*Spirogyra*) należącej do zielenic.



Plecha komórczakowa jest zbudowana z licznych wielojądrowych komórek lub – w skrajnych przypadkach – z jednej wielojądrowej komórki. Taka plecha występuje np. u pełzatek (*Caulerpa*) należących do zielenic. Plecha pełzatek jest zróżnicowana na części: łodygokształtną, liściokształtną i chwytniki.

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

Glaukocystofity

Glaukocystofity są niewielką grupą organizmów jednokomórkowych lub kolonijnych. Występują w zbiornikach wodnych, gdzie aktywnie pływają za pomocą wici lub unoszą się biernie w wodzie. Charakterystyczną cechą glaukocystofitów jest **szczególna budowa chloroplastów**. Są one bardzo podobne do komórek sinic – mają dwie błony białkowo-lipidowe, a obwodowo rozmieszczone tylakoidy zawierają chlorofil a oraz niebieskie i czerwone fikobiliny. W chloroplastach niektórych gatunków glaukocystofitów występują ponadto pozostałości sinicowej ściany komórkowej zbudowanej z mureiny. Taka budowa chloroplastów jednoznacznie wskazuje na ich endosymbiotyczne pochodzenie.

Krasnorosty

Krasnorosty, z wyjątkiem nielicznych gatunków słodkowodnych, zasiedlają przybrzeżne strefy ciepłych wód morskich. Zazwyczaj mają wielokomórkowe plechy nibytkankowe, które są przytwierdzone do podłoża za pomocą chwytników. W ich chloroplastach oprócz chlorofili i karotenoidów występują także fikobiliny charakterystyczne dla sinic. Z tego powodu plechy krasnorostów przybierają zwykle czerwone zabarwienie.

Zielenice

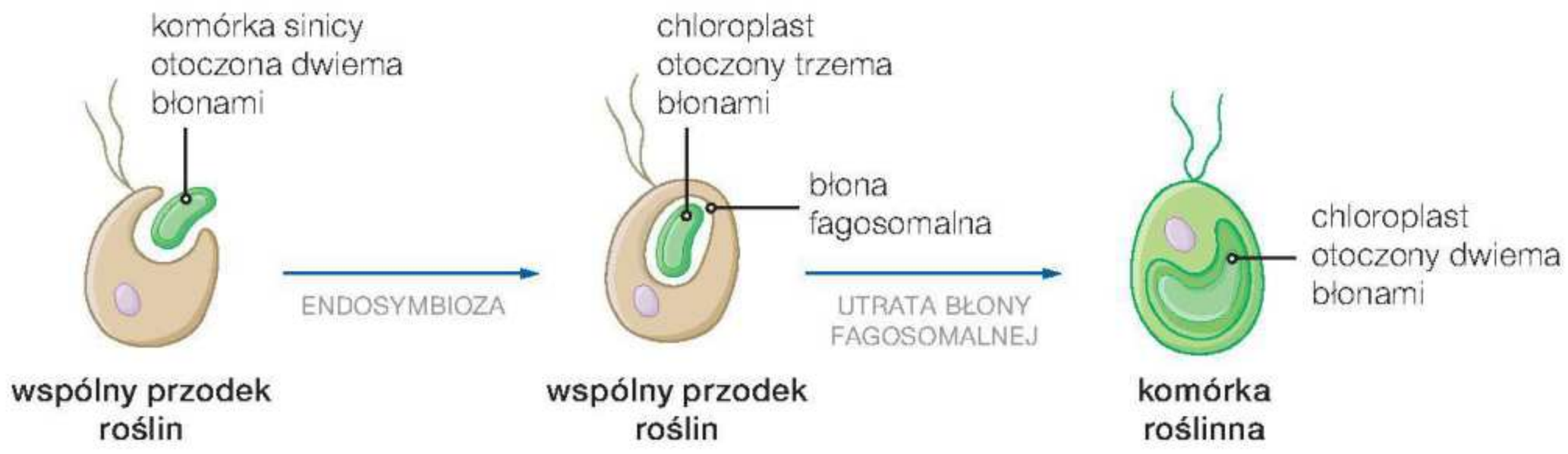
Zielenice zasiedlają głównie środowiska wodne, ale występują też na lądzie, m.in. na korze drzew, a nawet na śniegu i lodzie, gdzie ich masowe pojawy wywołują zjawisko barwnego śniegu. Liczne zielenice wchodzą w związki symbiotyczne z różnymi gatunkami grzybów, współtworząc porosty.

Do zielenic należą zarówno formy jednokomórkowe, jak i kolonijne oraz wielokomórkowe. W chloroplastach tych roślin występują **chlorofile a i b**, charakterystyczne dla roślin lądowych. Ponadto komórki większości zielenic są otoczone **celulozową ścianą komórkową** i zawierają typowy dla roślin materiał zapasowy – **skrobię**.

Przypomnij sobie

Endosymbioza pierwotna

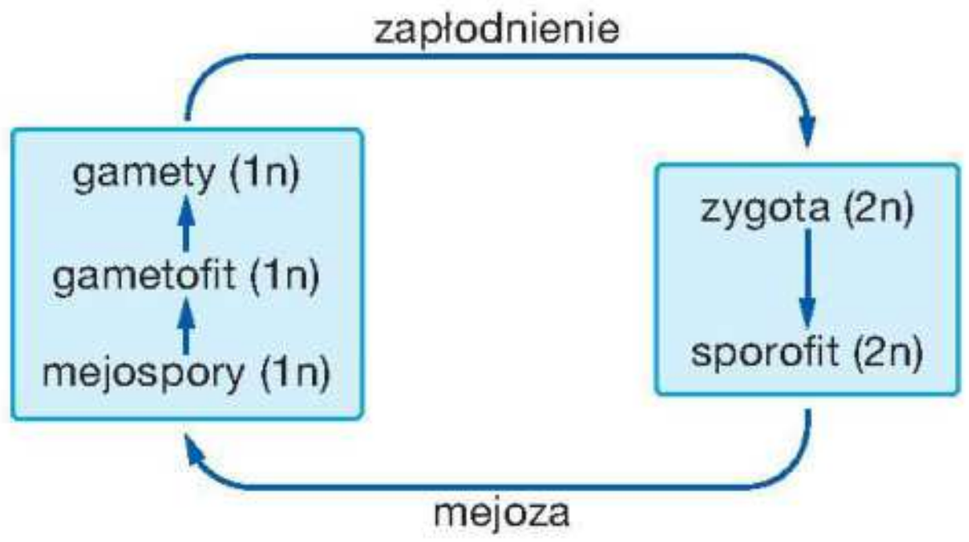
Zgodnie z teorią endosymbiozy chloroplasty roślin powstały w wyniku endosymbiozy pierwotnej, która polegała na fagocytozie prokariotycznych komórek sinic przez heterotroficzne komórki eukariotyczne, będące przodkami roślin. Wchłonięte komórki weszły w symbiozę z komórką gospodarza, a następnie – w toku ewolucji – przekształciły się w chloroplasty.



Początkowo chloroplasty roślin miały trzy błony białkowo-lipidowe. Dwie pochodziły z komórek sinic, a jedna – zewnętrzna – była błoną fagosomalną, powstałą w wyniku wpuklenia się błony komórkowej komórki gospodarza. Błona fagosomalna uległa z czasem strawieniu – w rezultacie współczesne chloroplasty mają dwie błony białkowo-lipidowe.

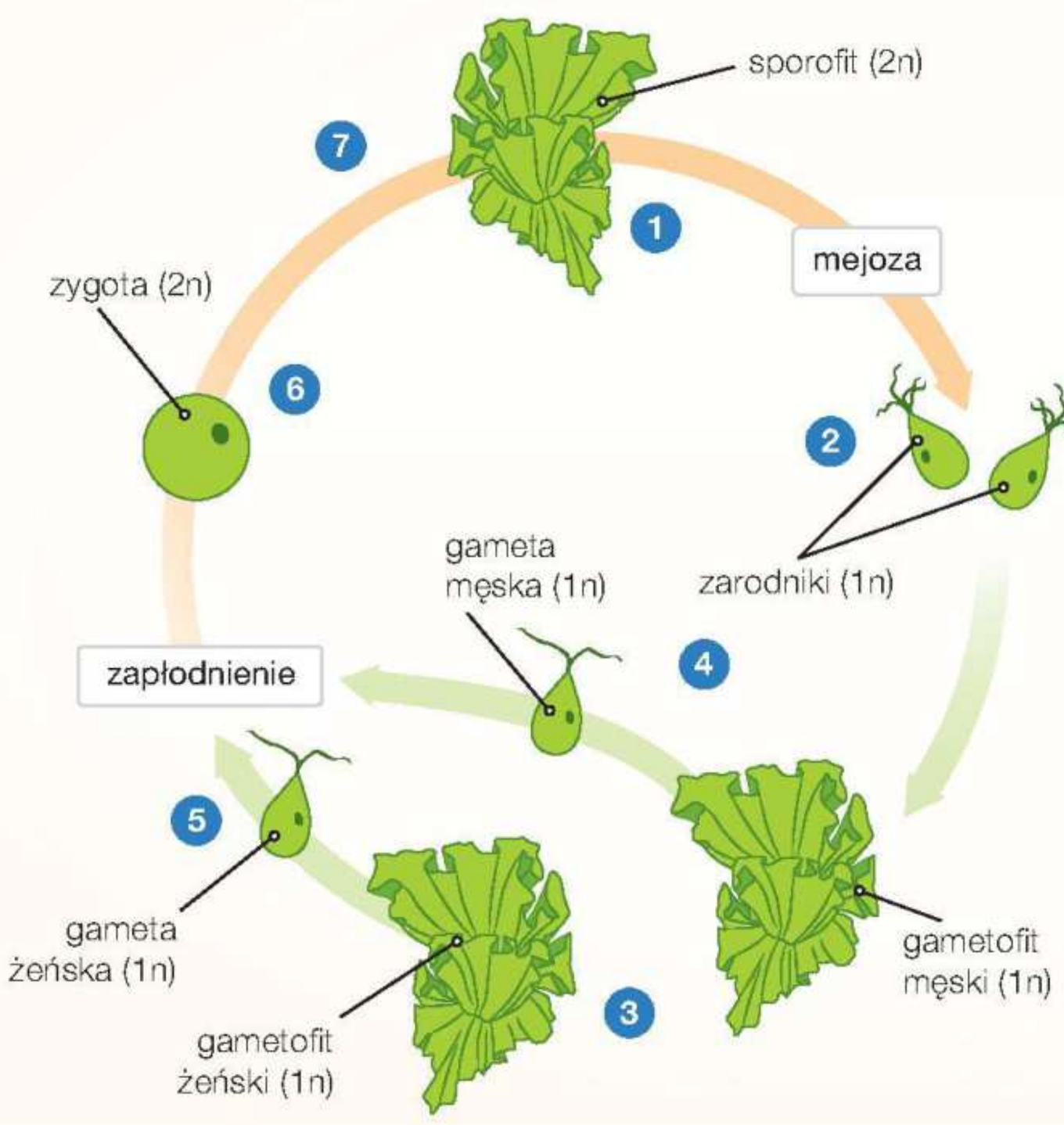
Rozmnażanie się roślin pierwotnie wodnych

Większość roślin pierwotnie wodnych cechuje **przemiana faz jądrowych połączona z przemianą pokoleń**. 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 są mejosporami – powstają w wyniku podziałów mejotycznych komórek macierzystych zarodników. Mejospory kiełkują w gametofity, a więc nie odtwarzają składu genetycznego organizmu rodzicielskiego – sporofitu. Ich powstawanie jest ściśle związane z rozmnażaniem płciowym. Mejoza, która prowadzi do powstania zarodników, jest **mejozą pośrednią**.



Cykl rozwojowy ulwy sałatowej

Ulwa sałatowa (*Ulva lactuca*) 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, rozmiarów i długości życia.



1. Diploidalna plecha sporofitu wytwarza zarodnie, w których zachodzi podział mejotyczny komórek macierzystych zarodników.
2. W wyniku mejozy powstają haploidalne 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 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. Uwalniają również tlen wykorzystywany przez wszystkie 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 (*Phycodurus eques*), 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 (karaginy i agaru), używanych m.in. w przemyśle kosmetycznym, farmaceutycznym i spożywczym. Agar jest stosowany także w mikrobiologii jako składnik podłoży do hodowli bakterii.

Polecenia kontrolne

1. Podaj trzy argumenty przemawiające za przynależnością zielenic, krasnorostów i glaukocystofitów do królestwa roślin.
2. Wyjaśnij różnicę między endosymbiozą pierwotną a endosymbiozą wtórną.
3. Wyjaśnij, na czym polega przemiana faz jądrowych połączona z przemianą pokoleń.
4. Określ różnicę między izomorficzną a heteromorficzną przemianą pokoleń.

3.2. Rośliny lądowe i wtórnie wodne

Zwróć uwagę na:
- różnice między warunkami życia w wodzie a warunkami życia na lądzie,
- cechy roślin lądowych.

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

Niektóre rośliny lądowe w toku ewolucji zasiedliły zbiorniki wodne i przystosowały się do życia w środowisku wodnym, dlatego określa się je mianem **roślin wtórnie wodnych**.

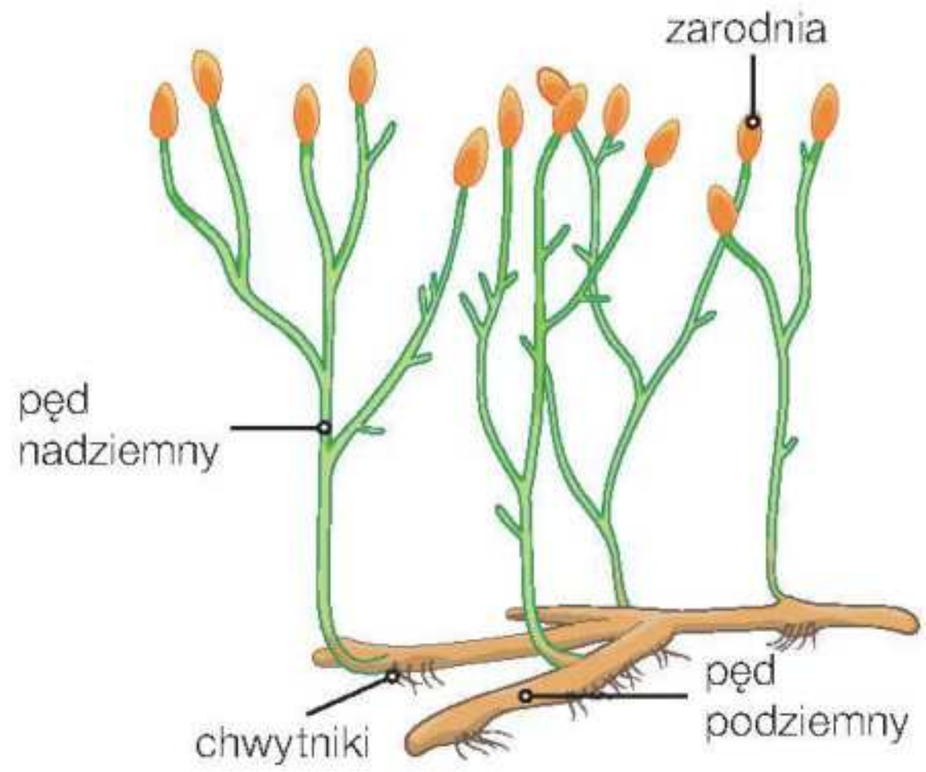
Pochodzenie roślin lądowych

Pierwsze rośliny pojawiły się na lądzie prawdopodobnie w erze paleozoicznej, ponad 400 mln lat temu. Były to wymarłe obecnie **ryniofity**, do których należą m.in. rynia (*Rhynia*) oraz kuksonia (*Cooksonia*) – najstarsza znana roślina lądowa. U ryniofitów występowała izomorficzna przemiana pokoleń – gametofity i sporofity były niezależnymi roślinami o podobnej budowie, kształcie i rozmiarach. Ich nadziemne części stanowiły bezlistne, widlasto rozgałęzione pędy, prawdopodobnie zielone. Według powszechnie przyjętej **teorii telomowej**, wyjaśniającej ewolucyjne pochodzenie roślin lądowych, wszystkie organy współczesnych roślin powstały w wyniku stopniowego przekształcania się pędów ryniofitów.

Przypuszcza się, że przodkami roślin lądowych były plechowe **zielenice** podobne do współczesnych ramienicowych (Charophyceae). Wskazuje na to przede wszystkim pokrewieństwo biochemiczne obu grup organizmów, czyli:

- występowanie chlorofili a i b jako głównych barwników fotosyntetycznych,
- obecność skrobi jako materiału zapasowego,
- ściany komórkowe zbudowane przede wszystkim z celulozy.

Cykl rozwojowy roślin lądowych, podobnie jak ich wodnych przodków, charakteryzuje się przemianą pokoleń: gametofitu (1n) rozmnażającego się za pomocą gamet oraz sporofitu (2n) rozmnażającego się za pomocą mejospor.

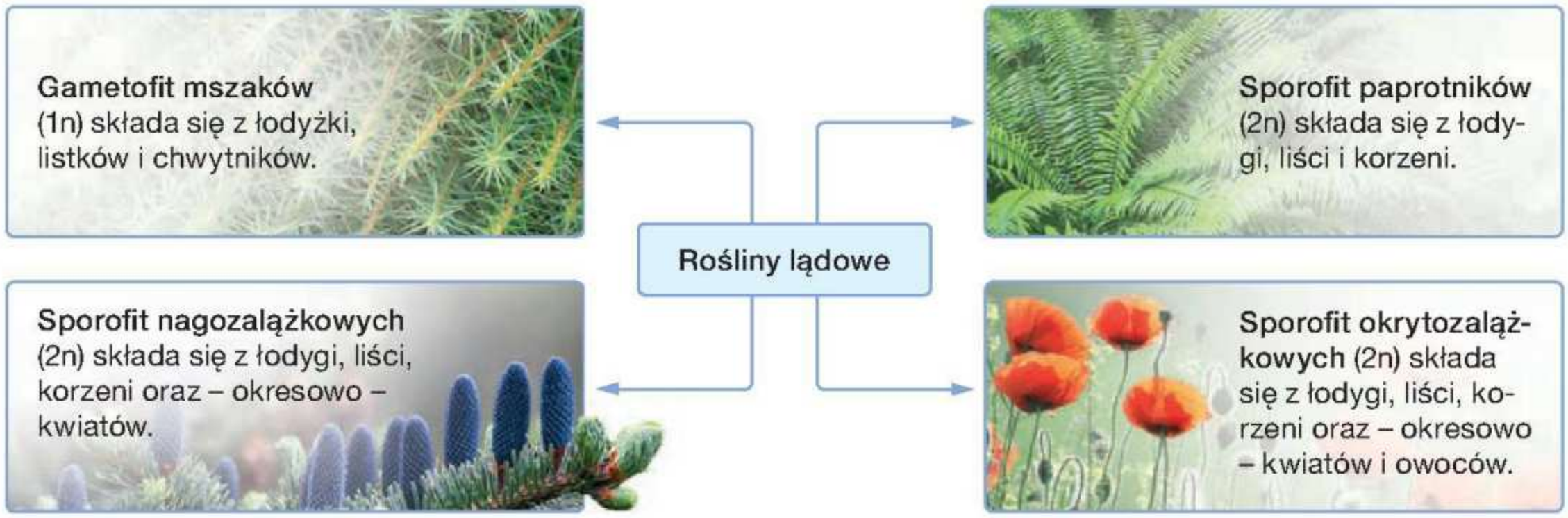


Sporofity ryniofitów składały się z poziomych pędów podziemnych z licznymi chwytnikami oraz pionowych pędów nadziemnych zakończonych zarodniami.

Według jednej z hipotez rośliny lądowe wywodzą się z grupy ramienicowych (Charophyceae), które należą do zielenic.

Współczesne rośliny lądowe

U wszystkich współczesnych roślin lądowych występuje wyłącznie **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**.

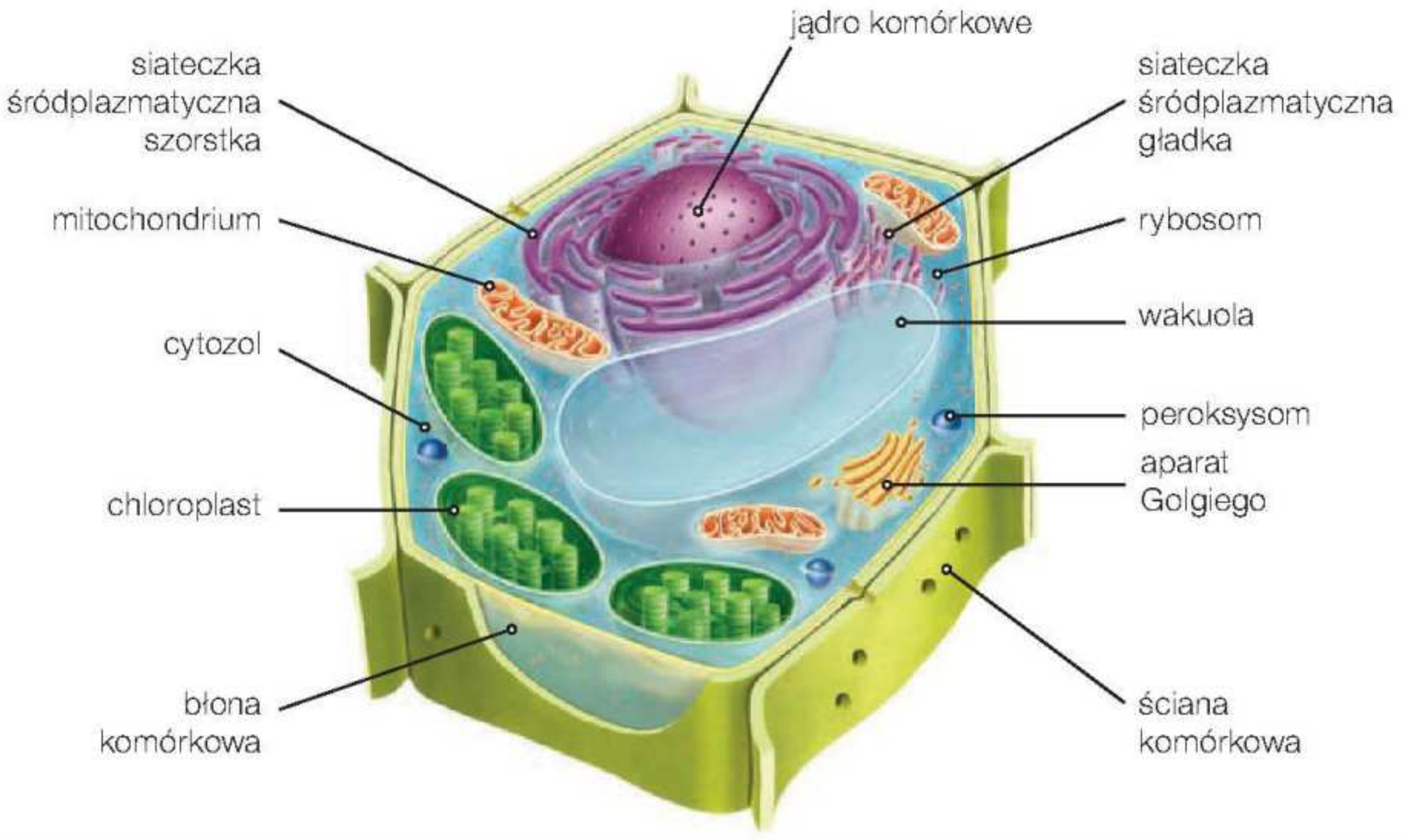


Grupy współczesnych roślin lądowych.

Przypomnij sobie

Komórki roślin lądowych

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



Ląd a woda

Warunki życia na lądzie znacznie różnią się od tych, 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.

Opanowanie lądu przez rośliny wiązało się z korzyścią w postaci nieograniczonego dostępu do światła. Wymagało jednak pokonania wielu trudności, takich jak: ograniczony dostęp do wody, znaczne wahania temperatury, mała gęstość powietrza oraz porywiste wiatry. W wyniku przystosowania 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 okrywający czy przewodzący. Wyodrębniły się również **organy wegetatywne sporofitu: korzenie, łodygi i liście**.

Rośliny, które wykształciły układ przewodzący z wyspecjalizowaną tkanką przewodzącą wodę – drewnem, tworzą grupę **roślin naczyniowych**. Należą do niej paprotniki, rośliny nagozalążkowe i rośliny okrytozalążkowe.

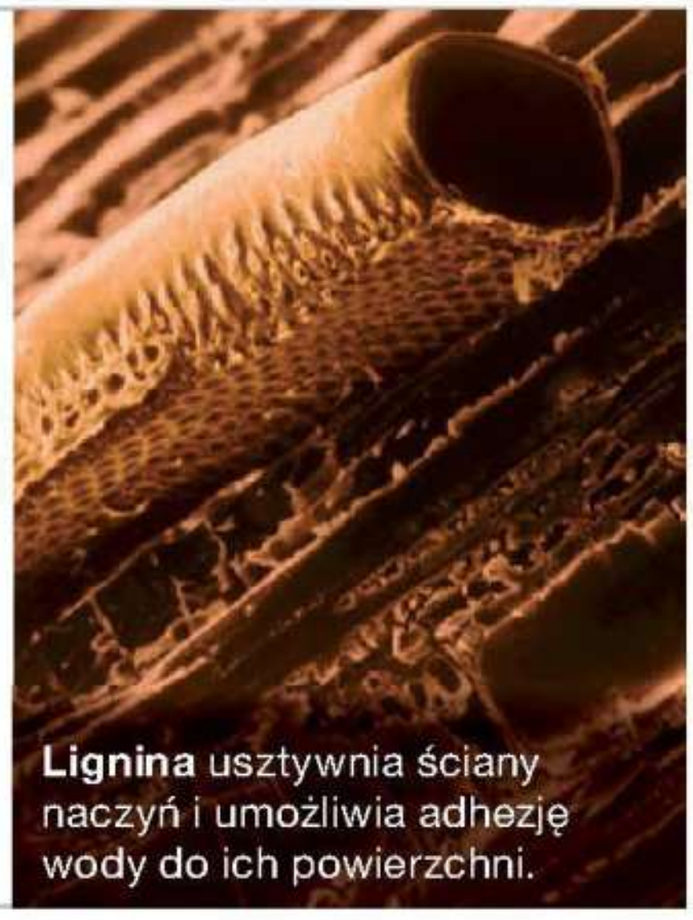
Ważne zmiany w związku z opanowaniem środowiska lądowego dotyczyły również procesów rozmnażania. Zapłodnienie u starszych ewolucyjnie roślin – mszaków i paprotników – odbywa się w obecności wody, tak jak u ich żyjących w wodzie przodków. Jednak **zarodniki mszaków i paprotników uzyskały charakter przetrwalnikowy** i dzięki zawartości w ścianach substancji lipidowej – sporopoleniny – stały się odporne na wysuszenie. Z kolei rośliny nagozalążkowe i okrytozalążkowe wytworzyły **organy generatywne – kwiaty** – dzięki którym uniezależniły proces zapłodnienia od wody.

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	z reguły niewielkie	bardzo duże

Lignina – przełom w ewolucji roślin

Przełomowym wydarzeniem w ewolucji roślin lądowych stała się zdolność komórek do wytwarzania ligniny. Związek ten wysyca ściany komórkowe w elementach przewodzących wodę – naczyniach lub cewkach. Dzięki licznym ładunkom ujemnym lignina zapewnia dobrą adhezję wody do ścian komórkowych i jej transport w górę rośliny. Ze względu na twardość i sztywność stanowi również wzmocnienie mechaniczne organów roślinnych. Dzięki wytwarzaniu ligniny rośliny lądowe mogły powiększać swoje rozmiary, a co za tym idzie – efektywniej wykorzystywać energię świetlną.

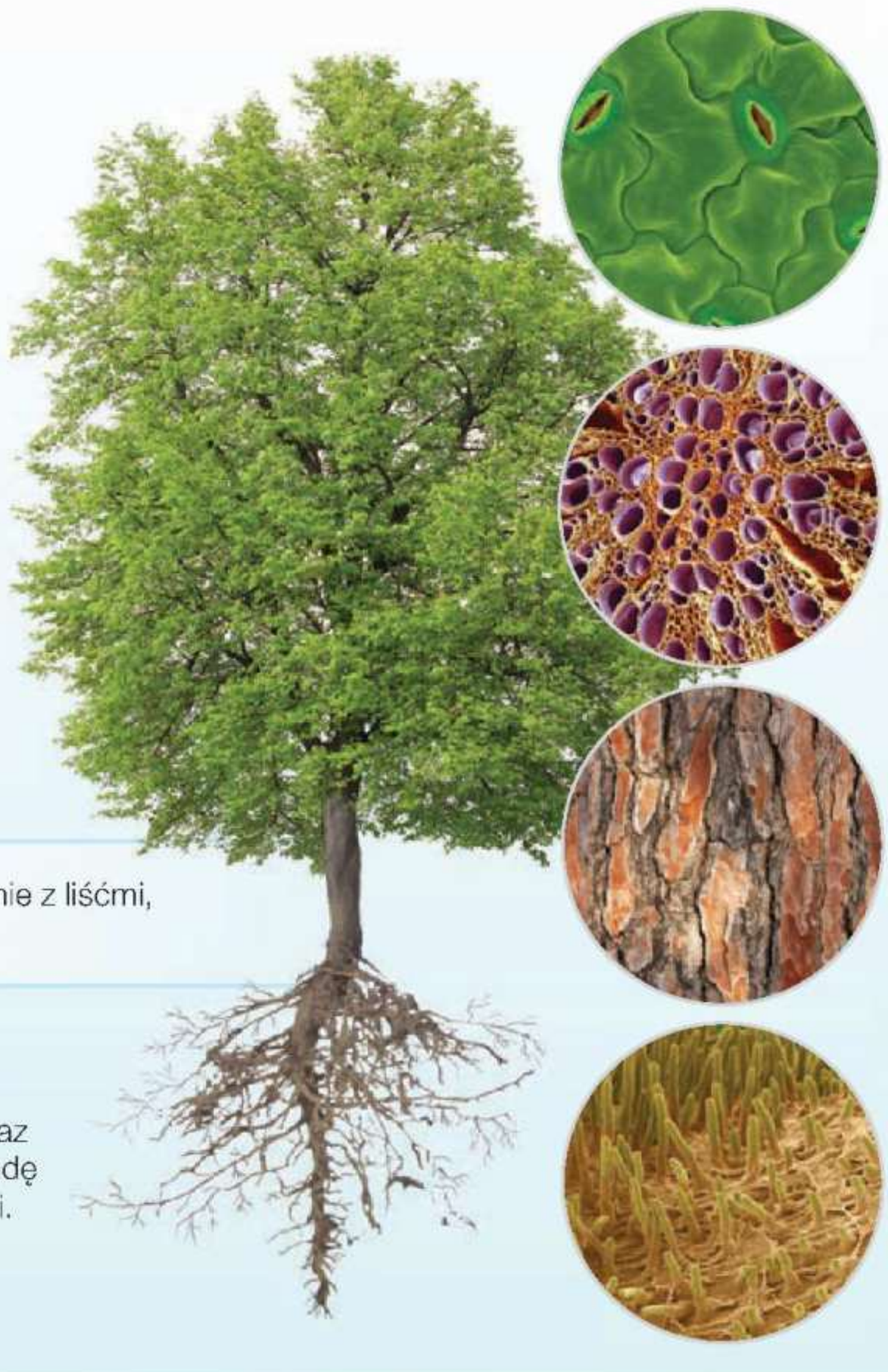


Lignina usztywnia ściany naczyń i umożliwia adhezję wody do ich powierzchni.

Adaptacje roślin okrytozalążkowych do środowiska lądowego

Dominującą grupą roślin lądowych są rośliny okrytozalążkowe, do których należą m.in. drzewa liściaste. Ich sporofity składają się z korzeni, łodyg, liści oraz okresowo kwiatów, z których powstają owoce. Zespoły tkanek tworzą funkcjonalne układy tkankowe, które umożliwiają pobieranie i transport wody, zapewniają odporność na złamanie, a także chronią przed niekorzystną temperaturą.

Organy wegetatywne



Liście przeprowadzają fotosyntezę oraz umożliwiają transport wody w roślinie.

Łodyga łączy korzenie z liśćmi, kwiatami i owocami.

Korzenie utrzymują roślinę w podłożu oraz pobierają z gleby wodę z solami mineralnymi.

Tkanki

Skórka liści zabezpiecza roślinę m.in. przed nadmierną utratą wody. Szparki znajdujące się w skórce umożliwiają wymianę gazową między rośliną a środowiskiem zewnętrznym.

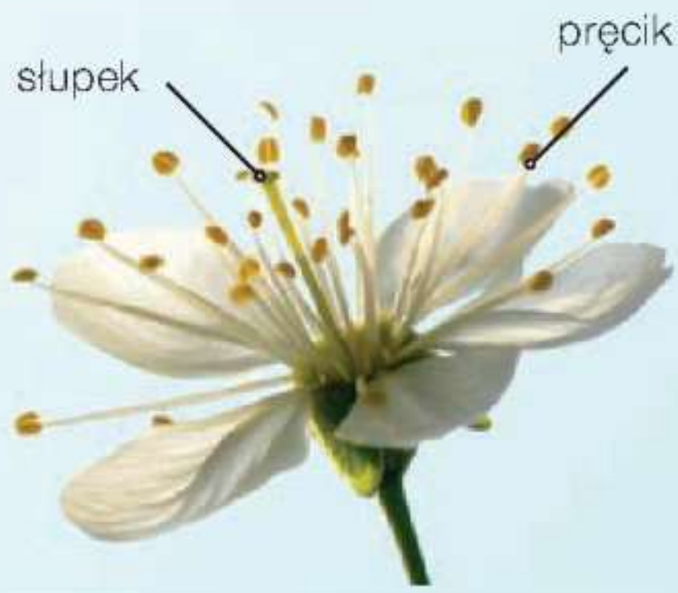
Drewno umożliwia pionowy transport wody w roślinie. Pełni również funkcję wzmacniającą.

Korkowica chroni roślinę m.in. przed niekorzystną temperaturą, nadmierną utratą wody i urazami mechanicznymi.

Skórka korzeni odpowiada głównie za pobieranie z gleby wody z solami mineralnymi.

Organy generatywne

Kwiaty odpowiadają za rozmnażanie się rośliny. Zawierają organy płciowe męskie – pręciki – i żeńskie – słupki. W obrębie kwiatów dochodzi do wytworzenia mejospor, a następnie silnie zredukowanych gametofitów i gamet. Proces zapłodnienia odbywa się bez udziału wody, dzięki wytwarzaniu przez gametofity męskie specjalnej struktury przenoszącej jądra plemnikowe, zwanej łagiewką pyłkową. Wynikiem zapłodnienia jest wytworzenie nasienia, które zawiera zarodek sporofitu.



Rośliny zarodnikowe i nasienne

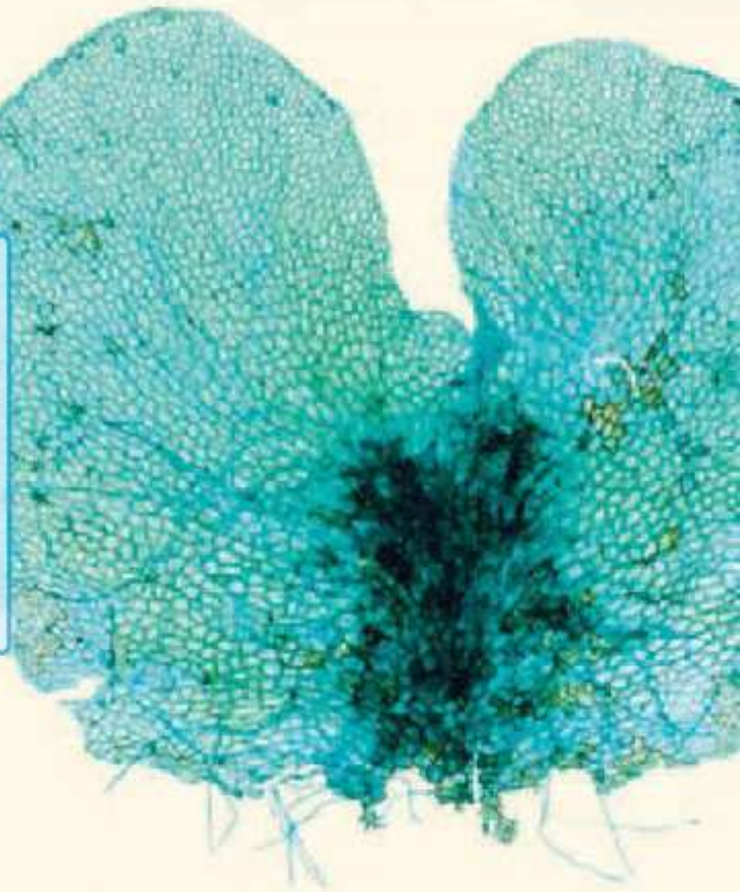
Ze względu na sposób rozprzestrzeniania się rośliny lądowe dzielimy na zarodnikowe oraz nasienne.

Rośliny zarodnikowe

Do roślin zarodnikowych należą mszaki i paprotniki. Ich rozprzestrzenianie się w środowisku zachodzi za pomocą zarodników (mejospor) o charakterze przetrwalnikowym. Zarodniki powstają w zarodniach sporofitu, następnie wysypują się z nich i kiełkują w gametofity.

Cykl rozwojowy roślin zarodnikowych

Sporofit.



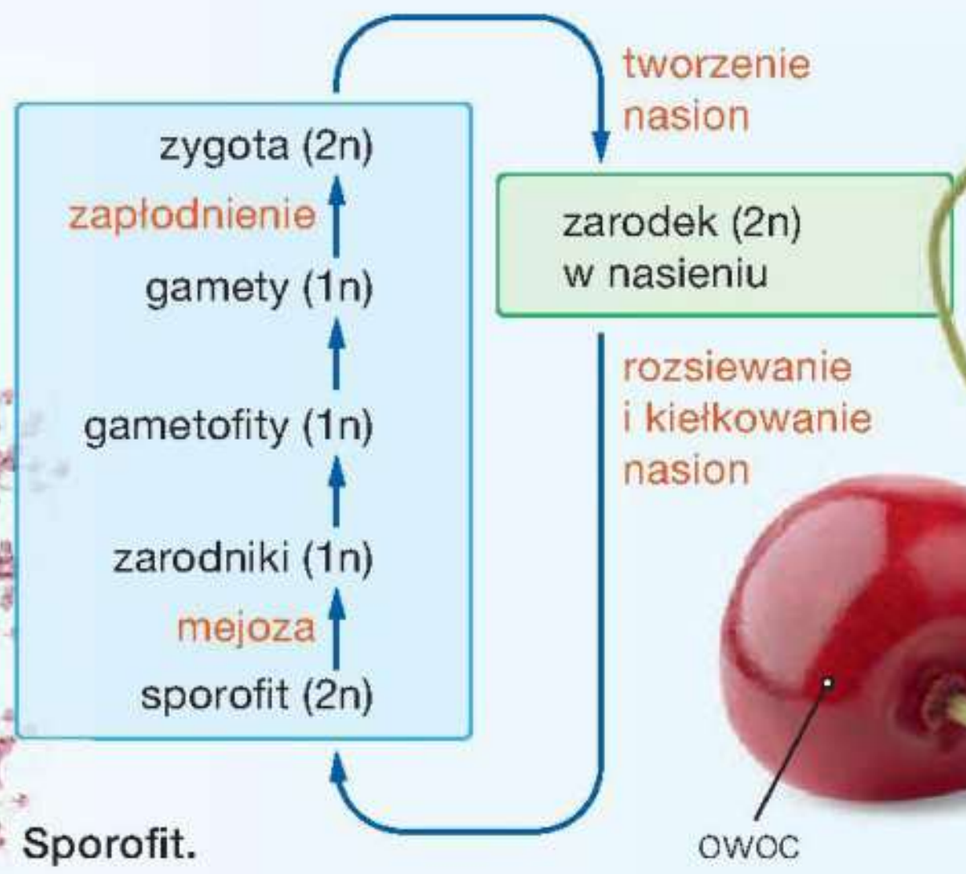
Gametofit.

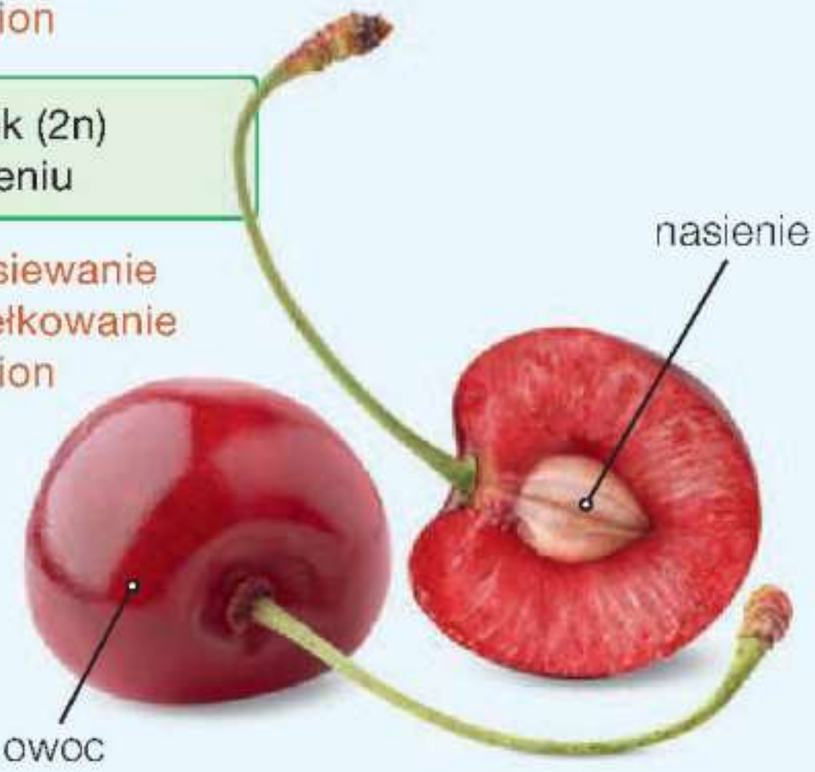
Rośliny nasienne

Do roślin nasiennych należą rośliny nagozalążkowe i okrytozalążkowe. Rozwój zarodników (mejospor) odbywa się u nich w kwiecie. Tam również powstają gametofity i zachodzi proces zapłodnienia, w wyniku którego rozwija się zarodek. Zarodek jest głównym elementem nasienia – struktury o charakterze przetrwalnikowym, rozsiewanej przez wiatr, wodę lub zwierzęta.

Cykl rozwojowy roślin nasiennych

Sporofit.





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 są u nich słabo wykształcone, a tkanki wzmacniające nie występują.

Grzybienie białe (*Nymphaea alba*).

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 (*Oxalis acetosella*).

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 (*Chrysanthemum segetum*).

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 (*Agave*).

Polecenia kontrolne

1. Wymień cechy świadczące o bliskim pokrewieństwie roślin lądowych i zielenic.
2. Wyjaśnij, dlaczego rośliny lądowe wykształciły tkanki okrywające, przewodzące i wzmacniające.
3. Określ różnicę między roślinami zarodnikowymi a roślinami nasiennymi.

3.3. Tkanki roślinne

Zwróć uwagę na:
- rodzaje tkanek roślinnych,
- cechy charakterystyczne tkanek roślinnych,
- związek między budową a funkcją tkanek roślinnych.

W organizmach wielokomórkowych komórki o wspólnym pochodzeniu i podobnej budowie współpracują ze sobą w pełnieniu określonych funkcji. Tworzą one zespoły nazywane tkankami. Wykształcenie tkanek, zwłaszcza okrywających, przewodzących i wzmacniających, umożliwiło roślinom naczyniowym opanowanie środowiska lądowego.

Rodzaje tkanek roślinnych

Przyjmując za kryterium zdolność komórek do dzielenia się, wśród tkanek roślinnych można wyróżnić **tkanki twórcze** oraz **tkanki stałe**. Tkanki twórcze są zbudowane z intensywnie dzielących się komórek. Dzięki tym podziałom możliwy jest wzrost roślin na długość i przyrost na grubość. Tkanki twórcze różnicują się w tkanki stałe, których komórki nie mają zwykle zdolności do podziałów, są za to wyspecjalizowane w pełnieniu określonych funkcji. Specjalizacja polega m.in. na zmianie kształtów komórek, redukcji niektórych organelli lub całych protoplastów. Do tkanek stałych należą:
- tkanki okrywające,
- tkanki miękiszowe,
- tkanki wzmacniające,
- 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. Pozostała jedynie ściana komórkowa, która oprócz celulozy i pektyn zawiera inne substancje, głównie ligninę lub suberynę.

Ze względu na poziom zróżnicowania komórek wchodzących w skład tkanki wyróżniamy z kolei **tkanki jednorodne** i **tkanki niejednorodne**. Pierwsze są zbudowane z komórek jednego typu, a drugie – z kilku typów komórek. Do tkanek niejednorodnych należą tkanki przewodzące oraz wtórna tkanka okrywająca – korkowica.

Tkanki twórcze

Tkanki twórcze, zwane również **tkankami merystematycznymi** lub **merystemami**, są zbudowane z żywych komórek. Komórki te mają cienkie, wyłącznie pierwotne ściany komórkowe, duże jądra, a w ich cytoplazmie znajduje się kilka małych wakuol. Komórki tkanek twórczych regularnie się dzielą. W wyniku podziałów powstają komórki potomne, które ulegają specjalizacji i tworzą tkanki stałe. Dzięki

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

temu zachodzi wzrost organów już istniejących lub tworzą się nowe organy. W zależności od mechanizmu wzrostu wyróżniamy:

- **wzrost dyfuzyjny ograniczony**, który zachodzi w liściach, kwiatach i owocach. Wzrost ten odbywa się we wszystkich miejscach organu i ustaje wtedy, gdy dany organ osiągnie odpowiednią wielkość oraz kształt;
- **wzrost zlokalizowany nieograniczony**, który zachodzi w korzeniach i łodygach. Wzrost ten odbywa się w określonych miejscach organu przez całe życie rośliny.

Merystemy pierwotne

Niektóre tkanki twórcze, zwane merystemami pierwotnymi, 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 oraz ich pierwotny przyrost na grubość. W konsekwencji tych procesów organy uzyskują **pierwotną budowę anatomiczną**.

U niektórych gatunków roślin wzrost łodyg zapewniają **merystemy wstawowe** (interkalarne). Są one rozmieszczone wzdłuż łodygi u podstaw międzywęźli, nad nasadami liści. Wzrost łodyg dzięki merystemom wstawowym jest szybszy niż wzrost łodyg dzięki stożkom wzrostu, ponieważ zachodzi jednocześnie w wielu miejscach organu.

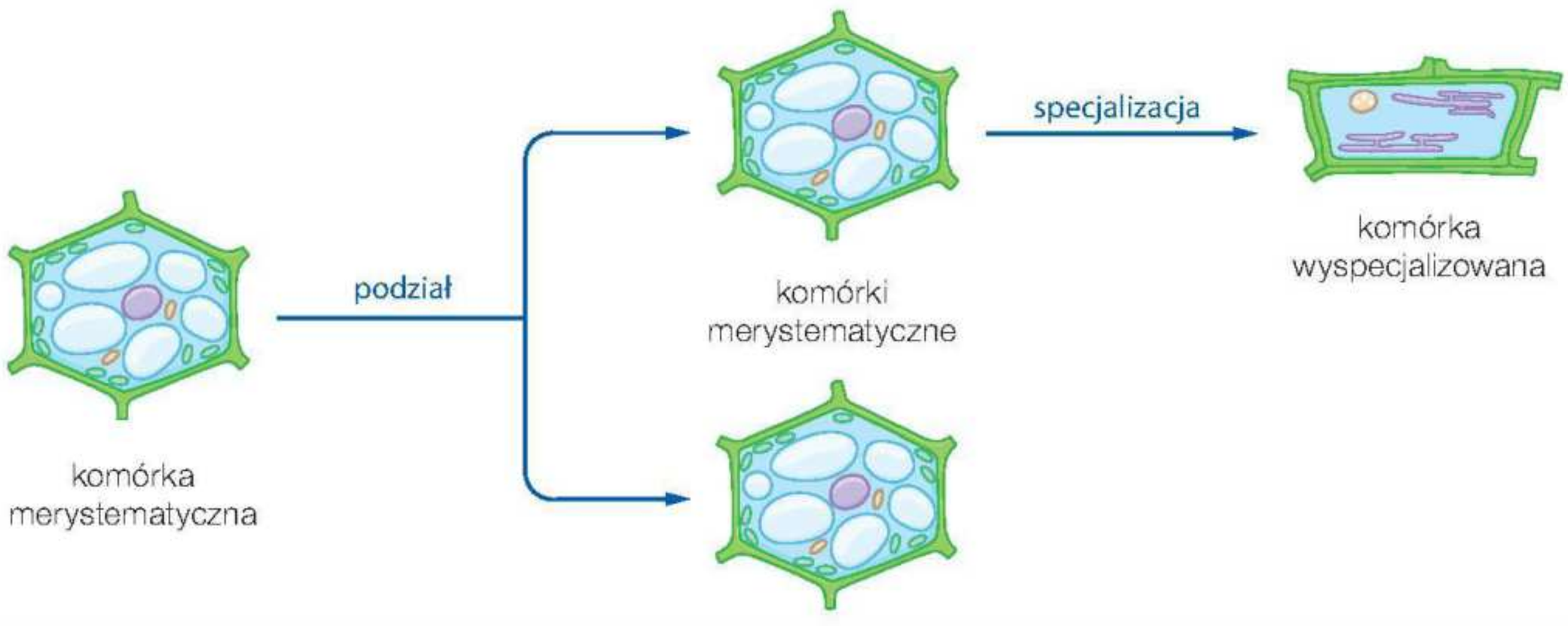
Merystemy wtórne

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). Miazga wytwarza nowe komórki tkanki przewodzącej, co powoduje wtórny przyrost łodyg i korzeni na grubość. Miazga korkotwórcza wytwarza natomiast elementy wtórnej tkanki okrywającej – korkowicy. W wyniku działania merystemów bocznych korzenie i łodygi uzyskują **wtórną budowę anatomiczną**;
- **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 nieograniczony

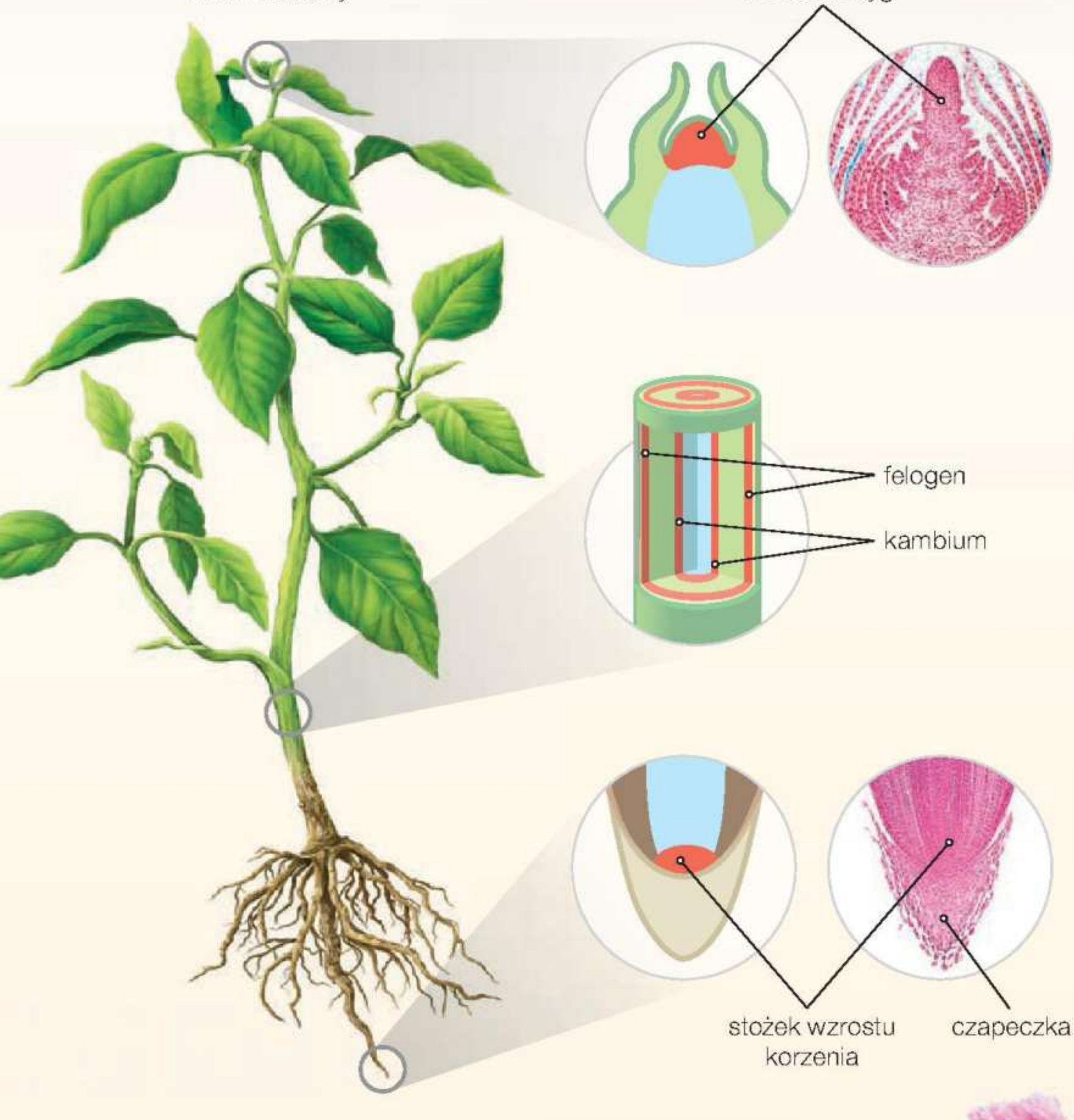
W stożkach wzrostu pula komórek merystematycznych jest ciągle odnawiana. Gdy komórka merystematyczna ulega podziałowi, jedna z komórek potomnych pozostaje komórką merystematyczną, a druga ulega specjalizacji w komórkę tkanki stałej. Dzięki temu wzrost rośliny jest nieograniczony i trwa przez całe jej życie.



Wzrost roślin – merystemy pierwotne i wtórne

Wzrost roślin zachodzi w wyniku działania merystemów pierwotnych i wtórnych. Merystemy pierwotne to stożki wzrostu i merystemy wstawowe. Natomiast merystemy wtórne to kambium oraz felogen.

Komórki tkanki twórczej (obraz spod mikroskopu optycznego).



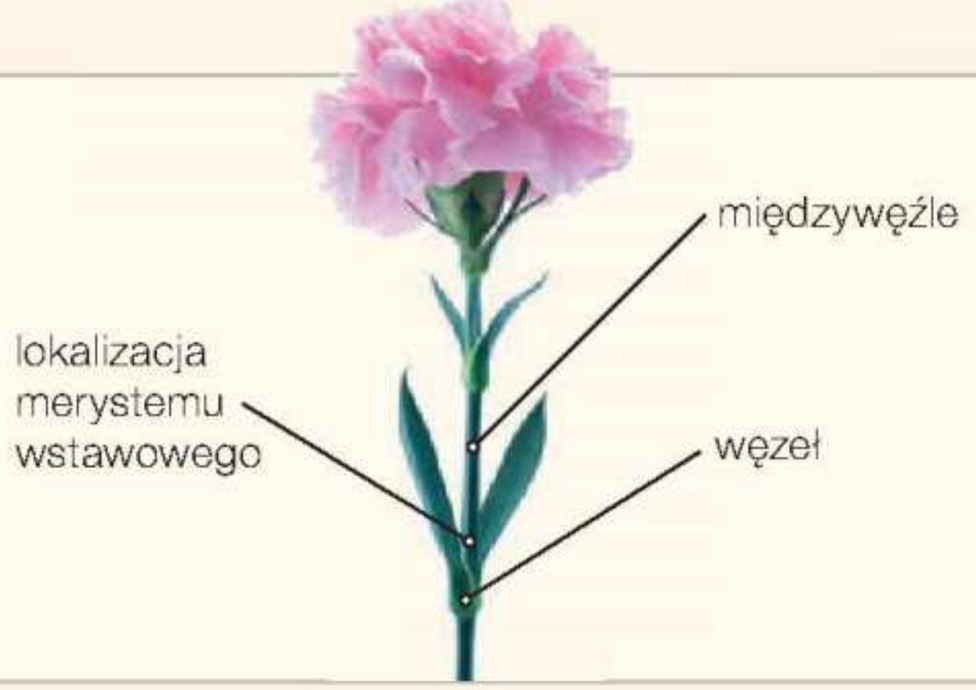
Stożek wzrostu łodygi jest zwykle osłonięty zawiązkami liści i tworzy razem z nimi pąk wierzchołkowy. Wynikiem działania tego merystemu jest wzrost łodygi na długość i w niewielkim stopniu na grubość.

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. Są naturalnymi barierami ochronnymi, które zabezpieczają roślinę przed zmianami składu chemicznego, uszkodzeniami mechanicznymi oraz wnikaniem drobnoustrojów chorobotwórczych. Jednocześnie pośredniczą w wymianie substancji między wnętrzem rośliny 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 komórek martwych. Okrywa organy o budowie wtórnej.

Epiderma

U większości roślin epiderma jest zbudowana z jednej warstwy żywych, ściśle do siebie przylegających komórek. Zewnętrzne ściany komórek epidermy są zwykle grubsze i powleczone ochronną warstwą **kutyny** – hydrofobowej substancji o charakterze lipidowym. Warstwa ta, zwana **kutykulą**, chroni roślinę przed nadmiernym wyparowywaniem wody, wnikaniem drobnoustrojów chorobotwórczych i urazami mechanicznymi. U niektórych gatunków roślin epiderma jest również pokryta warstwą **wosków**. Odbijają one światło słoneczne, zabezpieczając roślinę przed przegrzaniem, oraz stanowią dodatkową ochronę przed nadmierną transpiracją.

Wymiana gazowa między wnętrzem rośliny a środowiskiem zewnętrznym zachodzi przez **aparaty szparkowe**. Struktury te są zwykle zbudowane z dwóch **komórek szparkowych**, rozdzielonych otworem – **szparką**. W zależności od warunków środowiska szparki mogą się otwierać lub zamykać, regulując w ten sposób transpirację oraz wymianę tlenu i dwutlenku węgla. U większości roślin lądowych aparaty szparkowe występują przede wszystkim w dolnej skórce liścia.

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 do siebie przylegających komórek. Do jej głównych funkcji należą:

- ochrona wewnętrznych tkanek korzenia,
- pobieranie wody i soli mineralnych z roztworu glebowego.

Komórki ryzodermy mają liczne przystosowania, które umożliwiają wydajne wchłanianie wody z solami mineralnymi. Ich celulozowo-pektynowe ściany komórkowe są bardzo cienkie i nie mają na powierzchni warstwy kutykuli. Ponadto komórki ryzodermy zawierają duże wakuole i wytwarzają **włośniki** – długie wyrostki, które wielokrotnie zwiększają powierzchnię chłonną korzenia. Charakterystyczną cechą ryzodermy jest również brak aparatów szparkowych.

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 do siebie przylegających, wypełnionych powietrzem komórek. Ściany komórkowe komórek korka są powleczone substancją lipidową – **suberyną** – dlatego nie przepuszczają wody ani powietrza. Główną funkcją korka jest ochrona wnętrza organu przed utratą wody, uszkodzeniami mechanicznymi oraz wpływem zbyt wysokiej lub zbyt niskiej temperatury.

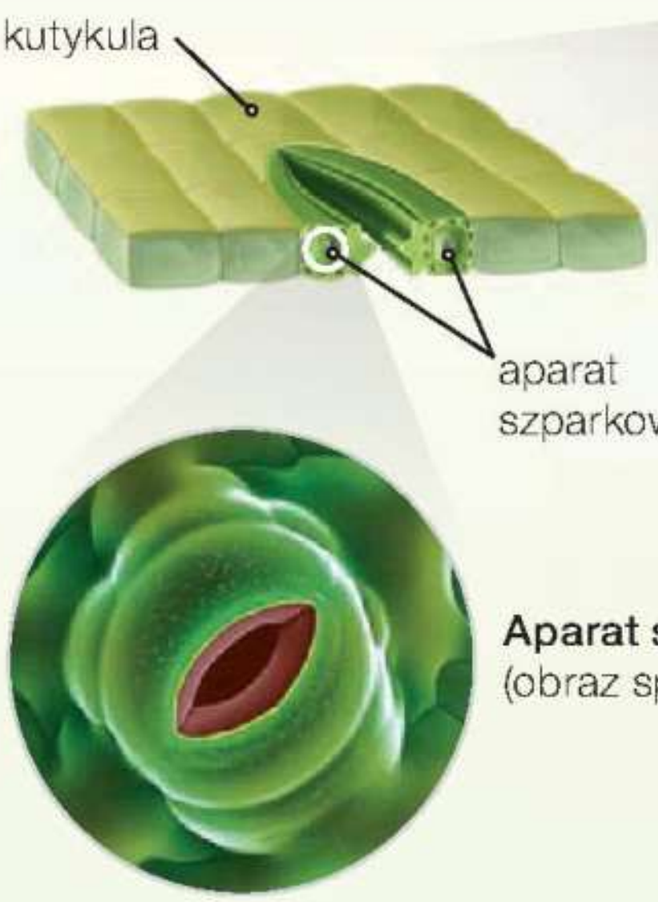
Tkanki okrywające

Tkanki okrywające występują na powierzchni wszystkich organów roślinnych. Izolują wnętrze rośliny od środowiska zewnętrznego, pełnią więc funkcję ochronną. Jednocześnie umożliwiają wymianę substancji między rośliną a środowiskiem zewnętrznym.

Skórka

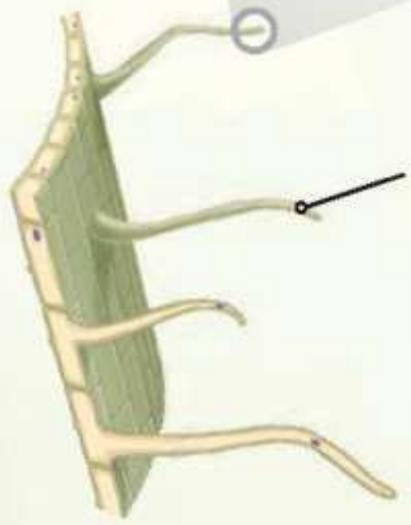
Skórka jest tkanką żywą, która okrywa organy o budowie pierwotnej.

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



Aparat szparkowy (obraz spod SEM).

Włośniki (obraz spod SEM).

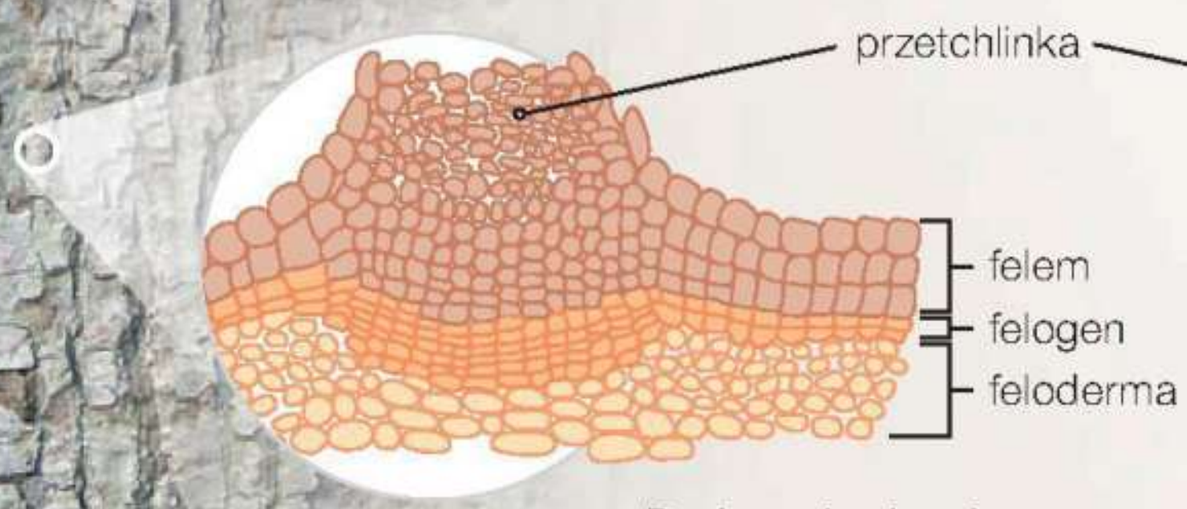


Ryzderma okrywa korzenie roślin. Jej komórki wytwarzają włośniki, które zwiększają powierzchnię chłonną korzenia, a tym samym wydajność pobierania wody przez roślinę.

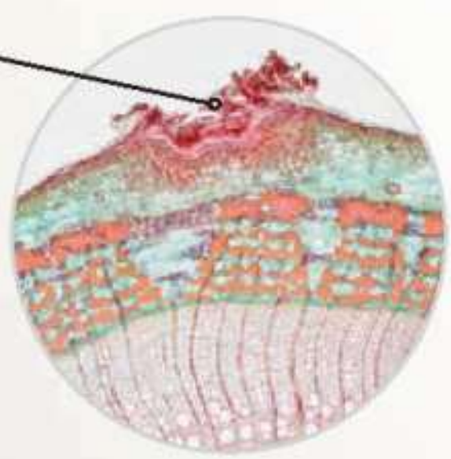
Korkowica

Korkowica jest tkanką niejednorodną, zbudowaną z komórek żywych i martwych. Okrywa organy o budowie wtórnej.

Korkowica okrywa korzenie i łodygi roślin drzewiastych. Jej główną warstwą o znaczeniu ochronnym jest korek. Chroni on wnętrze organu przed utratą wody, uszkodzeniami mechanicznymi oraz wpływem niekorzystnych temperatur. Wymiana gazowa pomiędzy wnętrzem organu a środowiskiem zewnętrznym jest możliwa dzięki obecności w korku przetchlinek.



Budowa korkowicy.



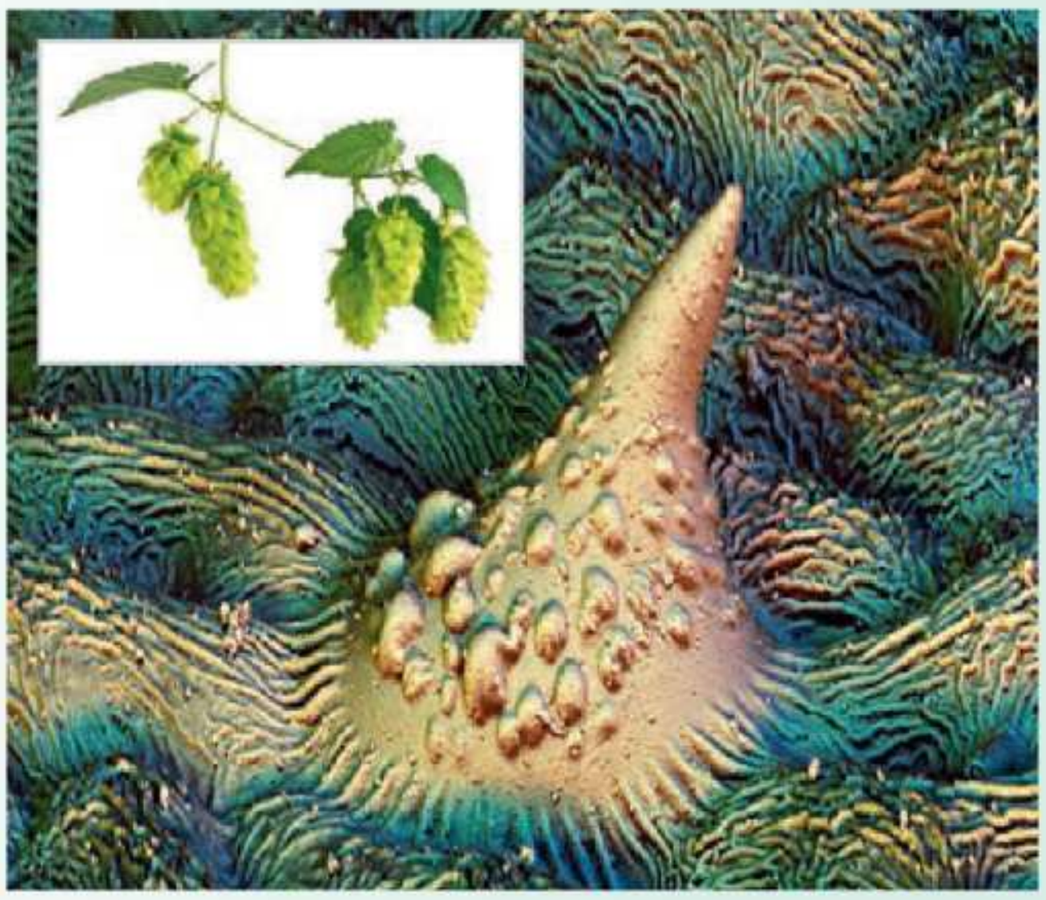
Korkowica (obraz spod mikroskopu optycznego).

Przetchlinki to miejsca, w których między luźno ułożonymi komórkami występują obszerne przestwory międzykomórkowe.

Dowiedz się więcej

Wytwory epidermy

U niektórych gatunków roślin skórka pędu jest gładka. Jednak u większości wytwarza ona na powierzchni różne struktury, m.in. włoski lub kolce. Włoski mogą być żywe albo martwe, jedno- lub wielokomórkowe. Włoski żywe zwiększają powierzchnię parowania rośliny, natomiast włoski martwe pełnią zwykle funkcję ochronną lub podporową. Mechaniczną ochronę przed roślinożercami zapewniają kolce – sztywne, ostre wytwory skórki i leżącego pod nią miękiszu. Do wytworów epidermy należą również aparaty szparkowe.



Na powierzchni pędów chmielu występują żywe włoski czepne. Są one zaopatrzone w haczyki, które umożliwiają owijanie się pędów rośliny wokół podpory.

Na powierzchni pędów róży występują kolce. Są one sztywnymi, ostrymi wytworami epidermy i leżącego pod nią miękiszu. Funkcją kolców jest mechaniczna ochrona rośliny przed roślinożercami.

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

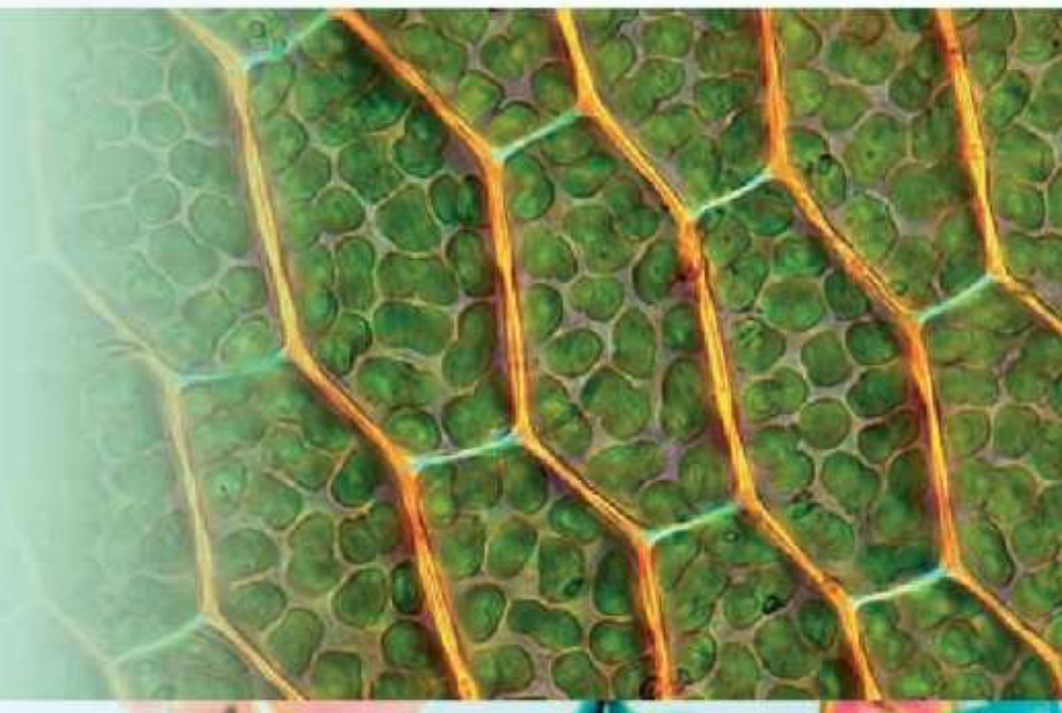
Na powierzchni pędów pokrzywy znajdują się żywe włoski parzące. Ich funkcją jest ochrona rośliny przed roślinożercami. Główki włosków przy dotknięciu odłamują się, a ostra krawędź przebija skórę zwierzęcia i wprowadza do niej parzącą wydzielinę.

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.

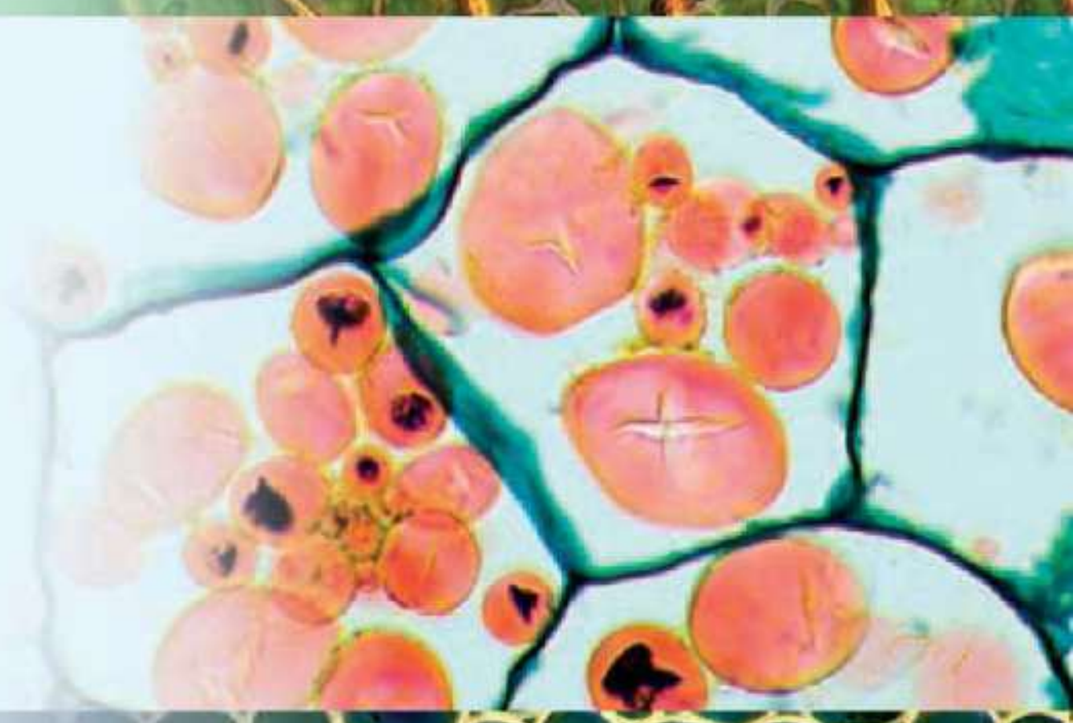
Miękisz asymilacyjny

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, gąbczasty i wieloramienny.



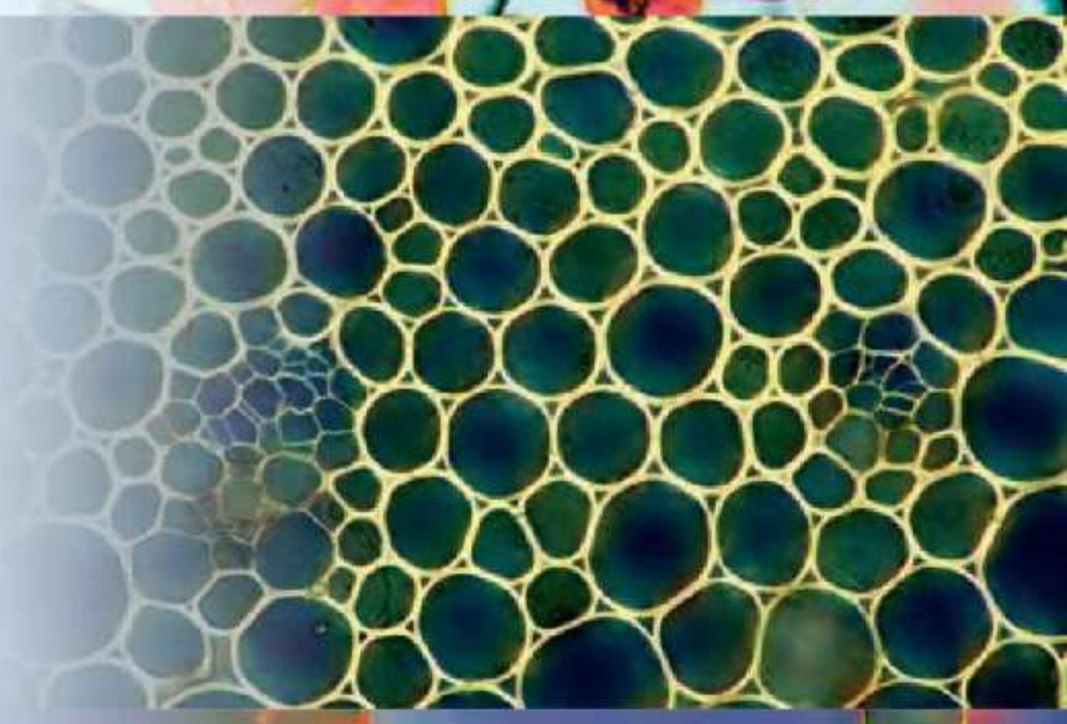
Miękisz spichrzowy

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.



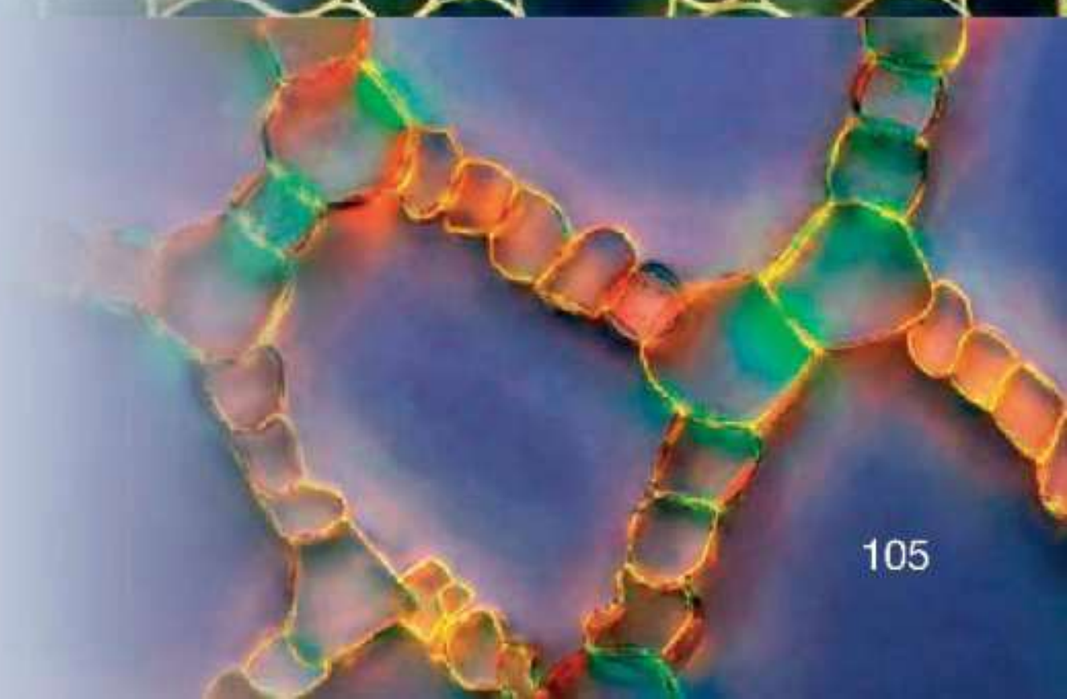
Miękisz zasadniczy

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. Charakteryzuje się dużymi przestworami międzykomórkowymi, w których gromadzą się gazy, głównie tlen, niezbędne do przemian metabolicznych. Ułatwia również unoszenie się pędów roślin w wodzie.

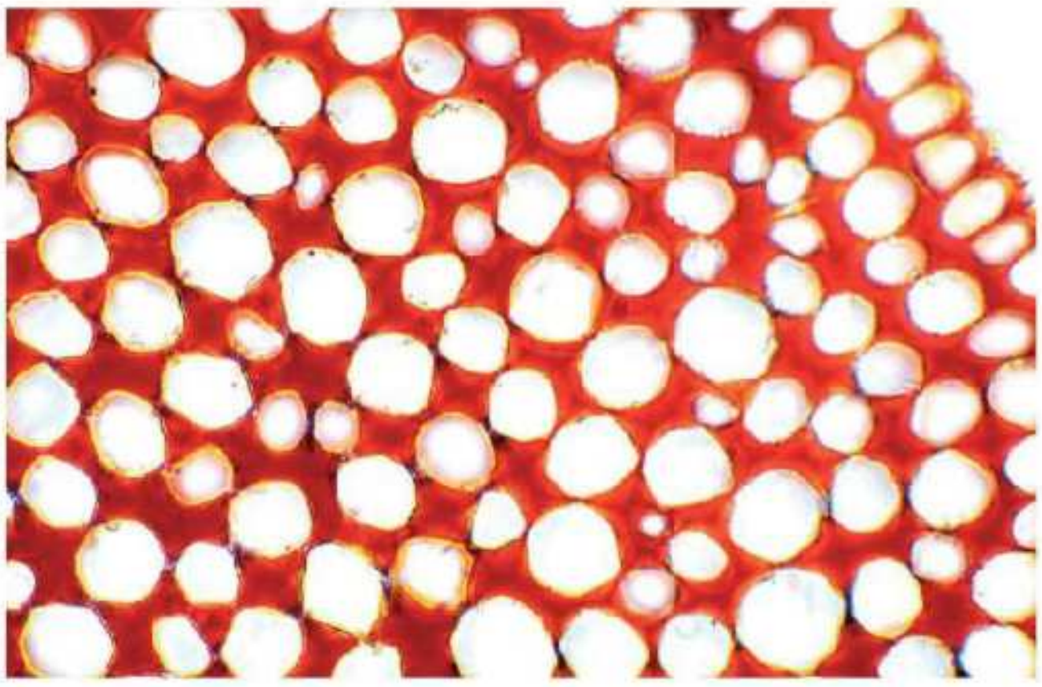


Tkanki wzmacniające

Tkanki wzmacniające – **kolenchyma** i **sklerenchyma** – umożliwiają funkcjonowanie roślin w warunkach małej gęstości powietrza i porywistych wiatrów. Chronią rośliny przed złamaniem, zgnieceniem lub rozerwaniem.

Kolenchyma

Kolenchyma, zwana również zwarcicą, jest zbudowana z **żywych**, wydłużonych, ściśle do siebie przylegających komórek o nierównomiernie zgrubiałych ścianach komórkowych. Ściany te składają się głównie z celulozy i pektyn, a ich charakterystyczną cechą 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.

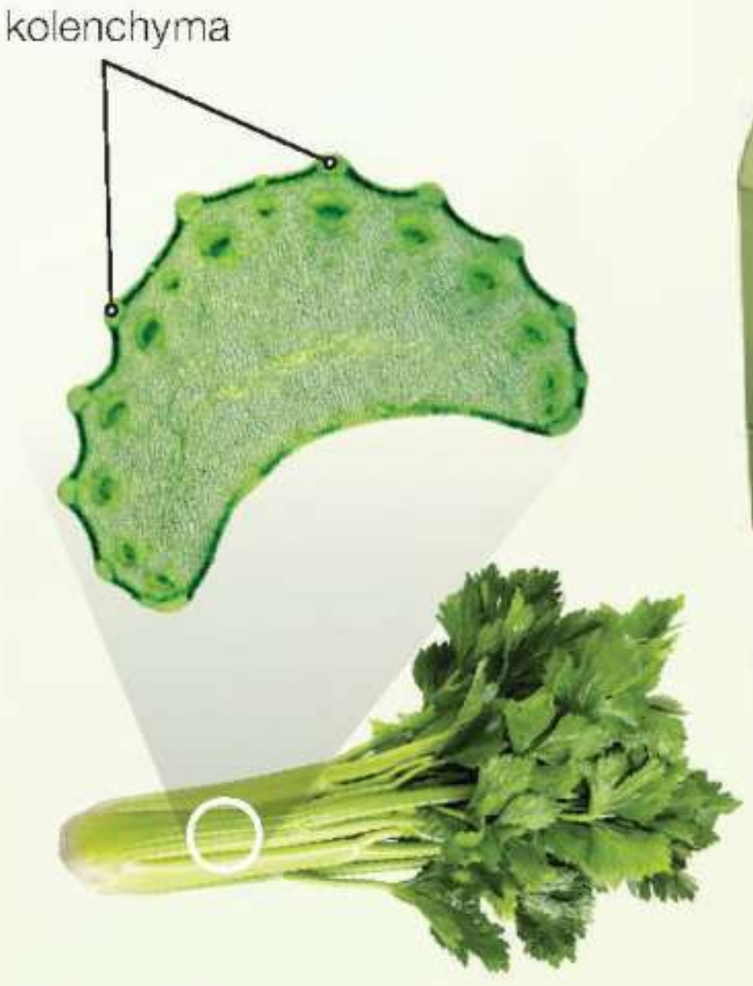


Kolenchyma (obraz spod mikroskopu optycznego). Ściany komórkowe zostały wybarwione na czerwony kolor.

Występowanie kolenchymy

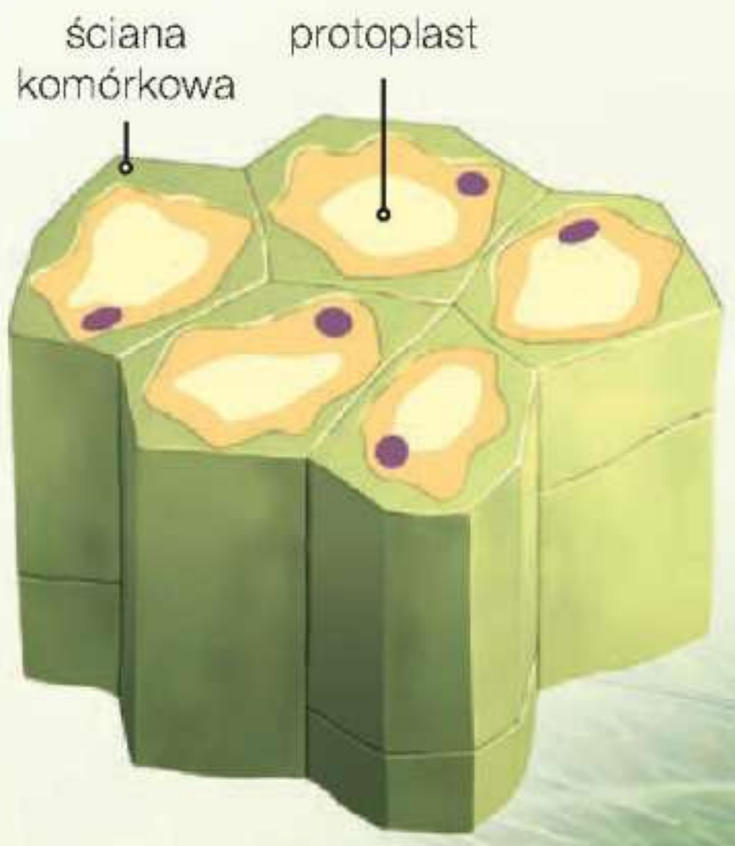
Kolenchyma występuje głównie w rosnących pędach roślin. U roślin dojrzałych znajduje się w peryferycznych częściach łodyg oraz w ogonkach liściowych, którym nadaje elastyczność. W ten sposób chroni je przed złamaniem lub rozerwaniem.

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

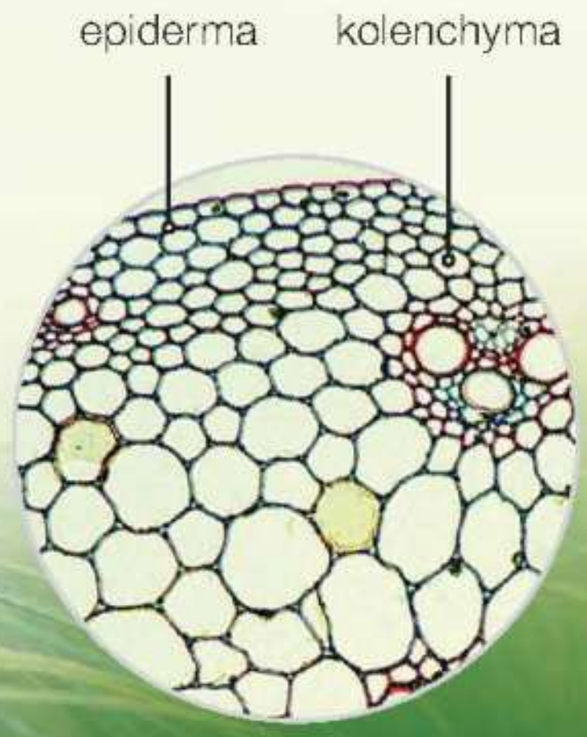


Liście roślin poruszają się pod wpływem wiatru lub opadów. Nie łamią się jednak dzięki elastycznym pasmom lub pochwom zbudowanym z kolenchymy.

Komórki kolenchymy



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

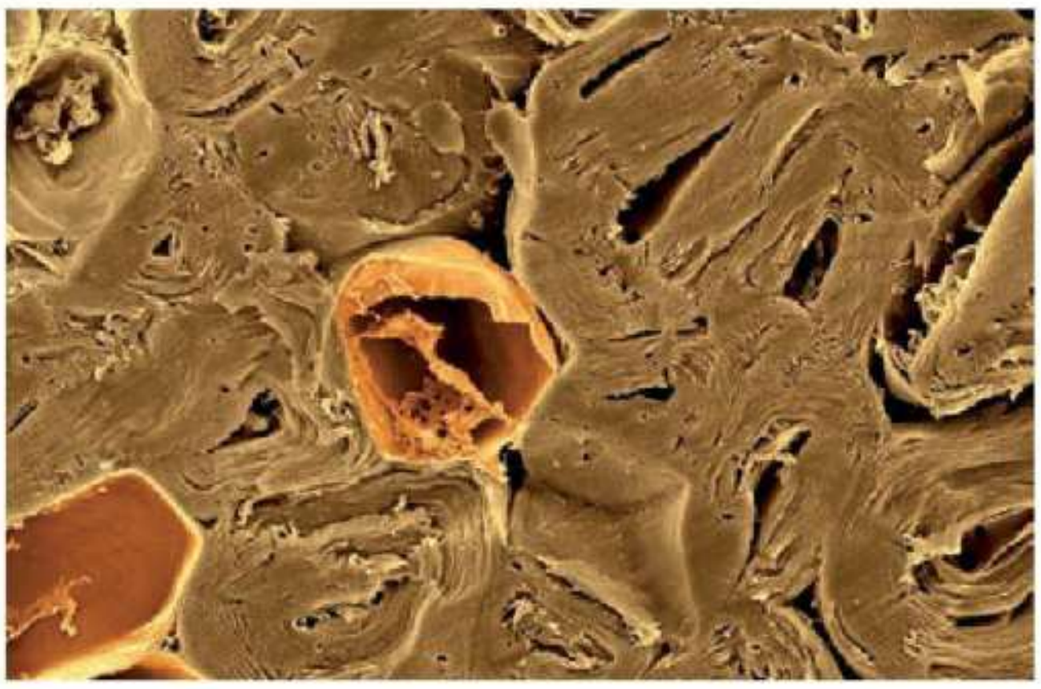


Pędy roślin zielnych, np. traw, wyginają się pod wpływem podmuchów wiatru, ale się nie łamią. Jest to możliwe dzięki odwracalnemu wydłużaniu i wyginaniu się komórek kolenchymy.

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. Szczególnie 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) występują m.in. jako komórki kamienne w owocach gruszy. Ich funkcją jest ochrona nasion, w których znajdują się zarodki rośliny.

Występowanie sklerenchymy

Sklerenchyma występuje zazwyczaj w dojrzałych korzeniach i łodygach roślin. Często otacza struktury o szczególnym znaczeniu fizjologicznym, m.in. wiązki przewodzące, oraz – jako składnik łupin nasiennych i owocni – zarodki roślinne.

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

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

Tkanki przewodzące

Dobrze rozwinięte tkanki przewodzące występują u paprotników i roślin nasiennych. Ich funkcją jest transport 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 kilku typów komórek. Za transport wody odpowiadają martwe elementy przewodzące drewna – **cewki** lub **naczynia**. Ich ściany komórkowe są wysycone **ligniną**, która umożliwia przyleganie wody do powierzchni ścian oraz jej pionowy transport z korzeni do pędów. Związek ten nadaje również ścianom komórkowym dużą twardość i dzięki temu – odporność na zgniatanie. W ten sposób zapewnia elementom przewodzącym drożność.

W ścianach komórkowych cewek i naczyń znajdują się liczne otwory zwane **jamkami**. Jamki są zaopatrzone w błony zamykające.

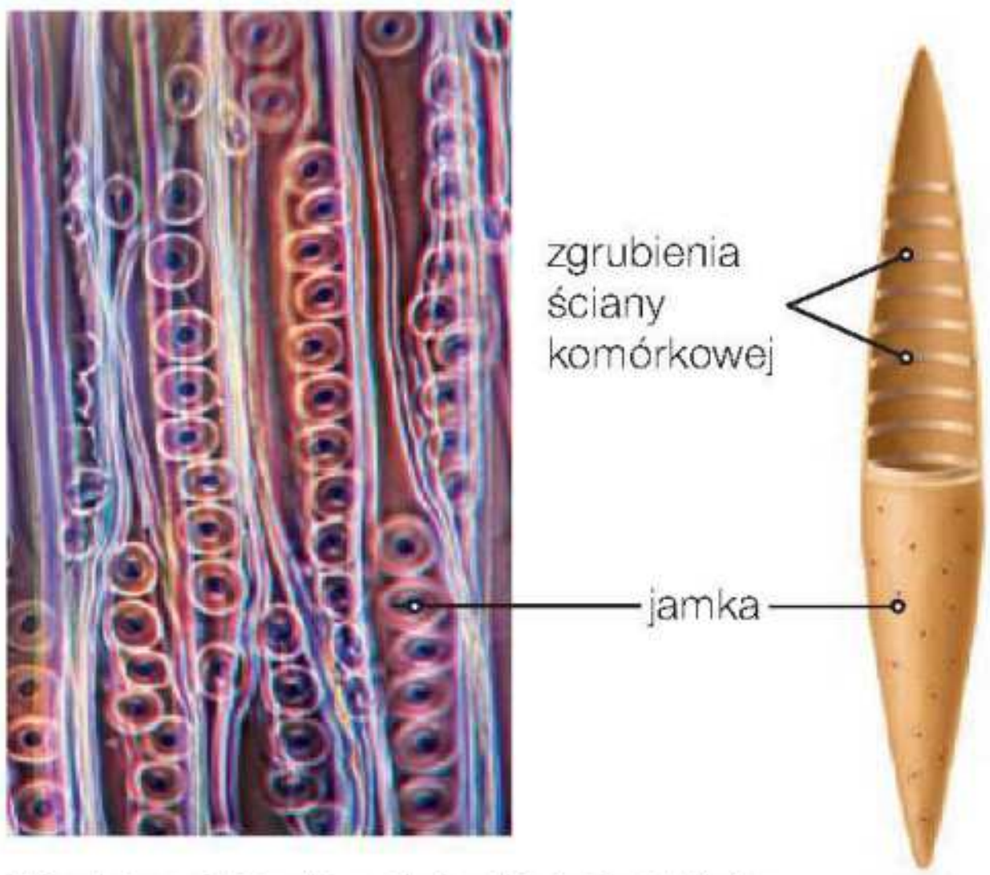
Cewki występują w drewnie paprotników oraz roślin nagozalążkowych. Są to wydłużone, puste komórki o wrzecionowatym kształcie, które ściśle do siebie przylegają. W ich zdrewniałych ścianach komórkowych znajdują się liczne jamki. Woda, która przemieszcza się w cewkach, przepływa z komórki do komórki przez błony zamykające jamki.

Naczynia występują w drewnie roślin okrytozalążkowych. Są to długie przewody zbudowane z **członów naczyń** – pustych komórek o zdrewniałych ścianach komórkowych. W ścianach poprzecznych tych komórek znajdują się duże otwory, którymi woda przepływa w górę naczynia ciągłym strumieniem. Natomiast ściany podłużne mają liczne jamki, którymi woda przepływa między naczyniami. Dzięki temu transport wody w naczyniach jest znacznie wydajniejszy niż w cewkach.

Oprócz elementów przewodzących w drewnie występują martwe włókna sklerenchymatyczne, zwane również **włóknami drzewnymi**, oraz żywy **miękisz drzewny**. Włókna drzewne pełnią funkcję wzmacniającą, natomiast miękisz drzewny jest głównie tkanką spichrzową.

Cewki i naczynia

Komórki przewodzące drewna są martwe, długie, zaopatrzone w jamki i często pozbawione ścian poprzecznych. Dlatego sprawnie transportują wodę z solami mineralnymi w obrębie rośliny.



Cewki występują w drewnie paprotników i roślin nagozalążkowych.

Naczynia występują w drewnie roślin okrytozalążkowych.

Łyko

Łyko (floem) **przewodzi związki organiczne** między różnymi organami rośliny. Do związków tych należą głównie **produkty fotosyntezy**, które powstają w liściach oraz zielonych łodygach, skąd są transportowane do pozostałych części rośliny. Łyko jest tkanką niejednorodną, zbudowaną z kilku typów komórek. Za transport związków organicznych odpowiadają elementy przewodzące łyka – **komórki sitowe** i **rurki sitowe**. Komórki sitowe występują u paprotników oraz roślin nagozalążkowych. Natomiast rurki sitowe to długie ciągi komórek, zwanych **członami rurek sitowych**, które występują u roślin okrytozalążkowych. Oba typy komórek przewodzących łyka są żywe i mają **celulozowo-pektynowe ściany komórkowe**. W ścianach tych znajdują się pory zgrupowane w tzw. **pola sitowe** (sita). Przez pory pól sitowych przechodzą grube pasma cytoplazmy łączące protoplasty sąsiadujących komórek. W komórkach sitowych pola sitowe są rozrzucone w ścianach w sposób nieregularny. W członach rurek sitowych pola sitowe o dużych porach znajdują się w ścianach poprzecznych, a pola sitowe o mniejszych porach – w ścianach podłużnych.

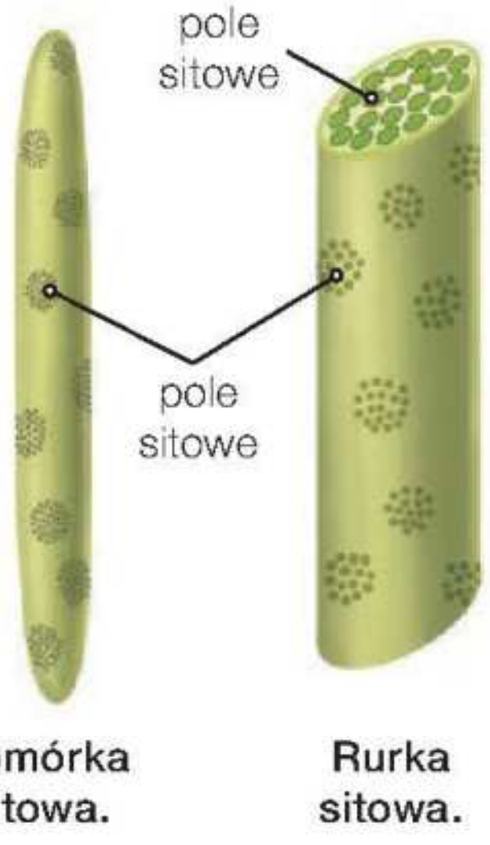
Protoplasty komórek przewodzących łyka nie mają jądra komórkowego ani aparatów Golgiego. Siateczka śródplazmatyczna jest w nich słabo rozwinięta, a mitochondria nieliczne. Rozpadowi ulega także tonoplast – błona otaczająca wakuolę. Cechą charakterystyczną są natomiast rozdęte plastydy, magazynujące skrobię lub białko.

Do członów rurek sitowych przylegają **komórki przyrurkowe**, które zawierają wszystkie organelle typowe dla komórek roślinnych. Odznaczają się one dużą liczbą mitochondriów, w których zachodzi intensywna synteza ATP. Komórki przyrurkowe sterują metabolizmem rurek sitowych oraz zaopatrują je w ATP.

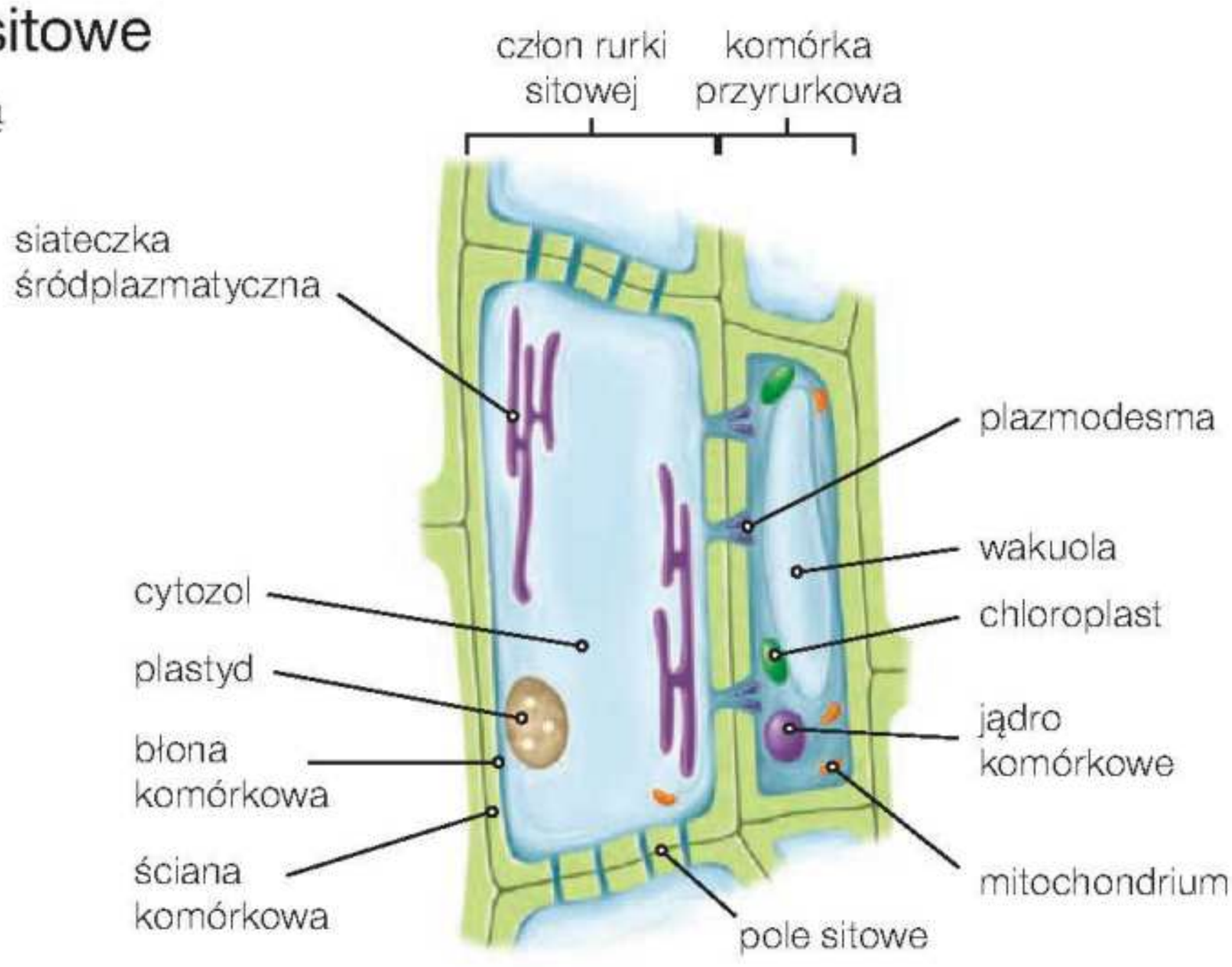
Oprócz elementów przewodzących w łyku występują martwe włókna sklerenchymatyczne, zwane również **włóknami łykowymi**, oraz żywy **miękisz łykowy**. Włókna łykowe pełnią funkcję wzmacniającą, natomiast miękisz łykowy odgrywa głównie rolę tkanki spichrzowej.

Komórki sitowe i rurki sitowe

Komórki przewodzące łyka mają wydłużony kształt.



Komórka sitowa. **Rurka sitowa.**



Rurki sitowe nie mają większości organelli, w tym jądra komórkowego. Dzięki temu sprawnie transportują związki organiczne w obrębie rośliny.

Wiązki przewodzące

W organach roślinnych drewno i łyko tworzą wiązki przewodzące: proste oraz złożone. **Wiązki proste** są zbudowane tylko z drewna lub tylko z łyka. Natomiast **wiązki złożone** składają się z obu typów tkanek. W zależności od wzajemnego ułożenia drewna i łyka wyróżniamy m.in. wiązki koncentryczne oraz naprzeciwległe. Wiązki naprzeciwległe mogą być zamknięte – jeśli nie mają warstwy kambium – lub otwarte – jeśli między drewnem a łykiem występuje warstwa kambium.

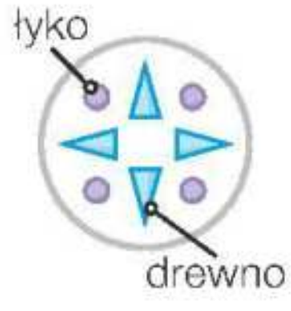
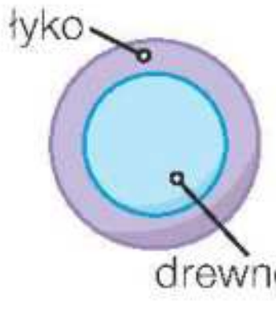
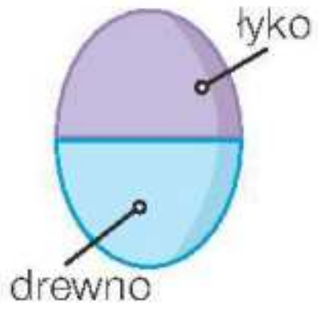
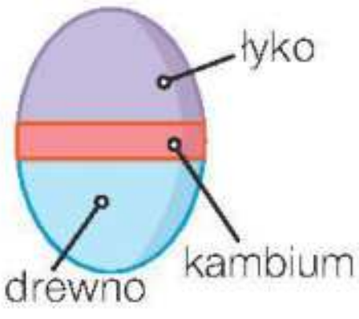
Utwory wydzielnicze

W roślinach znajdują się pojedyncze komórki lub zespoły komórek, które wytwarzają i wydzielają na zewnątrz związki organiczne o różnych funkcjach.

Utwory wydzielnicze zewnętrzne wydzielają substancje na zewnątrz organizmu rośliny. Należą do nich m.in.:

- komórki wydzielnicze epidermy, które uwalniają olejki eteryczne; ich funkcją jest np. przywabianie zwierząt zapylających kwiaty,
- miodniki, które występują w kwiatach i wydzielają nektar; ich funkcją jest przywabianie zwierząt zapylających kwiaty,
- hydatody (szparki wodne, wypotniki), które występują na powierzchni liści; ich funkcją jest wydzielanie nadmiaru wody,
- włoski trawienno-chłonne, które występują na powierzchni liści u niektórych roślin mięsożernych, np. u rosiczki; umożliwiają one trawienie schwytanych zwierząt i wchłanianie drobnocząsteczkowych produktów rozkładu.

Utwory wydzielnicze wewnętrzne wytwarzają substancje gromadzące się wewnątrz organizmu rośliny. Do takich utworów wydzielniczych należą m.in. rury mleczne, których komórki wydzielają sok mleczny (lateks) o funkcji obronnej, oraz **kanały żywiczne** – przewody wyścielane komórkami wytwarzającymi **żywicę**. Kanały żywiczne występują u wielu roślin iglastych, np. u sosny i modrzewia. Zmagazynowana w nich żywica chroni rośliny przed wnikaniem do ich wnętrza drobnoustrojów chorobotwórczych, a także zabezpiecza miejsca uszkodzeń rośliny.

Wiązki przewodzące			
prosta	złożone		
	koncentryczna	naprzeciwległa zamknięta	naprzeciwległa otwarta
			

Polecenia kontrolne

1. Wymień miejsca, w których rozmieszczone są merystemy pierwotne i wtórne. Następnie podaj funkcje tych merystemów.
2. Porównaj budowę tkanek okrywających: pierwotnej z wtórną.
3. Wymień różnice między epidermą a ryzodermą.
4. Scharakteryzuj rodzaje tkanek miękiszowych.
5. Wymień przystosowania tkanek przewodzących, które zwiększają wydajność transportu substancji w roślinie.

3.4. Zarodek – początkowe stadium sporofitu roślin

Zwróć uwagę na:
- budowę i funkcję nasienia,
- budowę zarodków roślin nasiennych.

Sporofit jest pokoleniem diploidalnym, które powstaje w wyniku zapłodnienia komórki jajowej komórką plemnikową. Proces zapłodnienia prowadzi do powstania zygoty, z której rozwija się zarodek, a następnie dojrzała roślina.

Zarodkiem nazywamy młody, niedojrzały organizm rośliny, który odżywia się substancjami pokarmowymi wytworzonymi przez roślinę macierzystą.

Zarodki roślin nasiennych

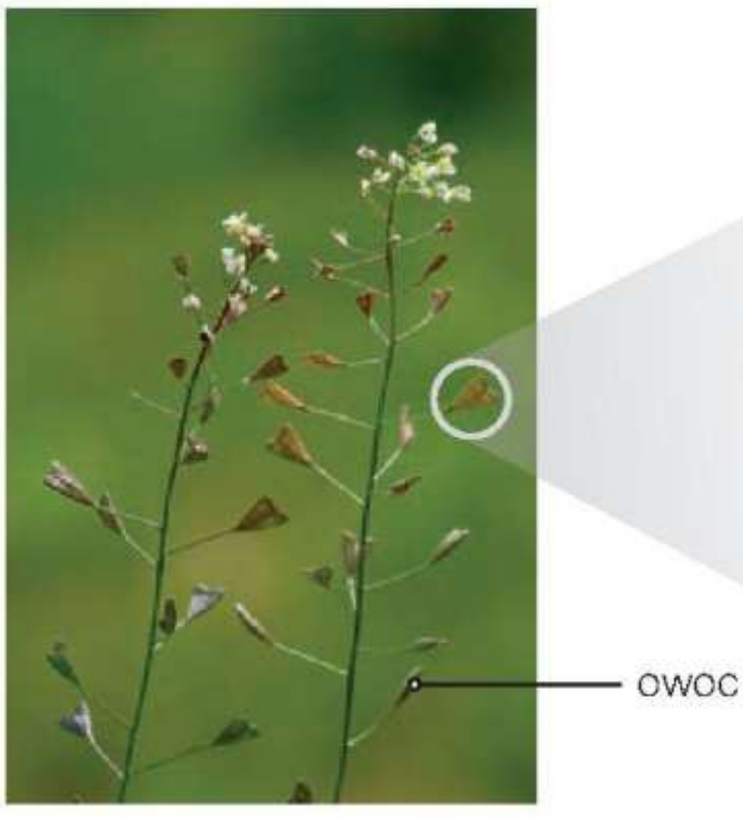
U roślin nasiennych zarodki znajdują się w **nasionach** – strukturach odpowiedzialnych za rozprzestrzenianie się rośliny. Nasienie (nasiono) powstaje w wyniku zapłodnienia, do którego dochodzi w obrębie organu generatywnego – kwiatu. U roślin nagozalążkowych nasiona nie są niczym osłonięte, natomiast u roślin okrytozalążkowych stanowią integralną część owocu. W budowie nasienia można wyróżnić trzy elementy: zarodek, bielmo i łupinę nasienną.

Zarodek jest prawie w całości zbudowany z **tkanki merystematycznej**, a jego ogólny plan budowy jest taki sam u wszystkich roślin nasiennych. W zarodku można wyróżnić zawiązki głównych organów roślinnych – korzenia, łodygi i liści. **Zawiązek korzenia** jest stożkiem wzrostu korzenia, z którego rozwija się korzeń główny dojrzałej rośliny. **Zawiązek pędu** jest zakończony na szczycie stożkiem wzrostu pędu, a w jego skład wchodzą **łodyga zarodkowa** oraz **liście zarodkowe**, zwane również liścieniami. Nadliścieniowa część łodygi zarodkowej to **epikotyl**, a podliścieniowa – **hipokotyl**. Z łodygi zarodkowej rozwija się łodyga dojrzałej rośliny, natomiast liścienie obumierają po wykształceniu się pierwszych liści.

U większości gatunków roślin zarodek jest otoczony **bielmem**. Tkanka ta magazynuje substancje zapasowe, niezbędne do funkcjonowania i rozwoju zarodka, a następnie siewki – młodej rośliny, która wyrasta z nasienia.

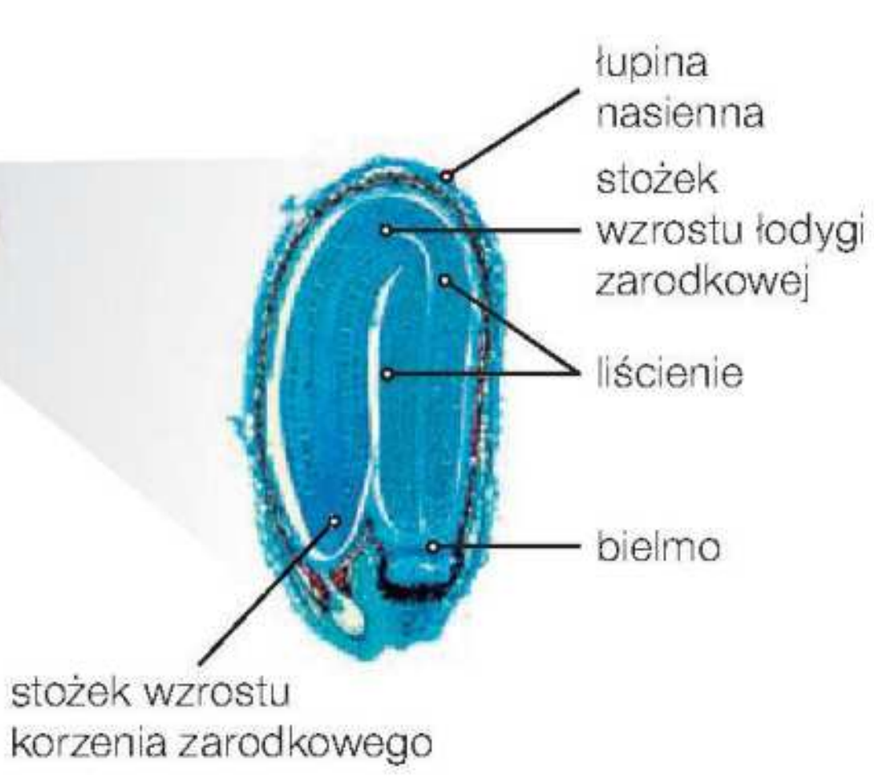
Łupina nasienna to zewnętrzna część nasienia. Zwykle jest ona twarda, nieprzepuszczalna dla wody i gazów. Stanowi ochronę dla delikatnych tkanek zarodka.

Owoce i nasiona tasznika pospolitego (*Capsella bursa-pastoris*)



Dojrzałe sporofity tasznika.

Owoc tasznika.



Nasienie tasznika.

Nasiona i ich rozwój

Różnice w budowie zarodków u różnych grup systematycznych roślin nasiennych dotyczą głównie liczby liścieni. U roślin nagozalążkowych zarodki są wieloliścieniowe, natomiast u roślin okrytozalążkowych – jedno- lub dwuliścieniowe. W związku z tym w obrębie gromady roślin okrytozalążkowych wyróżnia się **rośliny jednoliścienne** (zarodek ma jeden liścień) oraz **dwuliścienne** (zarodek ma dwa liścienie).

Rośliny nagozalążkowe

Rośliny jednoliścienne

Rośliny dwuliścienne

Kiełkowanie nasienia

Nasiona kiełkują w odpowiednich warunkach środowiska. Rozerwaniu ulega wówczas łupina nasienna, z nasienia wydostaje się najpierw korzeń zarodkowy, a następnie łodyga zarodkowa z liścieniami. U wielu roślin liścienie pełnią funkcję asymilacyjną do czasu pojawienia się pierwszych liści.

Nasienie.

Etapy kiełkowania nasienia.

Siewka.

Polecenia kontrolne

1. Omów budowę i funkcję nasienia.
2. Porównaj budowę nasion u różnych grup roślin nasiennych.

3.5. Korzeń – organ podziemny rośliny

Zwróć uwagę na:
- główne funkcje korzenia,
- strefy korzenia,
- budowę pierwotną i wtórną korzenia,
- przekształcenia 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 oraz pobieranie z gleby wody z solami mineralnymi.

Korzeń, który rozwija się z zawiązka korzeniowego zarodka, nosi nazwę **korzenia głównego**. W trakcie rozwoju rośliny może on wytwarzać **korzenie boczne**. U wielu gatunków roślin korzeń główny wcześnie przestaje rosnąć lub zupełnie zanika. Jego funkcje przejmują wtedy **korzenie przybyszowe,** które wyrastają zwykle z organów pędowych.

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 we 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. Wyróżniamy dwa typy systemów korzeniowych: system palowy oraz system wiązkowy.

System palowy

Jest charakterystyczny dla roślin nagozalążkowych oraz dwuliściennych. Składa się z grubego i długiego korzenia głównego oraz zwykle krótszych i cieńszych korzeni bocznych. U roślin drzewiastych system ten może sięgać daleko w głąb gleby, aż do poziomu wód gruntowych.

System wiązkowy

Jest charakterystyczny dla paprotników oraz roślin jednoliściennych. W systemie tym nie ma korzenia głównego. U podstawy pędu wyrastają liczne, delikatne korzenie przybyszowe o podobnej długości. System wiązkowy charakteryzuje się dużą zdolnością pochłaniania wody z małej objętości gleby.

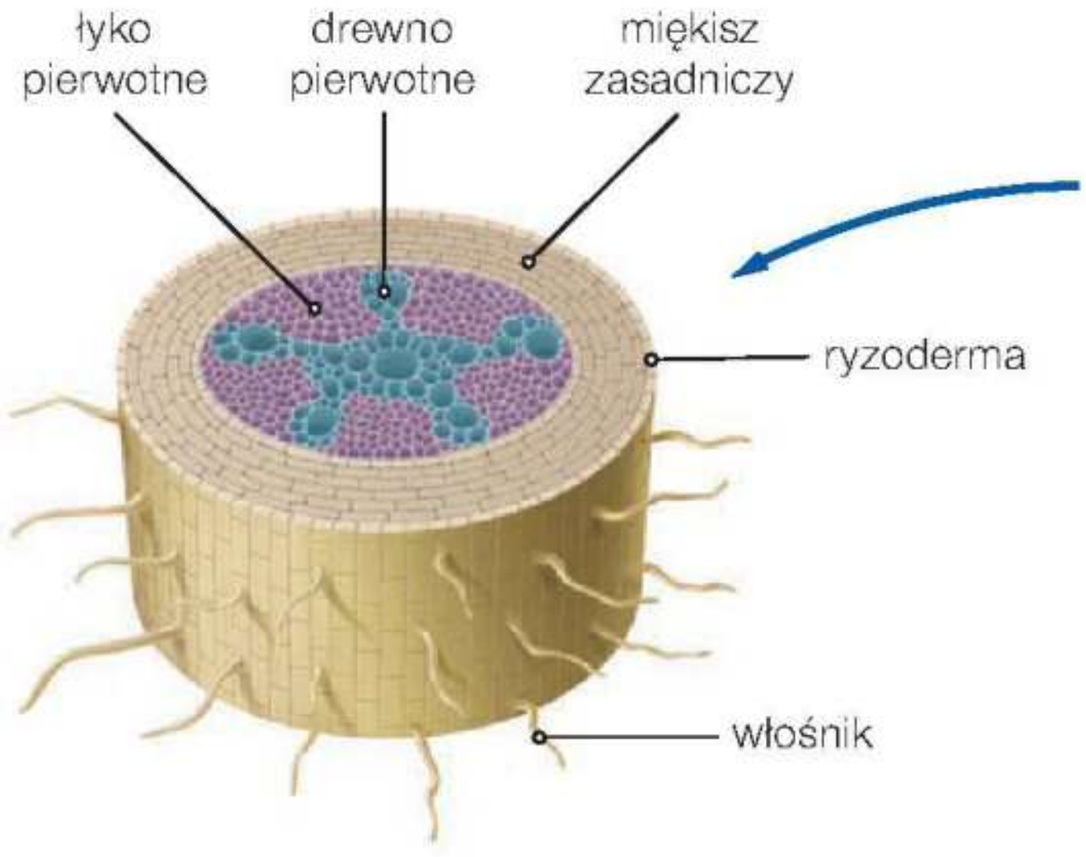
Strefy korzenia

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

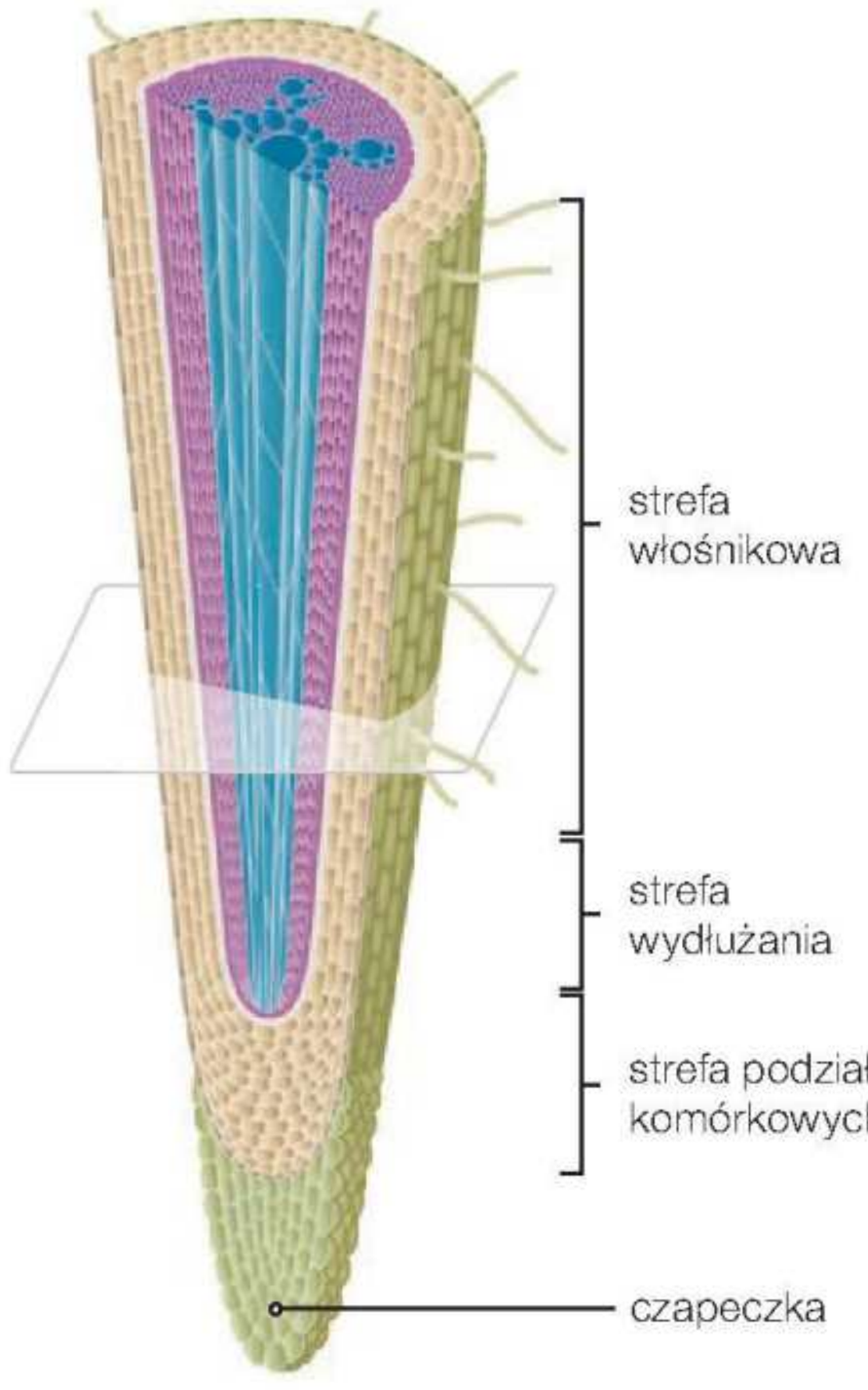
- **Strefa podziałów komórkowych** (stożek wzrostu korzenia) jest zbudowana z komórek, które intensywnie dzielą się mitotycznie. Podziały komórkowe powodują wzrost korzenia na długość oraz jego pierwotny przyrost na grubość. Stożek wzrostu jest osłonięty od zewnątrz miękiszową czapeczką. Funkcją czapeczki jest ochrona merystemu wierzchołkowego przed uszkodzeniami, na które jest on narażony podczas przesuwania się rosnącego korzenia między cząstkami gleby.
- **Strefa wydłużania** (strefa elongacyjna) jest zbudowana ze słabo zróżnicowanych komórek, które również się dzielą, a ponadto intensywnie zwiększają swoje rozmiary. Powoduje to bardzo szybki wzrost korzenia.
- **Strefa włośnikowa** (strefa różnicowania się komórek) jest zbudowana z komórek, które ulegają ostatecznej specjalizacji w komórki tkanek stałych. Dzięki temu w tej strefie wyodrębniają się pierwotne tkanki stałe oraz zaczynają się rozwijać korzenie boczne. Obecność włośników sprawia, że jest to strefa najbardziej efektywnego wchłaniania wody.
- **Strefa wyrośnięta** stanowi najmasywniejszą część korzenia głównego. W korzeniach o budowie pierwotnej jest ona pokryta podskórnią (egzodermą), czyli warstwą miękiszu o skorkowaciałych ścianach komórkowych. Natomiast w korzeniach o budowie wtórnej jest ona pokryta korkowicą. Strefa wyrośnięta 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.

Budowa korzenia

Podstawową funkcją korzenia jest pobieranie z gleby wody z solami mineralnymi. Funkcję tę pełnią wierzchołkowe części korzenia, głównie strefa włośnikowa. Jest ona ciągle odnawiana dzięki podziałom mitotycznym komórek stożka wzrostu.



Tkanki pierwotne korzenia
(przekrój poprzeczny przez strefę włośnikową).

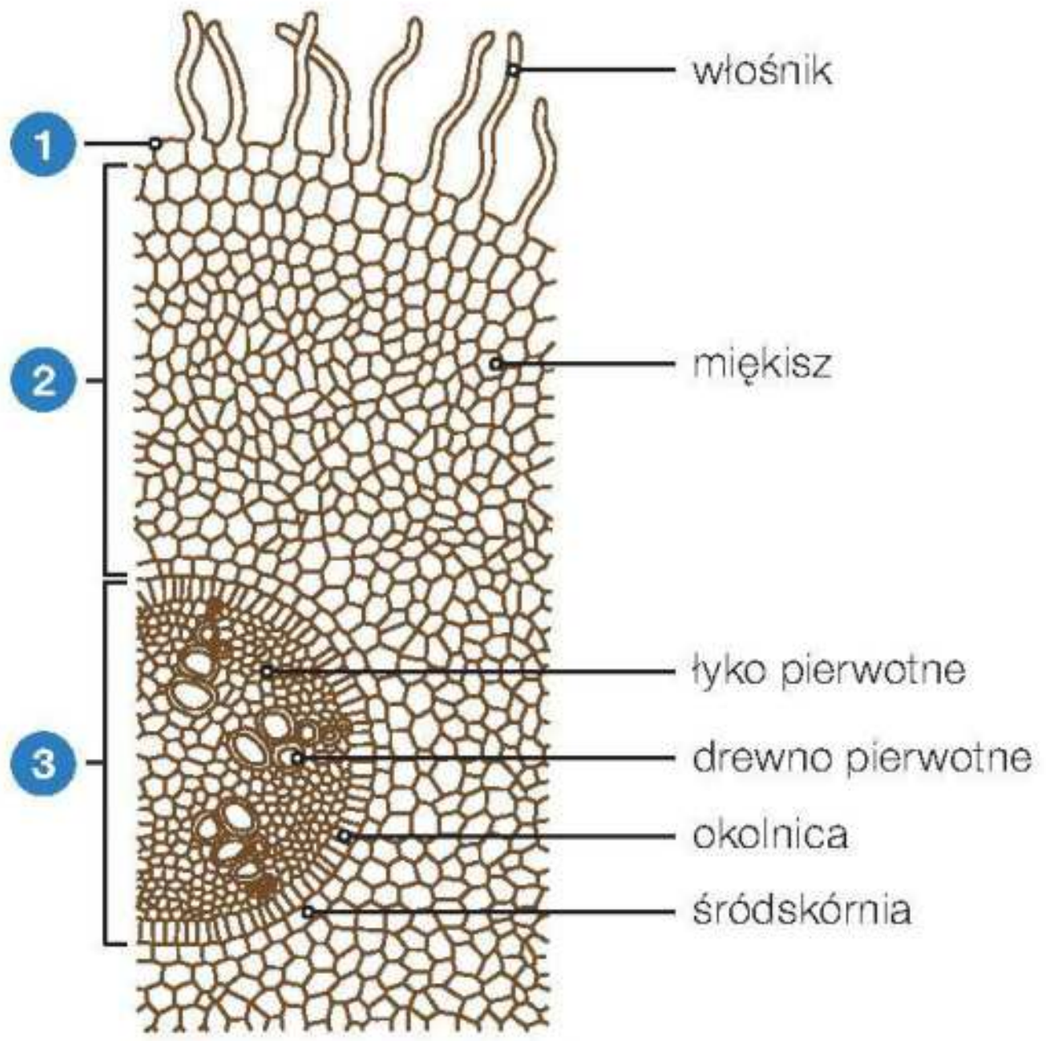


Strefy wierzchołkowej części korzenia.

Tkanki pierwotne 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.

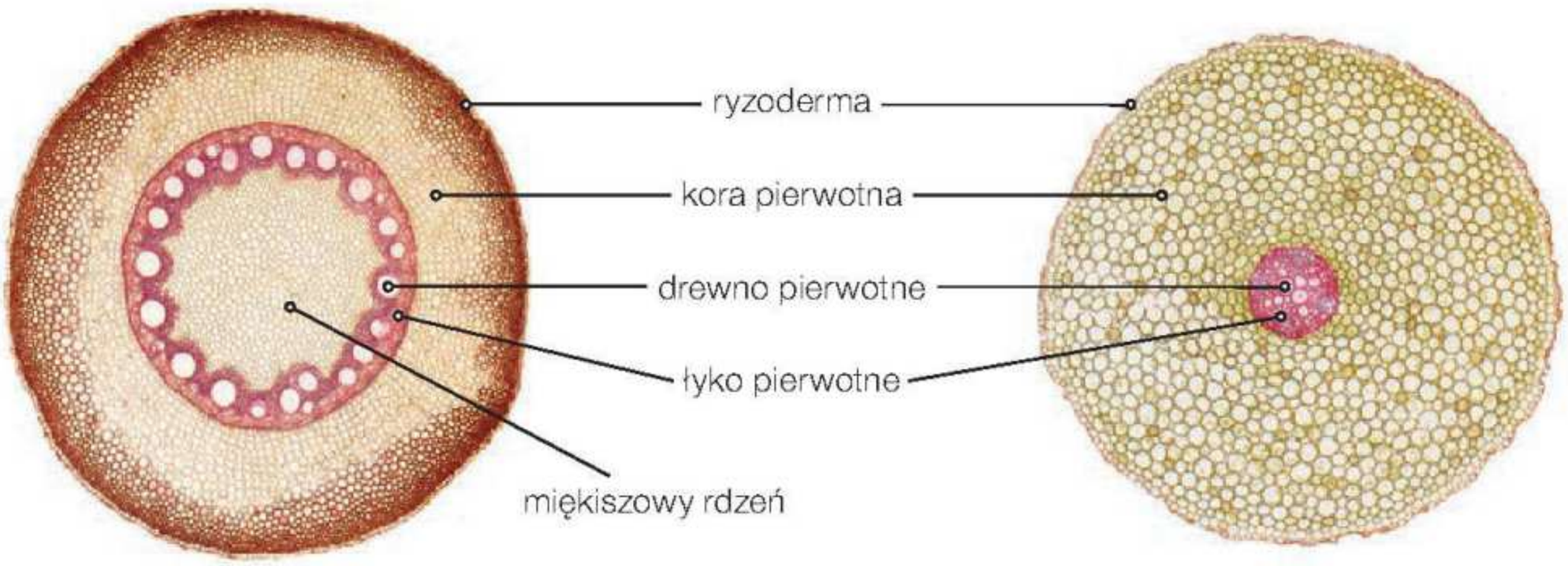
1. **Ryzoderma** stanowi zewnętrzną warstwę korzenia. Jej komórki wytwarzają **włośniki,** które zwiększają powierzchnię wchłaniania wody i soli mineralnych.
2. **Kora pierwotna** znajduje się pod ryzodermą i jest zbudowana z **tkanki miękiszowej**. Tkanka ta przewodzi wodę z solami mineralnymi ze skórki do walca osiowego. U niektórych roślin pełni także funkcję spichrzową. Najbardziej wewnętrzną warstwę kory pierwotnej stanowi **śródskórnia** (endoderma). Jej funkcją 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.



Fragment korzenia o budowie pierwotnej (przekrój poprzeczny).

Budowa pierwotna korzenia u roślin jedno- i dwuliściennych

Korzenie roślin jedno- i dwuliściennych wykazują pewne różnice w budowie anatomicznej. U roślin jednoliściennych centrum walca osiowego zajmuje miękiszowy rdzeń, a pasma drewna i łyka tworzą regularny pierścień wzdłuż jego obwodu. U roślin dwuliściennych centrum walca osiowego zajmują promieniście ułożone pasma drewna, między którymi znajdują się pasma łyka. W walcu osiowym tych roślin najczęściej nie ma miękiszu.



Korzeń rośliny jednoliściennej (przekrój poprzeczny).

Korzeń rośliny dwuliściennej (przekrój poprzeczny).

Budowa wtórna korzenia

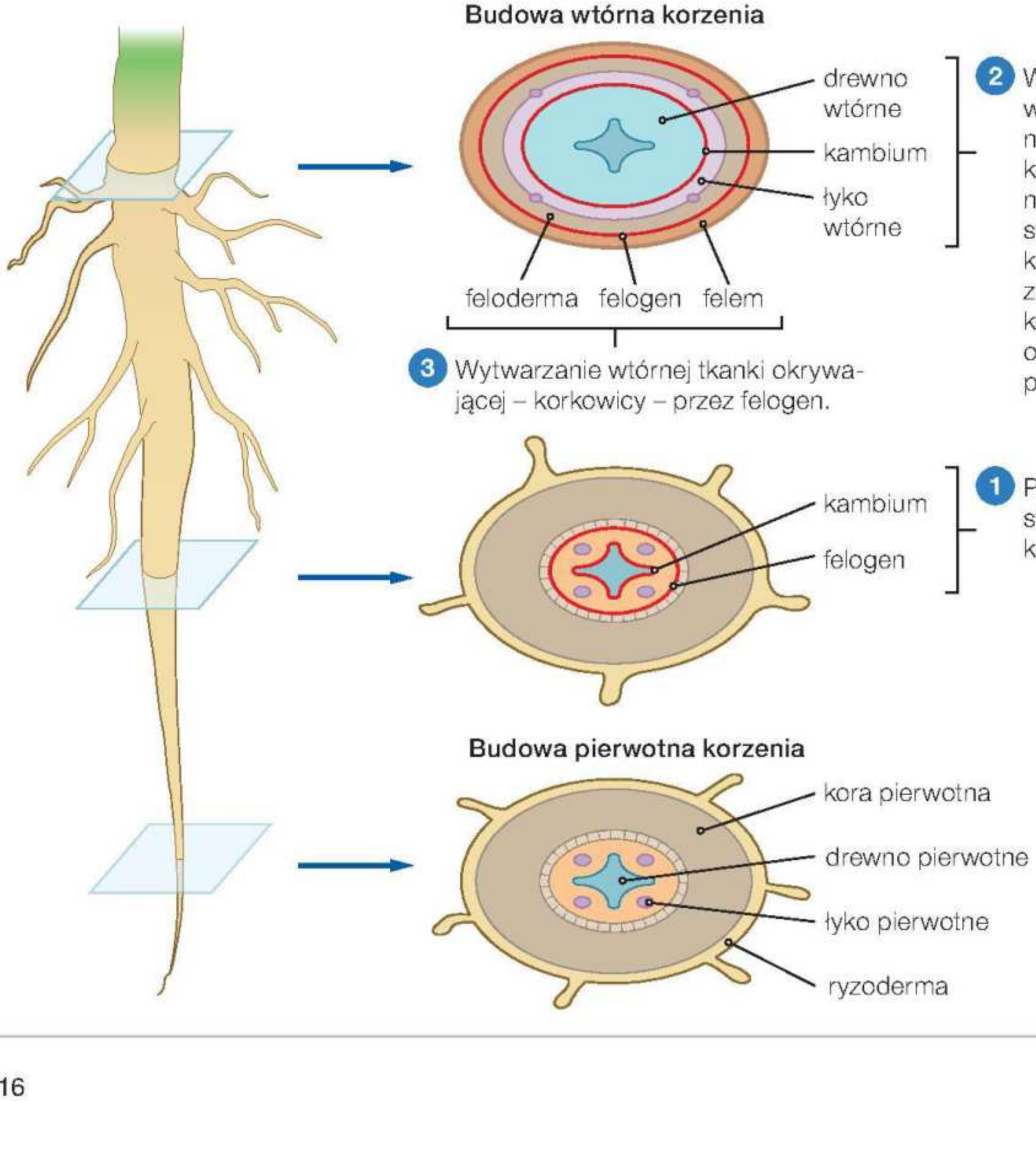
Wtórna budowa anatomiczna korzenia to charakterystyczny układ jego tkanek, który powstaje w wyniku działania merystemów bocznych: **kambium** i **felogenu**.

Kambium odpowiada za wtórny przyrost korzenia na grubość. Powstaje ono z miękiszu oddzielającego wiązki drewna pierwotnego od łyka pierwotnego oraz – częściowo – z okolnicy. Fragmenty kambium łączą się ze sobą w pierścień odkładający **drewno wtórne** do wnętrza, a **łyko wtórne** – na zewnątrz. Działanie kambium powoduje znaczne zwiększenie obwodu korzenia oraz pękanie i odpadanie ochraniającej go ryzodermy i leżącej pod nią kory pierwotnej. Wówczas funkcję okrywającą przejmuje korkowica. Jest ona efektem aktywności felogenu, który powstaje zwykle z okolnicy.

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.

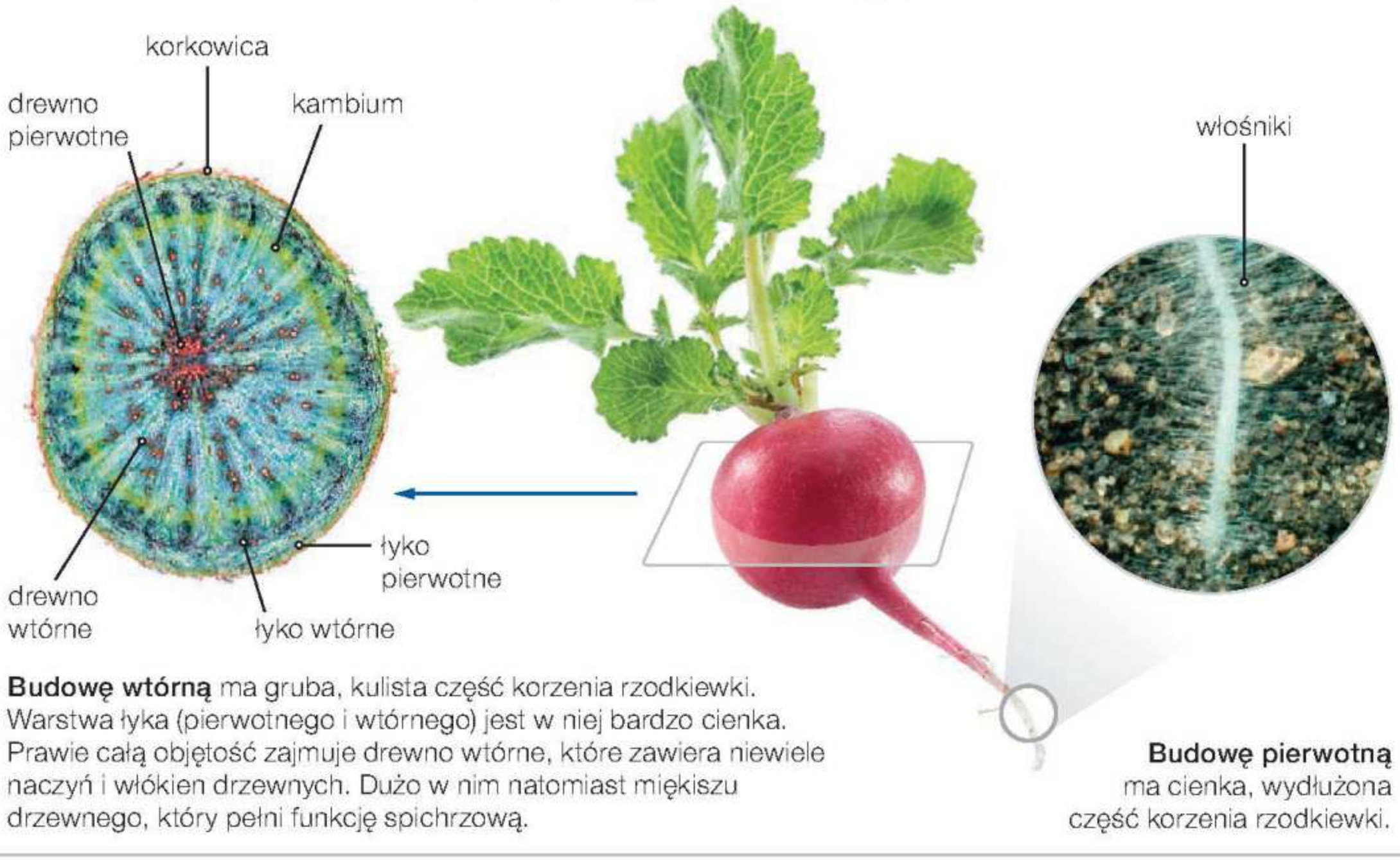
Etapy wtórnego przyrostu korzenia na grubość

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



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 powierzchnię chłonną systemu korzeniowego.

Korzenie przybyszowe pochodzenia pędowego wyrastają u roślin zielnych 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 miękisz 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 bluszczu, 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. Wymień 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. Omów sposób powstawania wtórnych tkanek merystematycznych w korzeniu oraz scharakteryzuj efekty ich działalności.
6. Wymień przykłady modyfikacji korzenia i określ ich znaczenie dla rośliny.

3.6. Pęd. Budowa i funkcje łodygi

Zwróć uwagę na:
- główne funkcje łodygi,
- budowę morfologiczną łodygi,
- budowę pierwotną i wtórną łodygi,
- przekształcenia łodyg.

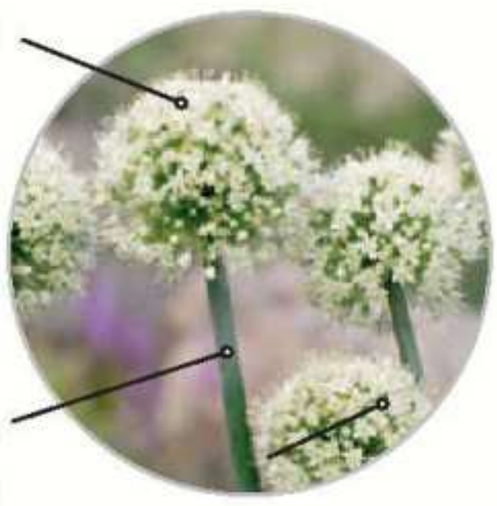
Pęd jest najczęściej **nadziemną częścią rośliny**, zbudowaną z łodygi i liści, a u roślin nasiennych również z kwiatów i niekiedy z owoców. Łodygi i liście są organami wegetatywnymi pędu, które zapewniają roślinie wzrost i rozwój. Natomiast kwiaty są organami generatywnymi, odpowiedzialnymi za rozmnażanie płciowe rośliny. U roślin okrytozalążkowych z kwiatów powstają owoce.

Z kolei **pędy podziemne** występują u grupy roślin zwanych bylinami. Należą do nich 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. Kłącza i bulwy są zmodyfikowanymi bezlistnymi łodygami, natomiast cebule – zmodyfikowanymi ulistnionymi łodygami.

Cebule

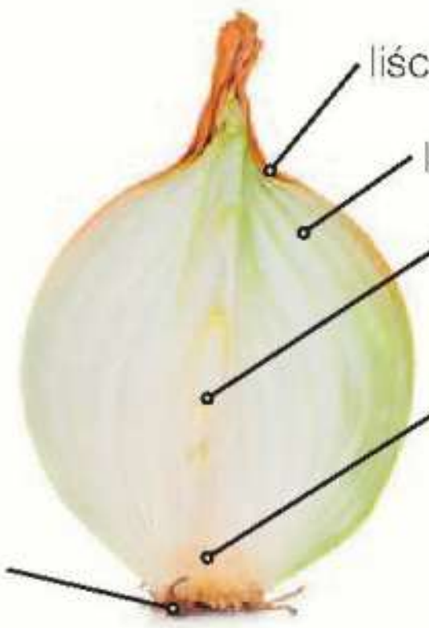
Cebule to podziemne pędy o charakterze przetrwalnikowym. W ich skład wchodzą łodyga oraz dwa rodzaje liści – mięsiste liście spichrzowe oraz łuskowate liście okrywające. Do bylin cebulowych należą m.in.: tulipan, hiacynt, narcyz oraz różne gatunki roślin z rodzaju czosnek (*Allium*).

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



liście asymilacyjne

Pęd podziemny cebuli zwyczajnej – cebula – składa się ze zgrubiałej łodygi, która zawiera na szczycie pąk wierzchołkowy, oraz z dwóch rodzajów liści – okrywających i spichrzowych. Z pąka wierzchołkowego rozwijają się wiosną zielone liście asymilacyjne oraz pęd kwiatonośny.



Do bylin cebulowych należy m.in. cebula zwyczajna (*Allium cepa*).

Budowa i funkcje łodygi

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

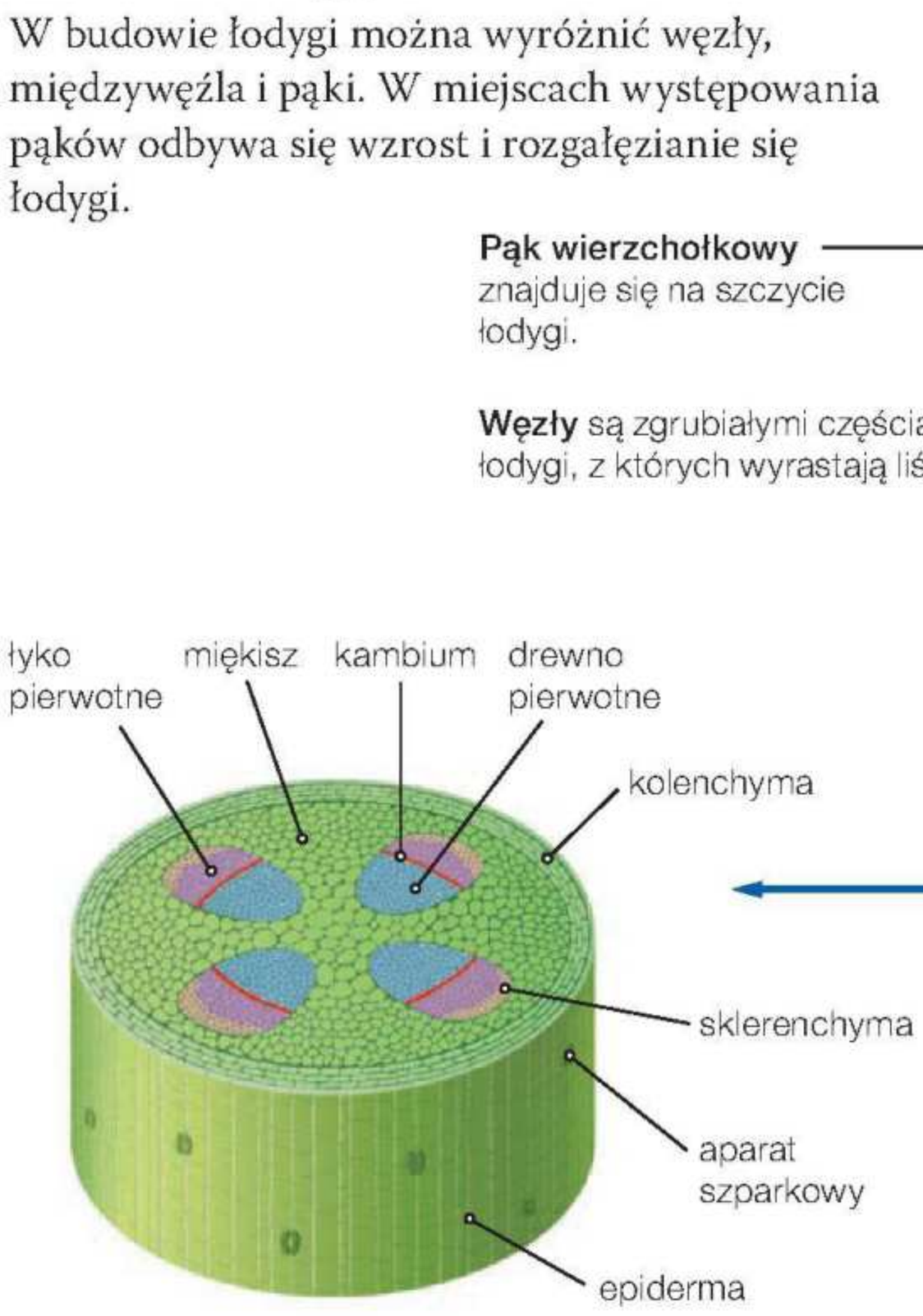
- utrzymywaniu liści, a u niektórych roślin – również kwiatów i owoców,
- przewodzeniu wody z solami mineralnymi od korzeni w górę rośliny,
- przewodzeniu związków organicznych między różnymi organami rośliny.

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. Wzrost łodygi na długość oraz jej rozgałęzianie się następują w miejscach, gdzie znajdują się pąki. **Pąk wierzchołkowy** jest zlokalizowany na szczycie łodygi. Tworzy go **stożek wzrostu łodygi**, u którego podstawy wyrastają zawiązki liści i pędów bocznych. Dzięki stożkowi wzrostu zachodzi wzrost łodygi na długość oraz jej pierwotny przyrost na grubość. W wyniku działania stożka wzrostu łodyga uzyskuje pierwotną budowę anatomiczną. **Pąki boczne** tworzą się najczęściej w kątach liści i umożliwiają powstawanie odgałęzień bocznych łodygi.

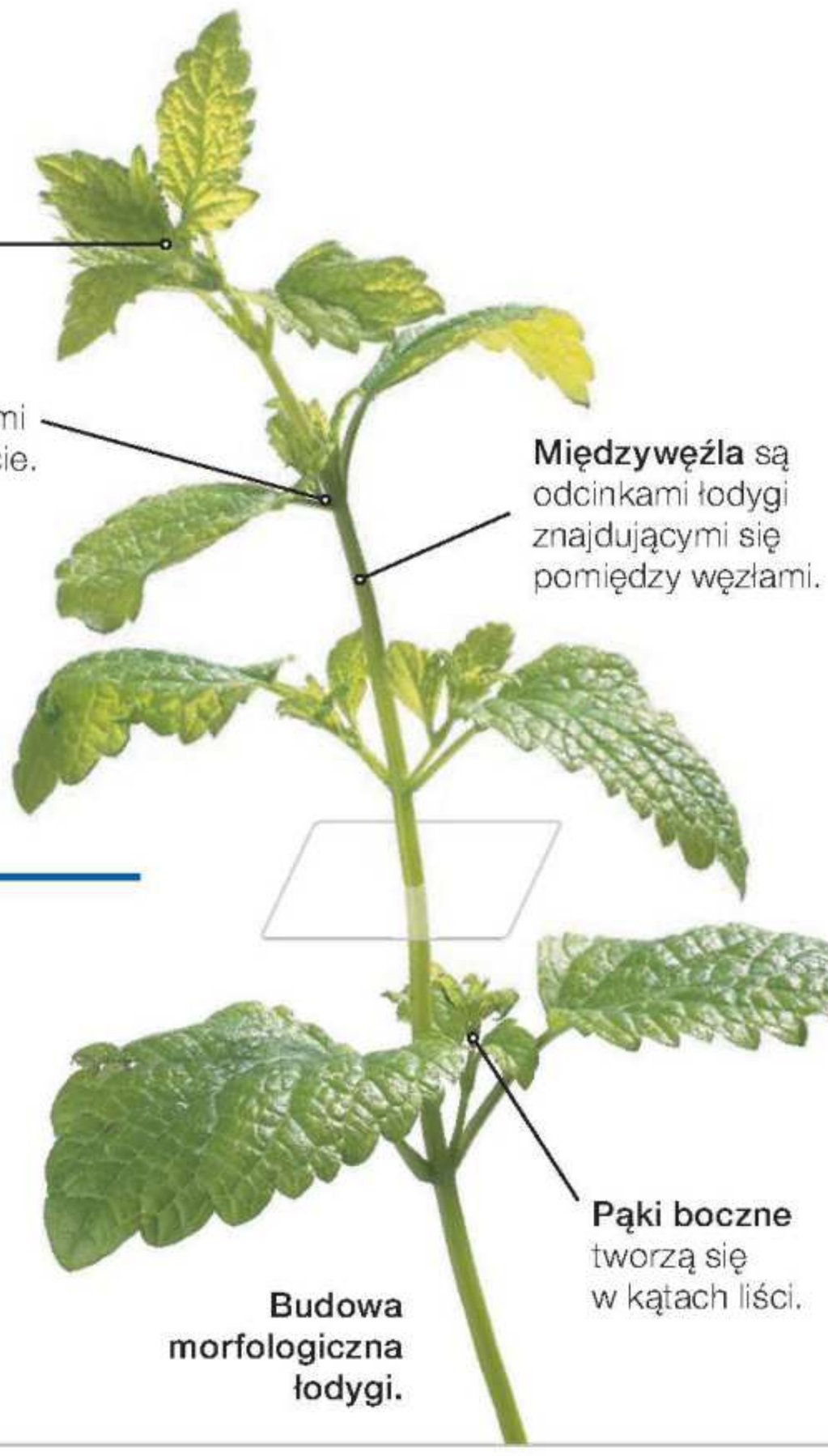
Pąki, w których znajdują się zawiązki odgałęzień łodygi i liści, noszą nazwę **pąków liściowych**. Natomiast pąki, w których znajdują się zawiązki kwiatów, to **pąki kwiatowe**. Wszystkie rodzaje pąków mogą być osłonięte okrywą z młodych, zielonych liści lub – w przypadku **pąków zimowych** – twardymi łuskami pąkowymi, zbudowanymi głównie ze sklerenchymy.

Budowa łodygi

W budowie łodygi można wyróżnić węzły, międzywęźla i pąki. W miejscach występowania pąków odbywa się wzrost i rozgałęzianie się łodygi.



Tkanki pierwotne łodygi (przekrój poprzeczny przez łodygę zielną).



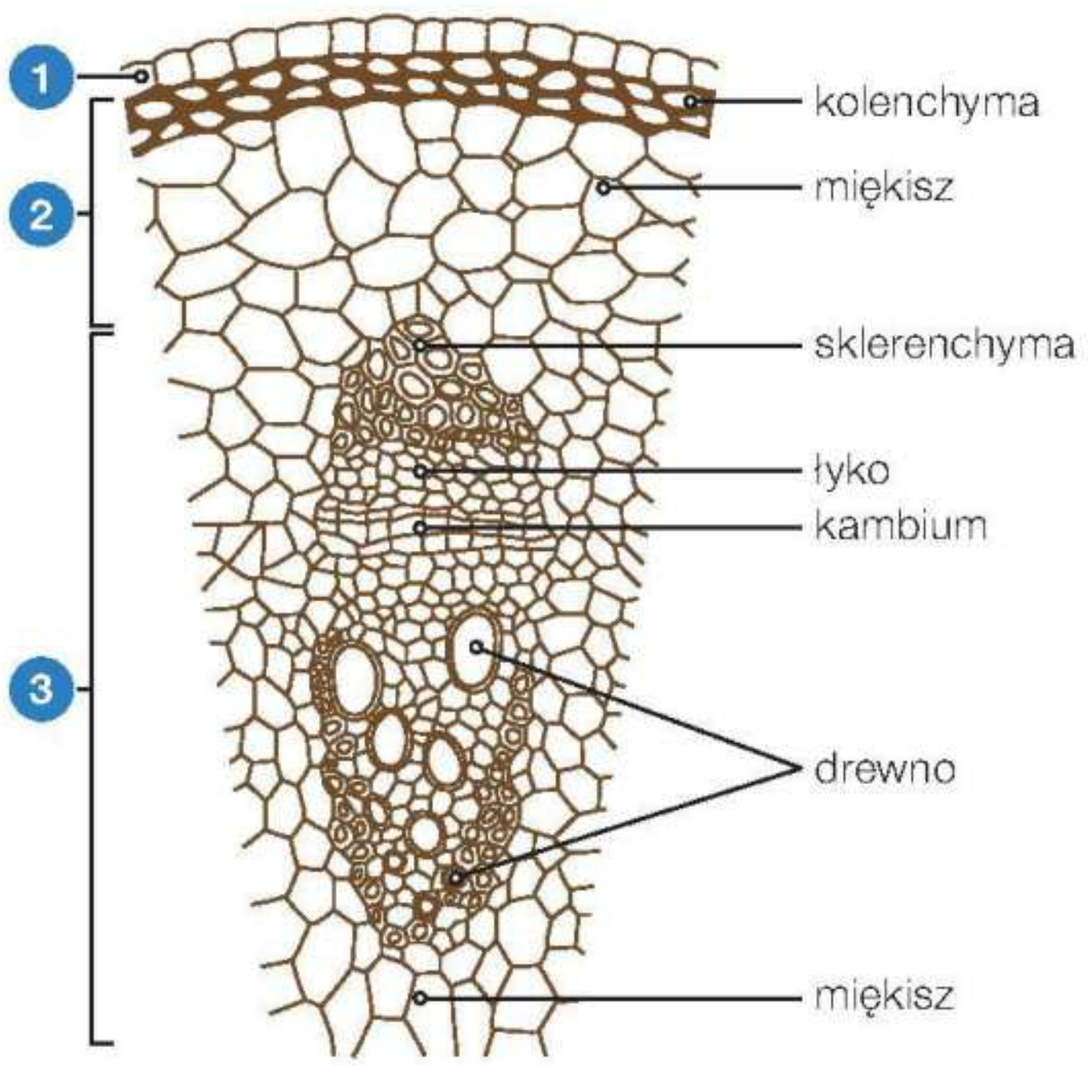
Budowa morfologiczna łodygi.

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.
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. Jednak u większości śródskórnia nie występuje, a granica pomiędzy korą pierwotną a walcem osiowym jest niewyraźna.
3. **Walec osiowy** zajmuje centralną część łodygi. U niektórych gatunków roślin jego zewnętrzną warstwę stanowi okolnica zbudowana z komórek miękiszowych. Jednak 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 pasma drewna pierwotnego. U większości roślin pomiędzy drewnem a łykiem występuje kambium, które umożliwia wtórny przyrost łodygi na grubość.



Fragment łodygi o budowie pierwotnej (przekrój poprzeczny).

Łodygi zielne

Łodygi zielne są cienkie, zielone i soczyste. Występują u wszystkich roślin jednorocznych i dwuletnich oraz u niektórych roślin wieloletnich – bylin. Łodygi zielne mają zwykle pierwotną budowę anatomiczną, dlatego są bardzo wrażliwe na niekorzystne warunki środowiska. Są one organami nietrwałymi, obumierającymi pod koniec każdego sezonu wegetacyjnego.

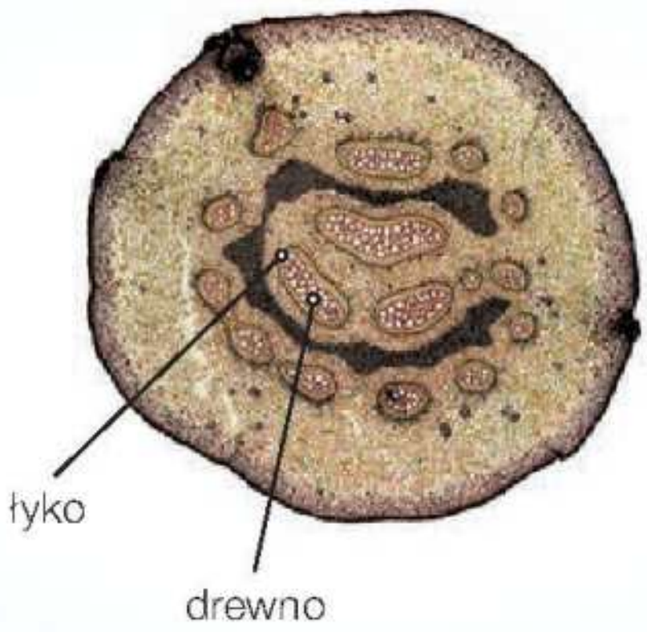
Łodygi zielne występują u większości roślin łąkowych.

Czym się różnią łodygi paproci oraz roślin jedno- i dwuliściennych?

Poszczególne grupy systematyczne roślin różnią się od siebie budową łodygi. Największe różnice dotyczą rozmieszczenia i budowy wiązek przewodzących. U paproci występują wiązki koncentryczne, natomiast u roślin nasiennych – wiązki naprzeciwległe.

Paprocie

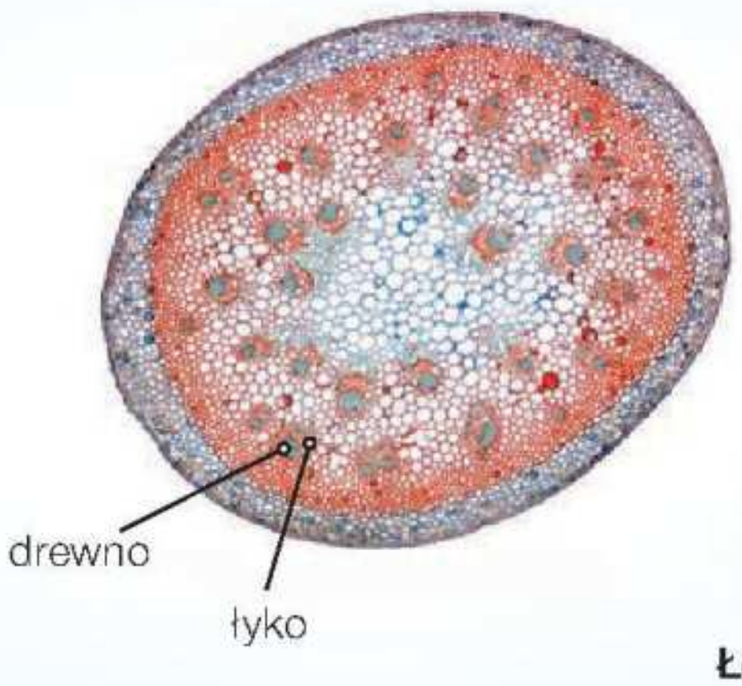
U paproci wiązki przewodzące są rozmieszczone nieregularnie na całym przekroju łodygi. Każda z wiązek jest zbudowana z drewna pierwotnego otoczonego pierścieniem łyka pierwotnego, pomiędzy którymi nie występuje kambium – **wiązka koncentryczna**.



Podziemne łodygi paproci – kłącza – nie przyrastają wtórnie na grubość.

Rośliny jednoliścienne

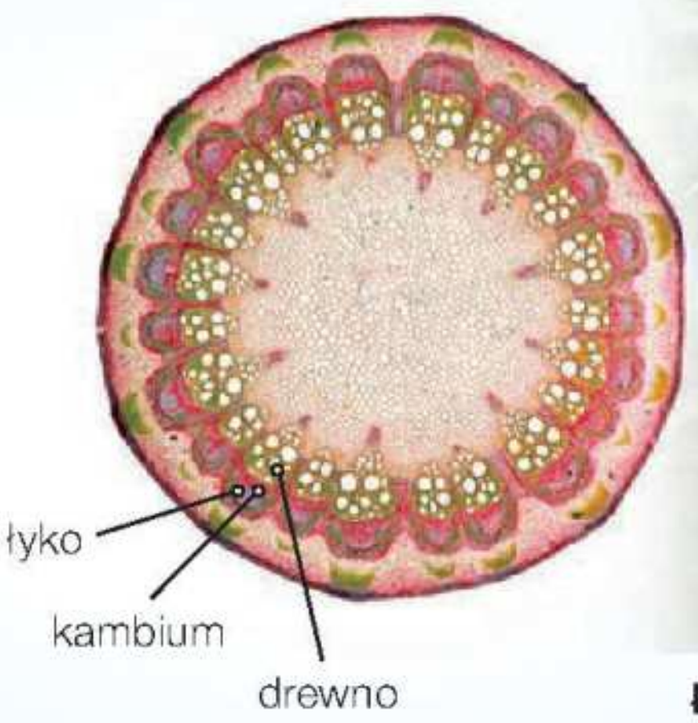
U roślin jednoliściennych wiązki przewodzące są zazwyczaj rozmieszczone nieregularnie na całym przekroju łodygi. Każda z wiązek jest zbudowana z pasma drewna pierwotnego i pasma łyka pierwotnego, pomiędzy którymi nie występuje kambium – **wiązka naprzeciwległa zamknięta**.



Łodygi roślin jednoliściennych, np. lilii, nie przyrastają wtórnie na grubość.

Rośliny dwuliścienne

U roślin dwuliściennych wiązki przewodzące tworzą zwykle regularny pierścień wzdłuż obwodu łodygi. Każda z wiązek jest zbudowana z pasma drewna pierwotnego i pasma łyka pierwotnego, pomiędzy którymi występuje kambium – **wiązka naprzeciwległa otwarta**.



Łodygi roślin dwuliściennych, np. powojnika, przyrastają wtórnie na grubość.

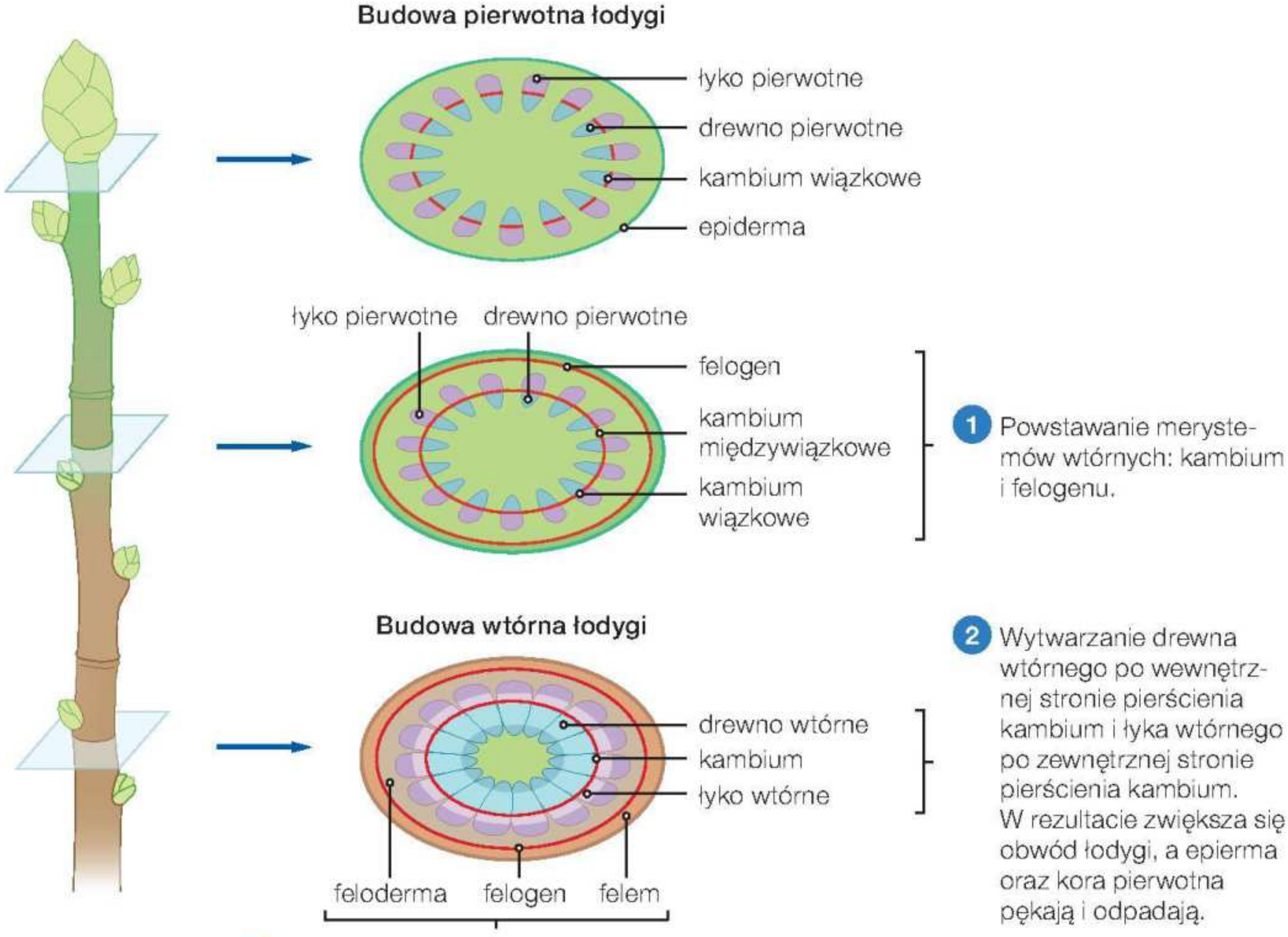
Budowa wtórna łodygi

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

U roślin zielnych przyrost wtórny nie występuje lub jest nieznaczny. Natomiast u roślin drzewiastych, zwłaszcza u drzew, przebiega bardzo intensywnie, prowadząc do powstania grubego, silnego pnia. Przyrost wtórny łodygi rozpoczyna się od wytworzenia pierścienia kambium. Pierścień ten powstaje w wyniku łączenia się pasm kambium wiązkowego z pasmami kambium międzywiązkowego. Kambium międzywiązkowe wywodzi się z tkanki miękiszowej, która oddziela wiązki przewodzące. Intensywne podziały komórek kambium powodują odkładanie się wtórnych tkanek przewodzących. W efekcie wiązkowy układ pierwotnych tkanek przewodzących zostaje zastąpiony grubym cylindrem **drewna wtórnego** i cieńszym cylindrem **łyka wtórnego**. Niektóre komórki kambium różnicują się w pasma komórek miękiszowych, tworząc wtórne promienie rdzeniowe. W przyrastającej na grubość łodydze funkcję okrywającą przejmuje **korkowica**. Jest ona efektem aktywności felogenu, który powstaje zwykle z kory pierwotnej.

Etapy wtórnego przyrostu łodygi na grubość

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

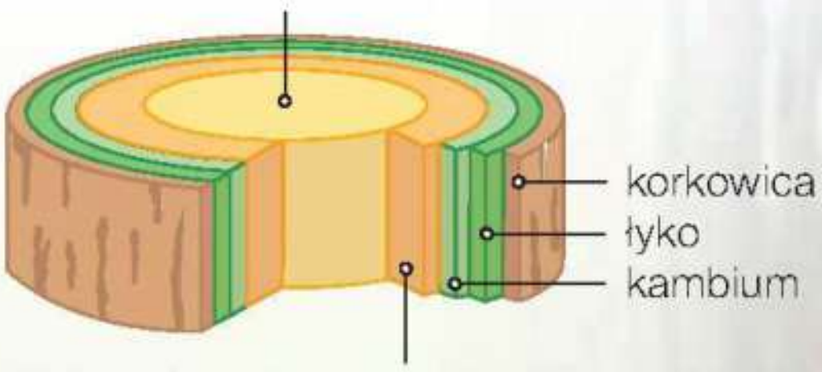


Łodygi zdrewniałe

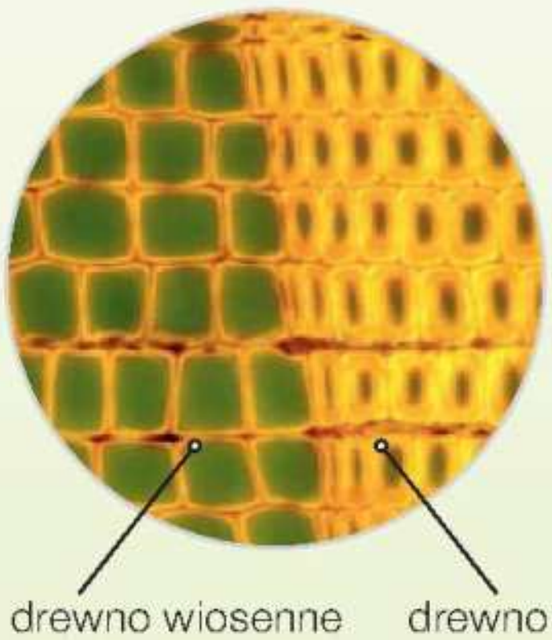
Łodygi zdrewniałe są organami trwałymi. Występują u wieloletnich roślin drzewiastych – drzew, krzewów i krzewinek – których pędy nie zamierają pod koniec każdego sezonu wegetacyjnego. Łodygi zdrewniałe mają wtórną budowę anatomiczną – zawierają wtórne tkanki przewodzące i są okryte korkowicą.

Najmasywniejsze łodygi – pnie – występują u drzew. Rośliny te mogą żyć kilka tysięcy lat, a ich wysokość przekracza niekiedy 100 m. Długowieczność zapewnia drzewom m.in. korkowica, która pełni funkcję ochronną, a gigantyczne rozmiary m.in. drewno o funkcji przewodzącej i wzmacniającej.

Twardziel to centralna część cylindra drewna, pełniąca funkcję wzmacniającą.



Biel to obwodowa część cylindra drewna, pełniąca głównie funkcję przewodzącą.



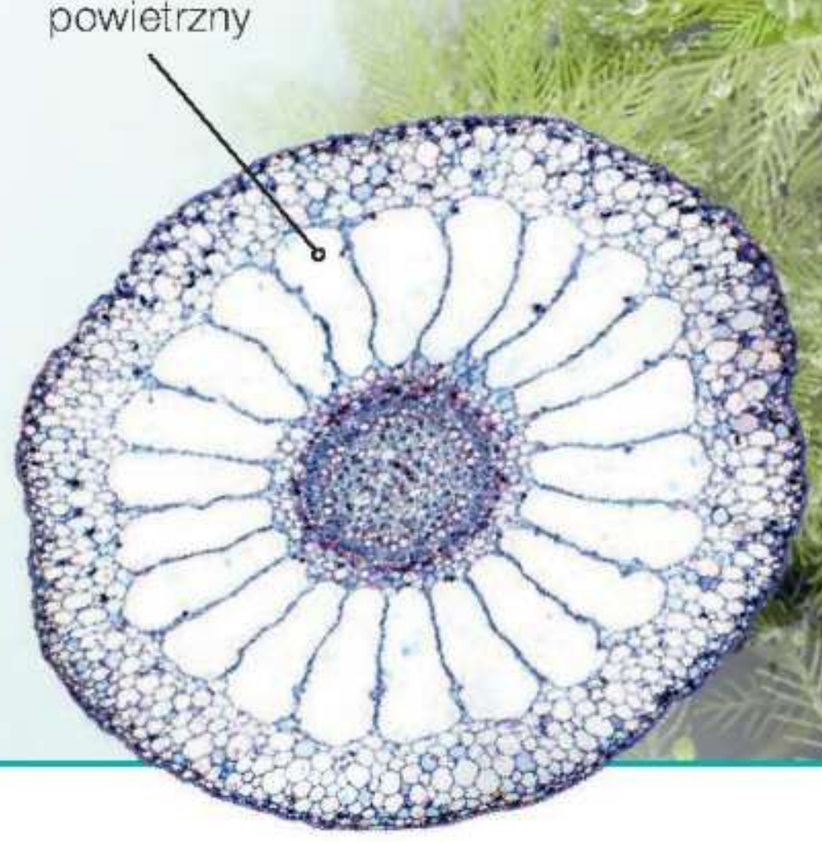
W klimacie umiarkowanym aktywność kambium ogranicza się do wiosny i lata. Drewno wiosenne (jasne) ma elementy przewodzące o większej średnicy i cieńszych ścianach niż drewno letnie (ciemne). Na przekroju pnia warstwy drewna tworzą słoje przyrostów rocznych. Każdy z nich składa się z jednego pasma jasnego i jednego pasma ciemnego.

Łodygi hydrofitów

W łodygach niektórych gatunków roślin występują wyspecjalizowane tkanki, które stanowią przystosowanie do specyficznych warunków środowiska. Na przykład w łodygach hydrofitów znajduje się miękisz powietrzny, który umożliwia unoszenie się pędów roślin w wodzie oraz magazynuje gazy, głównie tlen.

Dowiedz się więcej

Miękisz powietrzny występuje w łodygach hydrofitów, np. wywłócznika (*Myriophyllum*).



Modyfikacje łodyg

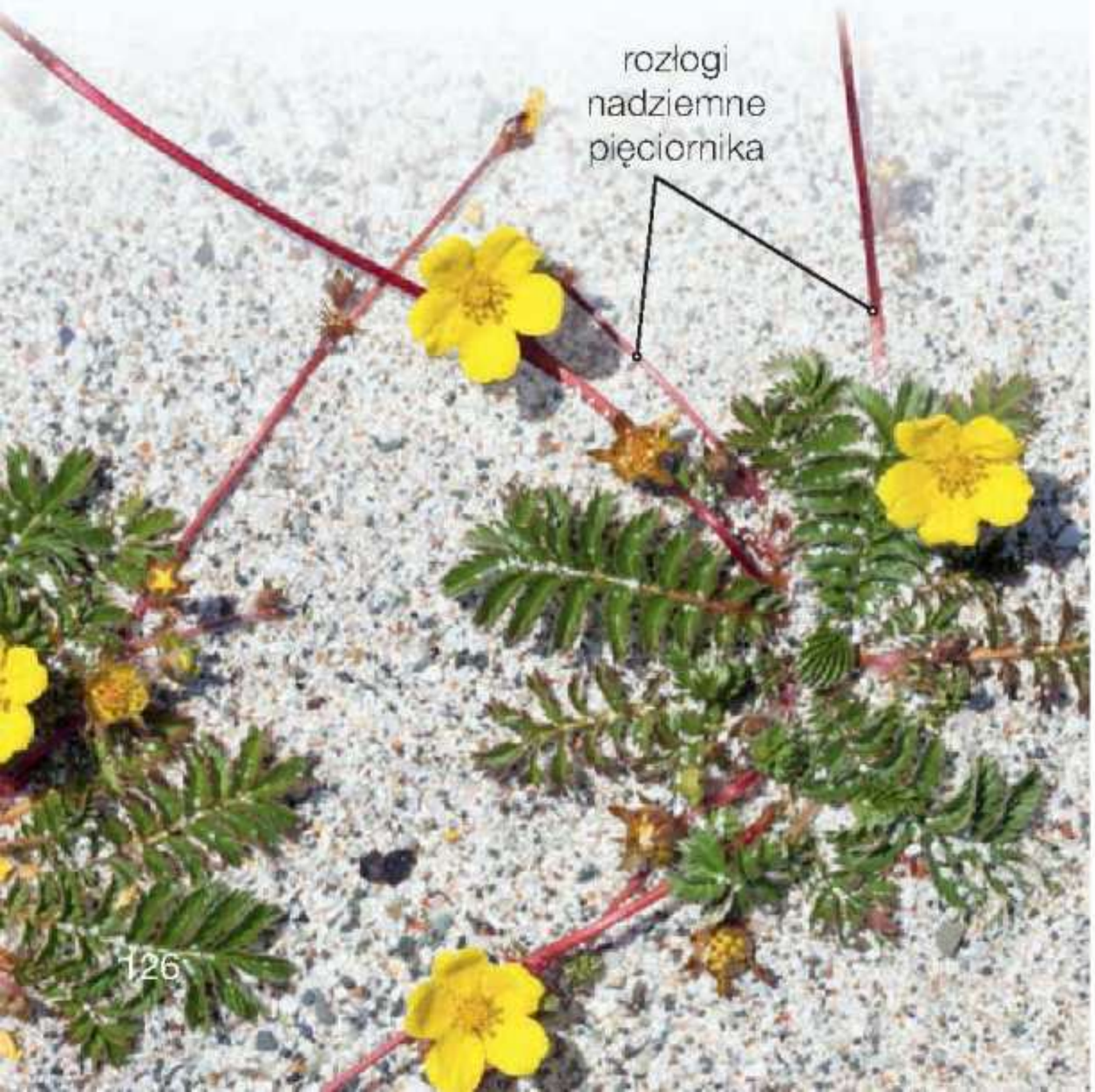
U wielu roślin łodygi ulegają modyfikacjom, dzięki którym mogą pełnić dodatkowe funkcje.

Bulwy

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

Rozłogi

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



Kłącza

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

wąs czepny winorośli

Wąsy czepne

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

cierń śliwy tarniny

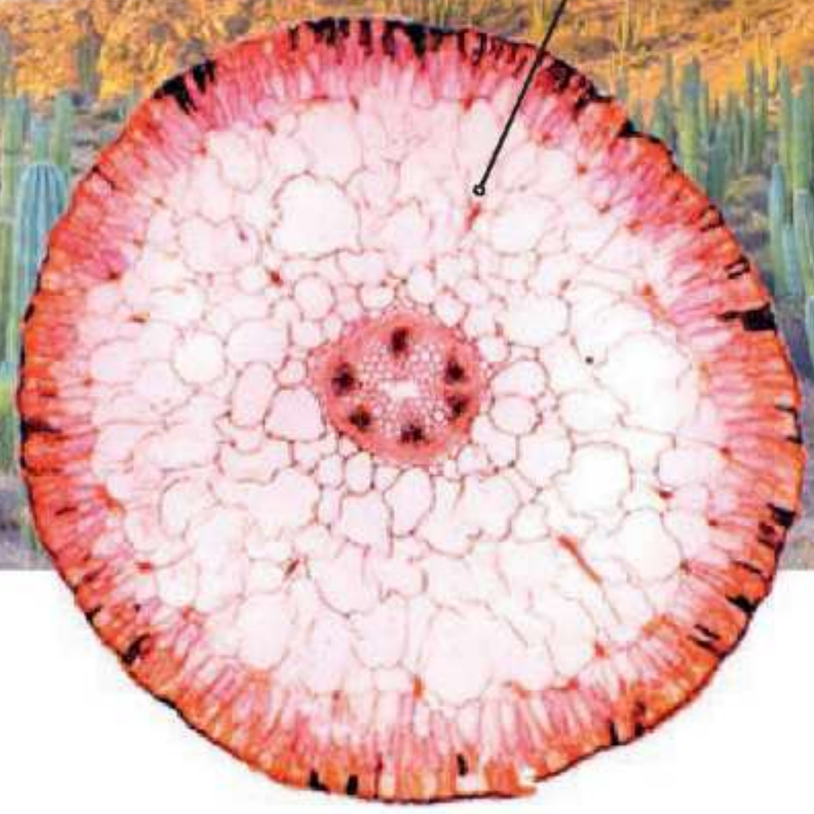
Ciernie

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

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.

miękisz wodny



Polecenia kontrolne

1. Wymień podstawowe funkcje łodygi.
2. Scharakteryzuj budowę morfologiczną łodygi.
3. Porównaj pierwotną budowę łodygi z wtórną budową łodygi.
4. Określ różnicę między łodygami zielnymi a łodygami zdrewniałymi.
5. Wyjaśnij, dlaczego byliny wykształcają pędy podziemne. Podaj trzy rodzaje takich pędów.

3.7. Budowa i funkcje liści

Zwróć uwagę na:
- główne funkcje liści,
- budowę morfologiczną liści,
- budowę anatomiczną liści,
- przekształcenia 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

W zależności od gatunku rośliny wyróżniamy dwie główne formy morfologiczne liści: liście ogonkowe oraz liście bezogonkowe. **Liście ogonkowe**, charakterystyczne dla paproci oraz roślin dwuliściennych, są zbudowane z blaszki liściowej, ogonka liściowego i nasady liścia. Natomiast **liście bezogonkowe**, charakterystyczne dla roślin jednoliściennych, składają się z blaszki liściowej, która przechodzi bezpośrednio w nasadę liścia.

Blaszka liściowa jest zwykle płaska i cienka. Dzięki temu ma dużą powierzchnię, która pozwala na optymalne wykorzystanie światła słonecznego oraz efektywną transpirację i wymianę gazową. W blaszce liściowej przebiegają wiązki przewodzące, które tworzą rusztowanie liścia. Nosi ono nazwę **użyłkowania** lub **unerwienia** liścia. Wyróżnia się dwa główne rodzaje użyłkowania – **równoległe** i **siatkowe**. W użyłkowaniu równoległym, charakterystycznym dla roślin jednoliściennych, wiązki przewodzące biegną równolegle do siebie. W użyłkowaniu siatkowym, charakterystycznym dla roślin dwuliściennych, 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. Przez ogonek liściowy przebiegają z łodygi do blaszki liściowej wiązki przewodzące.

Nasada liścia jest rozszerzoną, spłaszczoną strukturą łączącą liść z łodygą.

Liść ogonkowy rośliny dwuliściennej.

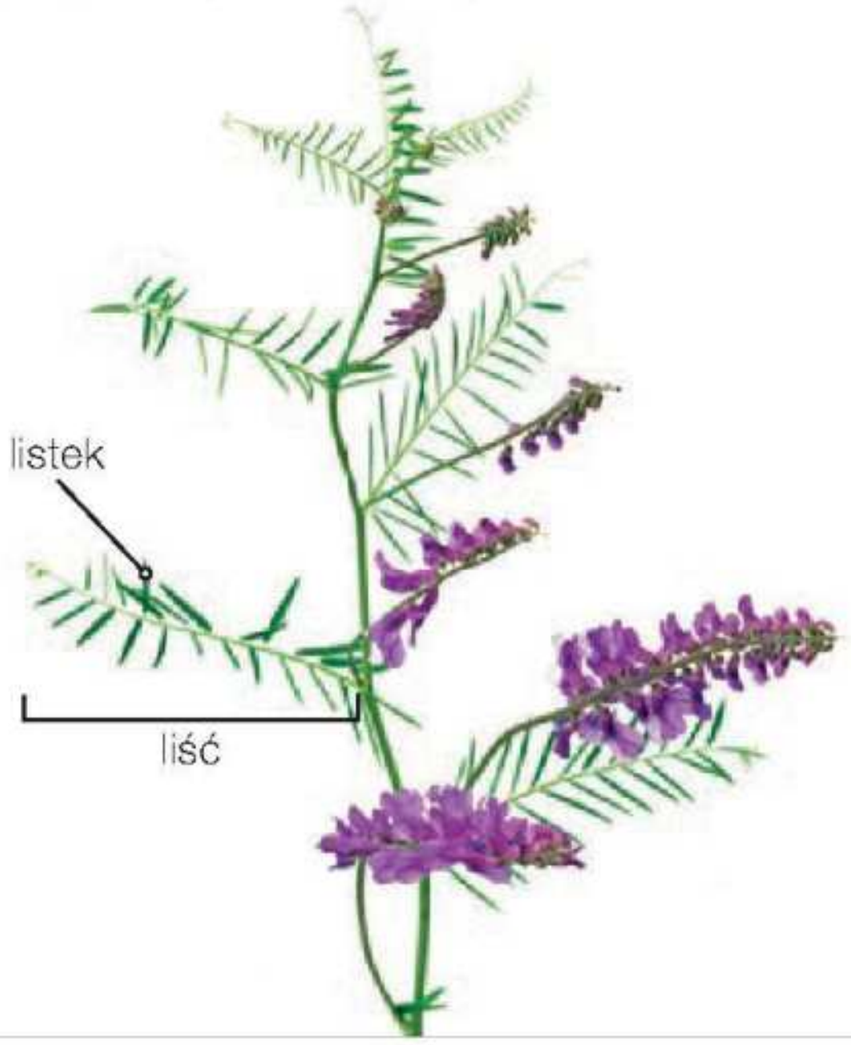
Liść bezogonkowy rośliny jednoliściennej.

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 (*Viola riviniana*).

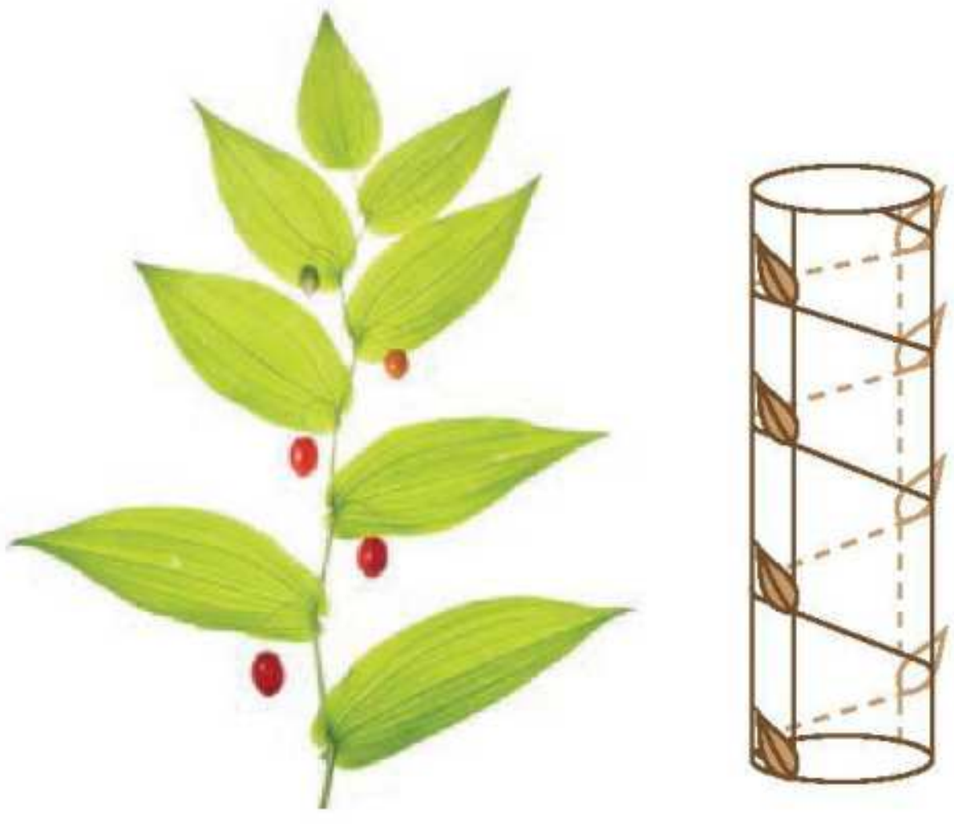
Liście złożone są zbudowane z kilku blaszek liściowych nazywanych listkami. Przykładem rośliny o liściach złożonych jest wyka ptasia (*Vicia cracca*).



Ulistnienie

Układ liści na łodydze nosi nazwę ulistnienia. Układ ten jest regularny i charakterystyczny dla danego gatunku rośliny. Wyróżnia się dwa główne typy ulistnienia: okółkowe oraz skrętoległe. **Ulistnienie okółkowe** występuje wtedy, gdy z jednego węzła łodygi wyrasta więcej niż jeden liść. Natomiast o **ulistnieniu skrętoległym** (helikalnym) mówimy, gdy z jednego węzła łodygi wyrasta jeden liść, a wszystkie liście układają się na łodydze w kształt helisy.

Ulistnienie okółkowe dwulistne występuje np. u goryczki trojeściowej (*Gentiana asclepiadea*).



Ulistnienie skrętoległe występuje np. u liczydła górskiego (*Streptopus amplexifolius*).

Budowa anatomiczna liścia

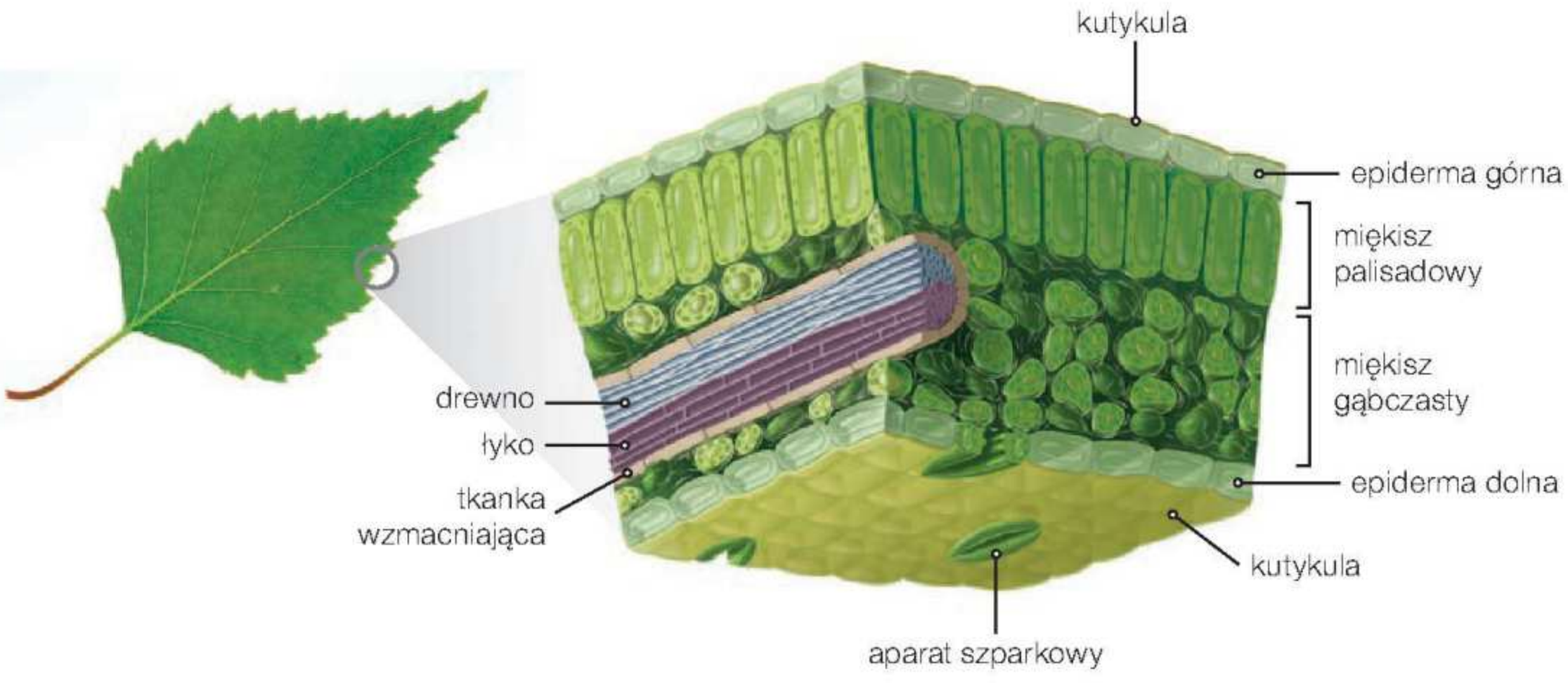
Liście wykazują duże zróżnicowanie budowy anatomicznej. Budowa ta zależy zarówno od przynależności systematycznej, jak i od formy ekologicznej rośliny. Inaczej są zbudowane liście roślin wodnych, a inaczej liście roślin stanowisk wilgotnych lub suchych.

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

- **Epiderma** stanowi zewnątrzną warstwę liścia. Zwykle jest zbudowana z jednej warstwy komórek, które nie zawierają chloroplastów. Zewnętrzne ściany komórek epidermy są powleczone hydrofobową warstwą **kutyny**. Warstwa ta tworzy **kutykulę**, która chroni roślinę przed nadmiernym wyparowywaniem wody, wnikaniem drobnoustrojów chorobotwórczych i urazami mechanicznymi. W epidermie liścia są zlokalizowane **aparaty szparkowe**. Umożliwiają one kontrolowaną transpirację oraz wymianę tlenu i dwutlenku węgla między wnętrzem rośliny a środowiskiem zewnętrznym. U większości roślin lądowych aparaty szparkowe znajdują się głównie na spodniej stronie liścia.
- **Miękisz asymilacyjny**, zwany również chlorenchymą lub mezofilem, wypełnia przestrzeń między górną a dolną epidermą liścia. Jego komórki zawierają liczne chloroplasty, w których zachodzi fotosynteza. U roślin jednoliściennych miękisz asymilacyjny jest zwykle jednorodny. Natomiast u roślin dwuliściennych wyróżnia się dwie jego formy: miękisz palisadowy i miękisz gąbczasty.

  Miękisz palisadowy znajduje się bezpośrednio pod górną epidermą liścia. Jest zbudowany z wydłużonych, ściśle do siebie przylegających komórek, ustawionych prostopadle do powierzchni liścia.

  Miękisz gąbczasty znajduje się nad dolną epidermą liścia. Jest zbudowany z komórek o nieregularnym kształcie, między którymi występują duże przestwory międzykomórkowe. Są one szczególnie obszerne w pobliżu aparatów szparkowych. Taka budowa sprawia, że oprócz funkcji asymilacyjnej miękisz gąbczasty zapewnia także intensywną cyrkulację gazów niezbędnych w procesach fotosyntezy i oddychania oraz stwarza optymalne warunki transpiracji.
- **Drewno** występuje w obrębie wiązek przewodzących liścia. Jego funkcją jest transport wody z solami mineralnymi z łodygi do żywych komórek liścia.
- **Łyko** występuje w obrębie wiązek przewodzących liścia. Jego funkcją jest transport asymilatów wytworzonych w miękiszu asymilacyjnym liścia do pozostałych żywych komórek rośliny.



Budowa anatomiczna liścia rośliny dwuliściennej.

Liście roślin szpilkowych

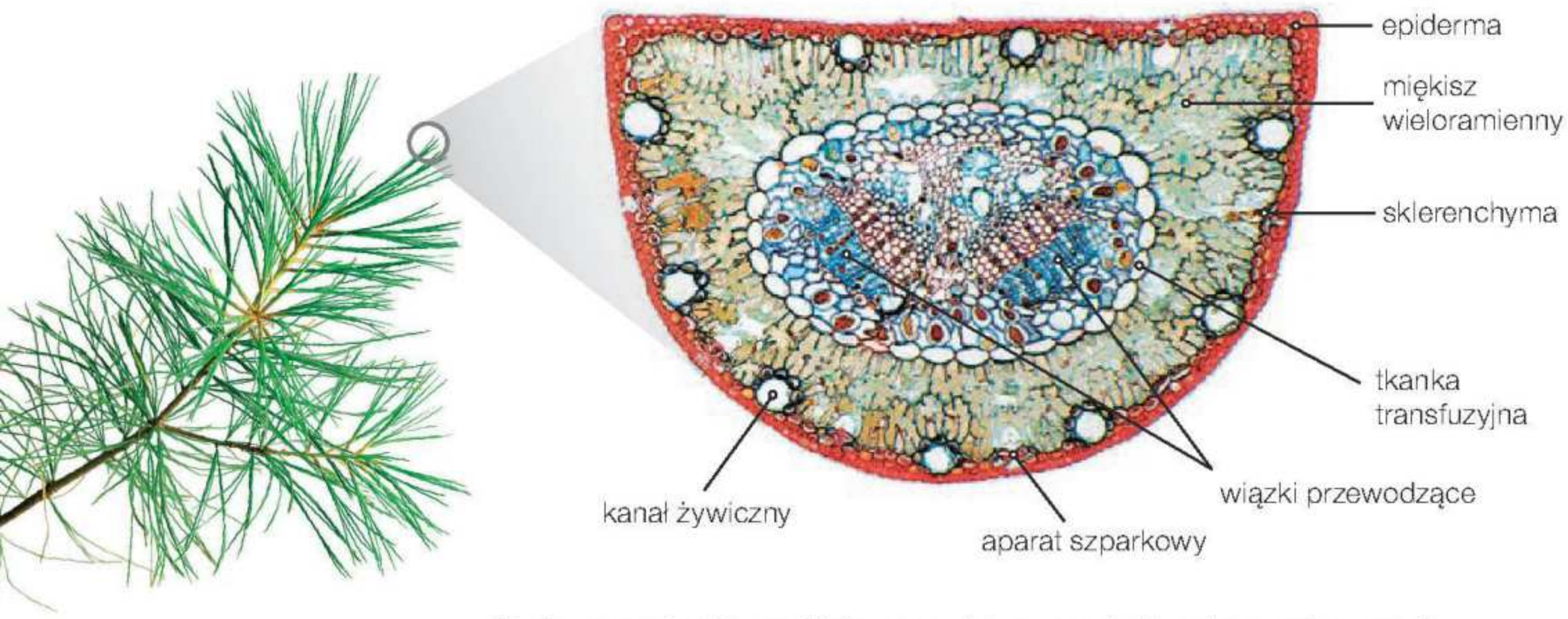
Liście roślin szpilkowych – szpilki (igły) – żyją zwykle od kilku do kilkunastu lat. U wielu gatunków, np. u sosny, charakteryzują się one **cechami kseromorficznymi**, czyli adaptacjami do warunków suszy, w tym suszy fizjologicznej. Susza fizjologiczna występuje głównie zimą, kiedy woda w glebie zamarza 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.

Redukcja blaszki liściowej spowodowała istotne konsekwencje w budowie pozostałych tkanek liścia. Pod epidermą występuje warstwa sklerenchymy, która 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. Centralną część liścia zajmują dwie nierozgałęzione wiązki przewodzące. Są one otoczone **tkanką transfuzyjną**, która pośredniczy w wymianie substancji między miękiszem a wiązkami przewodzącymi. Jej komórki są połączone między sobą licznymi plazmodesmami.

Wykształceniu liści o cechach kseromorficznych sprzyjała również obecność cewek w drewnie roślin szpilkowych. Przepływ wody przez cewki jest znacznie mniej wydajny niż przez naczynia, dlatego podniesienie wody na dużą wysokość jest utrudnione. Ograniczenie transpiracji, m.in. poprzez redukcję blaszki liściowej, przyczyniło się do mniejszego zapotrzebowania roślin szpilkowych na wodę.

Liście niektórych roślin szpilkowych, np. modrzewia (*Larix*), żyją tylko rok. Poza redukcją blaszki liściowej nie wykazują one przystosowań do warunków suszy.



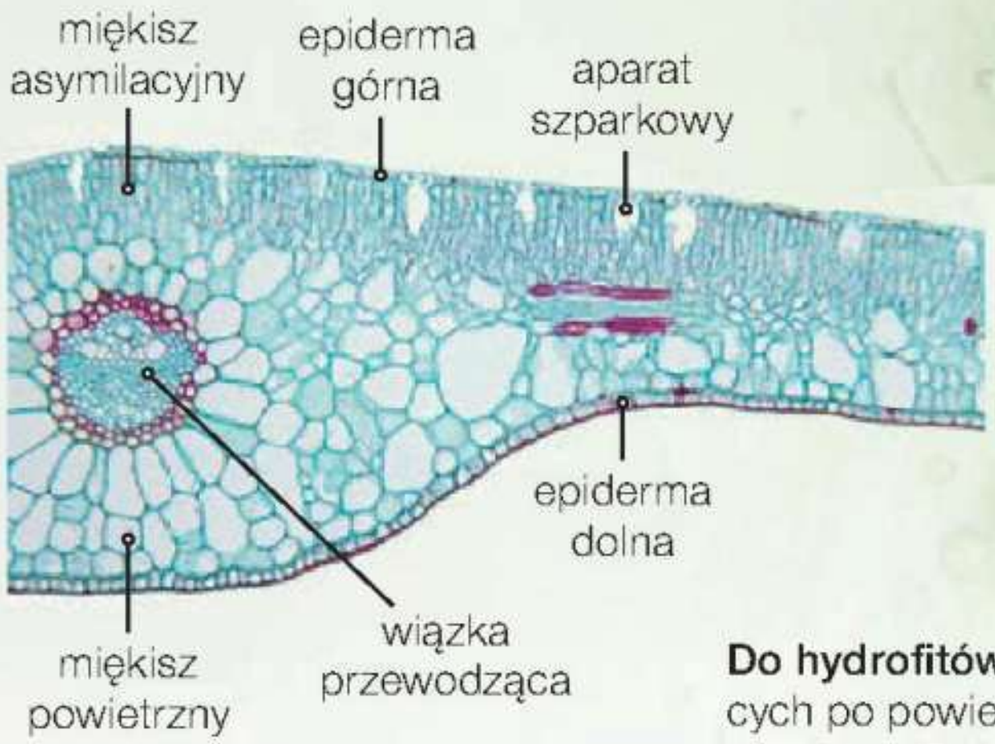
Budowa anatomiczna liścia sosny (obraz spod mikroskopu optycznego).

Liście różnych form ekologicznych roślin

Budowa anatomiczna liścia zależy przede wszystkim od środowiska życia rośliny.

Hydrofity

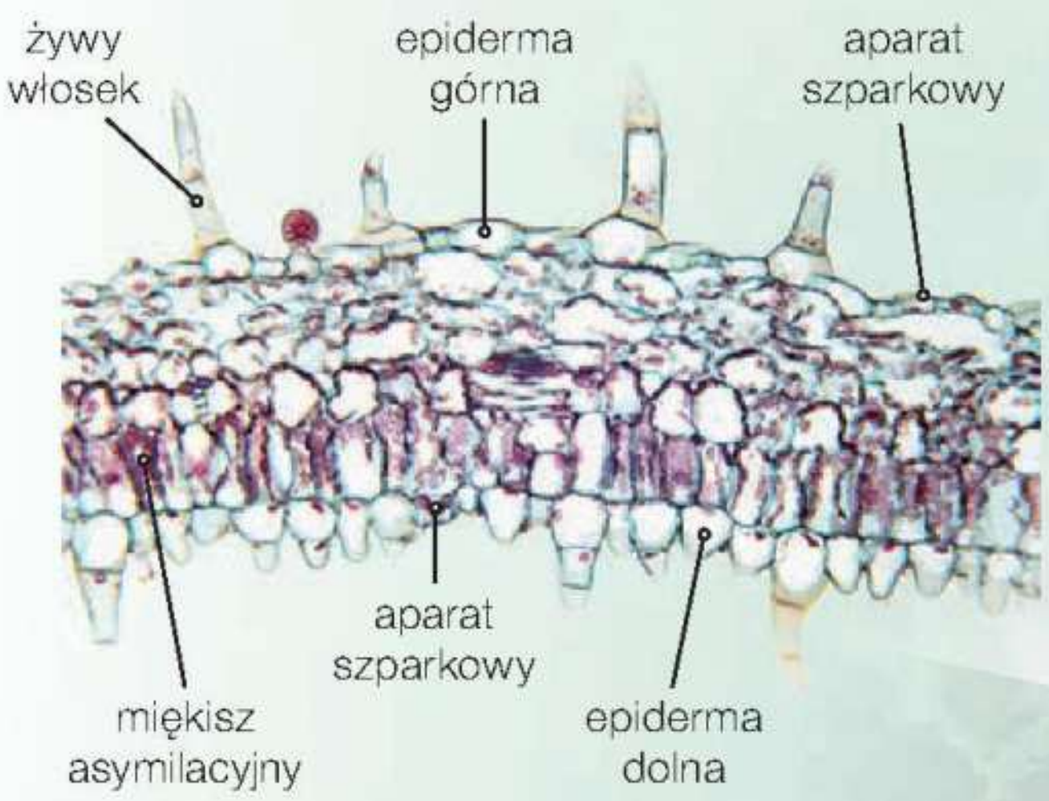
Liście hydrofitów są cienkie i delikatne. Mają jednowarstwową epidermę z bardzo słabo wykształconą kutykulą. Dzięki temu mogą pochłaniać wodę bezpośrednio z otoczenia. Aparaty szparkowe występują wyłącznie w liściach pływających po powierzchni wody i są zlokalizowane w epidermie górnej. U wielu gatunków hydrofitów komórki epidermy zawierają chloroplasty. Jest to przystosowanie do słabych warunków świetlnych panujących w wodzie. Charakterystyczną cechą liści hydrofitów jest także obecność miękiszu powietrznego. Stanowi on magazyn gazów, głównie tlenu, oraz umożliwia unoszenie się pędów roślin w wodzie lub na jej powierzchni.



Do hydrofitów o liściach pływających po powierzchni wody należy rdestnica (*Potamogeton*).

Higrofity

Liście higrofitów mają cienkie blaszki liściowe, przystosowane do transpiracji w warunkach dużej wilgotności gleby oraz powietrza. Epiderma liści jest jednowarstwowa. Jej komórki są wypukłe, cienkościenne, pokryte cienką warstwą kutykuli i żywymi włoskami, zwiększającymi powierzchnię parowania. Stale otwarte aparaty szparkowe znajdują się po obu stronach blaszki liściowej, na specjalnych uwypukleniach epidermy. U wielu gatunków higrofitów występują hydatody, które usuwają wodę w stanie ciekłym.

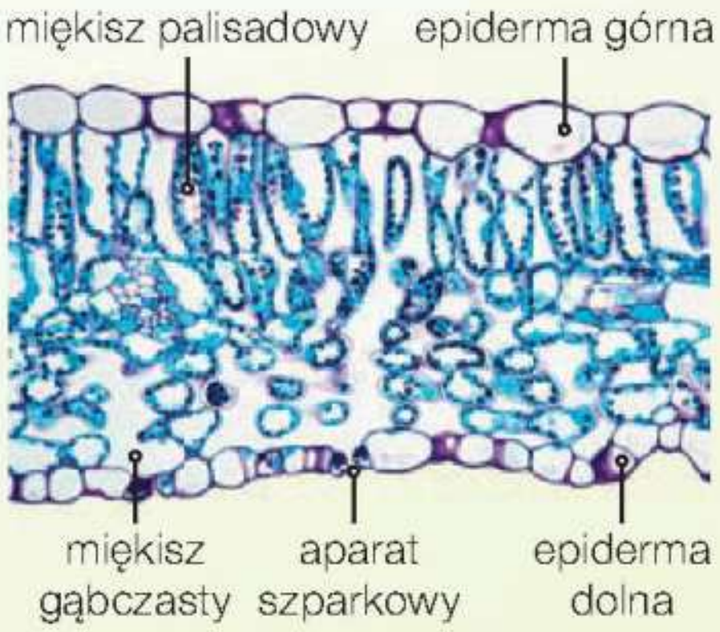


Do higrofitów należy koleus (*Plectranthus*) – roślina ozdobna pochodząca z klimatu tropikalnego.

Dowiedz się więcej

Mezofity

Liście mezofitów są przystosowane do regulowania transpiracji w zależności od aktualnej dostępności wody w środowisku. Ich epiderma jest jednowarstwowa, pozbawiona chloroplastów i pokryta kutykulą. Aparaty szparkowe znajdują się na spodniej stronie liści. Miękisz asymilacyjny jest zwykle zróżnicowany na miękisz palisadowy i miękisz gąbczasty.

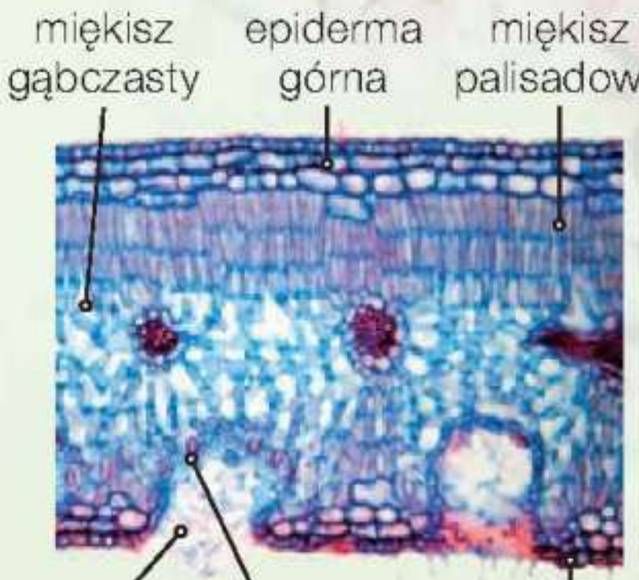


Do mezofitów należy lilak pospolity (*Syringa vulgaris*).

Kserofity

Do kserofitów należą sklerofity oraz sukulenty.

- **Liście sklerofitów** są twarde, skórzaste, przystosowane do ograniczania transpiracji w warunkach niedoboru wody w środowisku. Ich epiderma jest wielowarstwowa, pokryta grubą kutykulą. Aparaty szparkowe znajdują się na spodniej stronie liści, w zagłębieniach epidermy. Są one zwykle otoczone martwymi włoskami, które utrudniają wyparowywanie wody. W liściach sklerofitów znajduje się najczęściej wiele warstw miękiszu palisadowego, a miękisz gąbczasty ma niewielkie przestwory międzykomórkowe, co zmniejsza wydajność parowania wody z powierzchni komórek.



Do sklerofitów należy oleander (*Nerium*).

- **Liście sukulentów** liściowych magazynują wodę. Są grube, soczyste, prawie w całości wypełnione miękiszem wodnym. Na ich powierzchni oprócz kutykuli znajduje się gruba warstwa wosków.

Do sukulentów liściowych należy aloes (*Aloë*).

Modyfikacje liści

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

Liście pułapkowe

Występują u roślin mięsożernych, np. u muchołówki, rosiczki czy dzbanecznika. Są wyspecjalizowane w chwytaniu i trawieniu drobnych zwierząt bezkręgowych, głównie owadów, z których pozyskują niezbędne do wzrostu związki azotu.

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

włosek czuciowy

Ciernie

Występują u wielu sukulentów, np. u kaktusów. Są silnie zredukowane, sztywne, zaostrzone i zwykle zdrewniałe. Chronią przed zwierzętami roślinożernymi oraz ograniczają transpirację.

cierń

Liście spichrzowe

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

Liściaki

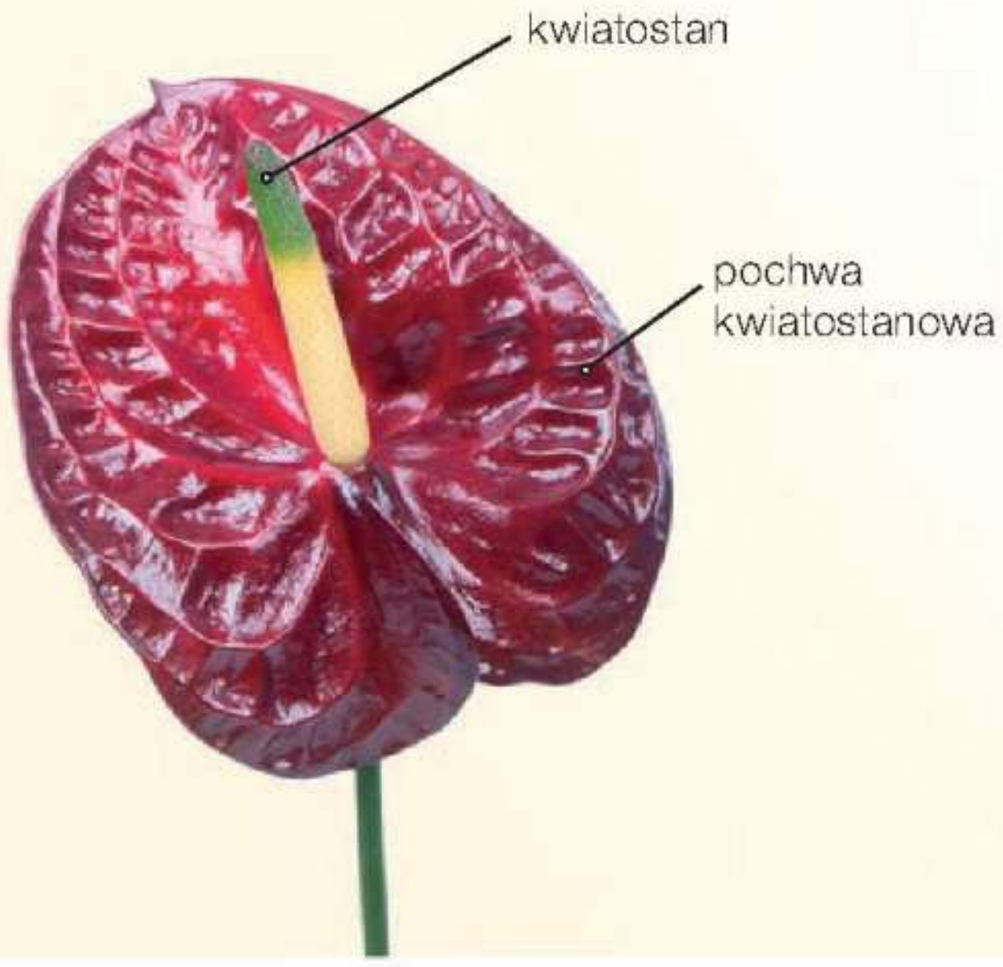
Występują u niektórych kserofitów, np. u akacji. Są to przekształcone ogonki liściowe, które pełnią funkcję asymilacyjną.

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 u niektórych roślin jednoliściennych, np. u anturium. Są zwykle duże i barwne. Otaczają niepozorne kwiatostany, przywabiając do nich zwierzęta zapylające. Pełnią więc funkcję 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 a funkcjami liści.
2. Podaj różnice między budową liści ogonkowych a budową liści bezogonkowych oraz między budową liści pojedynczych a budową liści złożonych.
3. Porównaj budowę liścia sosny z budową liścia rośliny dwuliściennej. Wyjaśnij, z czego wynikają różnice w budowie obu typów liści.
4. Wymień przykłady modyfikacji liści i określ ich znaczenie dla roślin.

3.8. Mchy – rośliny o dominującym gametoficie

Zwróć uwagę na:
- cechy charakterystyczne mchów,
- budowę mchów,
- rozmnażanie się mchów,
- znaczenie mchów.

Większość mchów to rośliny lądowe, które występują niemal na całym obszarze kuli ziemskiej. Tylko nieliczne gatunki przystosowały się wtórnie do życia w środowisku wodnym.

Mchy 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.

Cechy mchów

Charakterystyczną cechą mchów jest występowanie w ich cyklu rozwojowym przemiany pokoleń, w której **gametofit dominuje nad sporofitem**. **Gametofit jest zieloną, wieloletnią rośliną**, która ma postać ulistnionej łodyżki, przytwierdzonej do podłoża chwytnikami. Pokolenie to rozmnaża się za pomocą gamet – nieruchomych komórek jajowych, wytwarzanych w rodniach – oraz ruchliwych plemników, wytwarzanych w plemniach. **Zapłodnienie u mchów wymaga obecności wody**, ponieważ plemniki muszą przepłynąć z plemni do rodni zawierającej komórkę jajową. Dlatego mchy rosną w gęstych kępach i mają zdolność gromadzenia wody. Zalega ona między roślinami tworzącymi kępę oraz między listkami pojedynczych gametofitów.

Sporofit mchów jest pokoleniem krótkotrwałym, uzależnionym od gametofitu – pobiera z niego wodę z substancjami mineralnymi, a u niektórych gatunków – również produkty fotosyntezy. U większości mchów sporofit składa się ze stopy, sety oraz zarodni. W zarodni sporofitu powstają mejospory – haploidalne zarodniki. Mają one charakter przetrwalnikowy i służą do rozprzestrzeniania się gatunku. Dlatego **mchy należą do roślin zarodnikowych**.

Mchy to jedyne rośliny lądowe, które **nie są roślinami naczyniowymi**. Oznacza to, że **nie wytwarzają drewna** – wyspecjalizowanej tkanki przewodzącej wodę. U niektórych gatunków jego funkcję pełnią prymitywne komórki przewodzące – **hydroidy** – o celulozowych, niezdrewniałych ścianach komórkowych. Brak drewna uniemożliwia wydajny transport wody w górę rośliny, dlatego mchy mają niewielkie rozmiary – ich wysokość nie przekracza zazwyczaj kilkunastu centymetrów. 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 (1n) są strukturami analogicznymi do organów sporofitu (2n), dlatego noszą inne nazwy.

Budowa mchów

Gametofit mchów składa się z łodyżki, listków oraz chwytników. Gametangia – rodnie i plemnie – powstają najczęściej na szczycie łodyżki, co uniemożliwia jej dalszy wzrost.

- **Łodyżka** jest zwykle pionowo wzniesiona i nierozgałęziona. Jej zewnętrzną warstwę stanowi kora zbudowana z grubościennych komórek, a wnętrze wypełnia miękiszowy rdzeń. U niektórych gatunków w rdzeniu przebiega słabo wykształcona wiązka przewodząca, zbudowana z **hydroidów** – komórek przewodzących wodę – oraz **leptoidów** – komórek przewodzących asymilaty.
- **Listki** są najczęściej zbudowane z jednej warstwy miękiszu asymilacyjnego. Mogą być wzmocnione wielowarstwowym żeberkiem, wewnątrz którego przebiegają hydroidy i leptoidy. U większości mchów wiązka przewodząca listków nie ma połączenia z wiązką przewodzącą łodyżki.

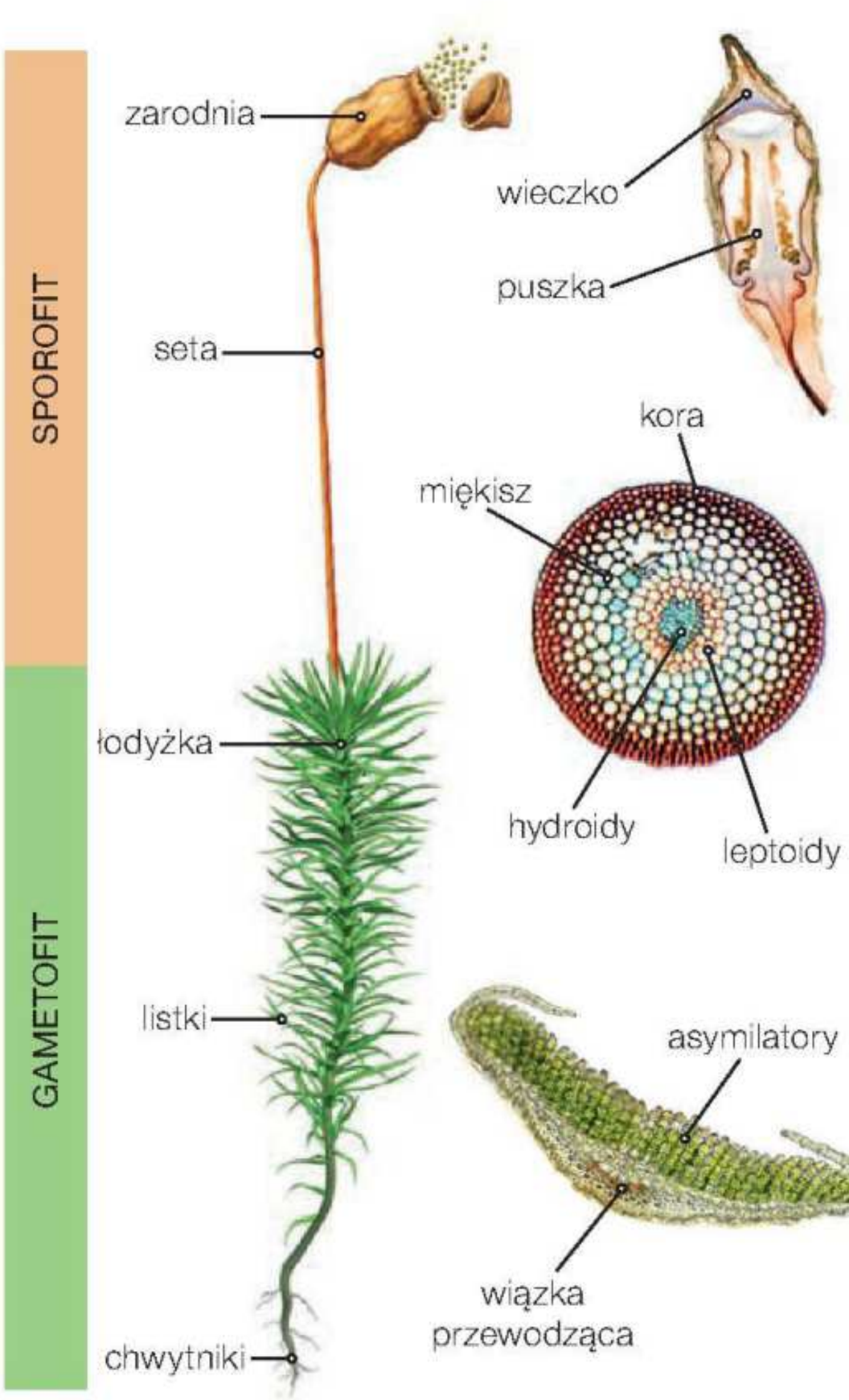
- **Chwytniki** są wielokomórkowe i silnie rozgałęzione. Umocowują roślinę w podłożu oraz w niewielkim stopniu uczestniczą w pobieraniu z gleby wody z solami mineralnymi.

Sporofit mchów to pokolenie uzależnione od gametofitu. Czas jego życia nie przekracza trzech lat. Sporofit składa się ze stopy wyrastającej z gametofitu, sety, czyli bezlistnego, często brązowego trzonka, i zarodni.

- **Stopę** tworzą pofałdowane komórki o dużej powierzchni, które pobierają z gametofitu wodę i substancje odżywcze.
- **Seta** jest pionowo wzniesiona i nierozgałęziona. Jej zewnętrzną warstwę tworzy grubościenna epiderma. Wnętrze sety wypełnia miękiszowy rdzeń, w którym mogą przebiegać hydroidy i leptoidy.
- **Zarodnia** jest zbudowana z puszki i wieczka. Okrywa ją czepek utworzony z oderwanego fragmentu rodni gametofitu. Wewnątrz puszki znajduje się tkanka zarodnikotwórcza. Komórki tej tkanki dzielą się mejotycznie, w wyniku czego powstają haploidalne zarodniki – mejospory.

Budowa płonników

Płonniki to grupa mchów o wysokim stopniu organizacji. Ich wysokość może przekrać nawet 60 cm. Gametofity i sporofity płonników zawierają wiązki przewodzące zbudowane z hydroidów i leptoidów. W gametofitach wiązki przewodzące łodyżki mają połączenie z wiązkami listków.



Zarodnia składa się z puszki i wieczka. Wewnątrz puszki znajduje się tkanka zarodnikotwórcza.

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

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

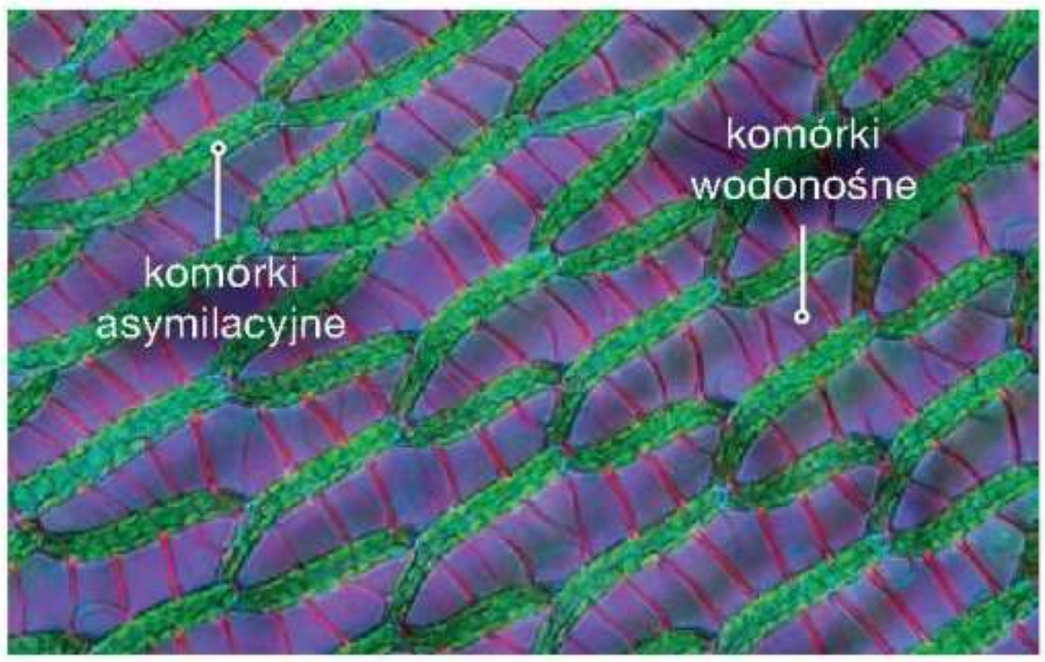
Listki mają na górnej powierzchni asymilatory – pionowe szeregi komórek zawierających chloroplasty, w których zachodzi fotosynteza. Wiązka przewodząca listków jest połączona z wiązką łodyżki.

Chwytniki umocowują roślinę w podłożu oraz uczestniczą w pobieraniu wody z solami mineralnymi.

Torfowce

Torfowce (Sphagnidae) są wyspecjalizowaną grupą mchów. Dojrzały gametofit torfowców jest pozbawiony chwytników – ma postać łodyżki z licznymi odgałęzieniami, na których tworzą się rodnie i 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 martwych komórek wodonośnych, które chłoną i gromadzą wodę. Sporofit torfowców składa się z silnie zredukowanej sety i zarodni, która jest osadzona na trzoneczku wytworzonym przez gametofit.

Gametofity torfowców są rozgałęzione, a zarodnie tworzą się na końcach rozgałęzień. Dlatego gametofity mają zdolność nieograniczonego wzrostu.

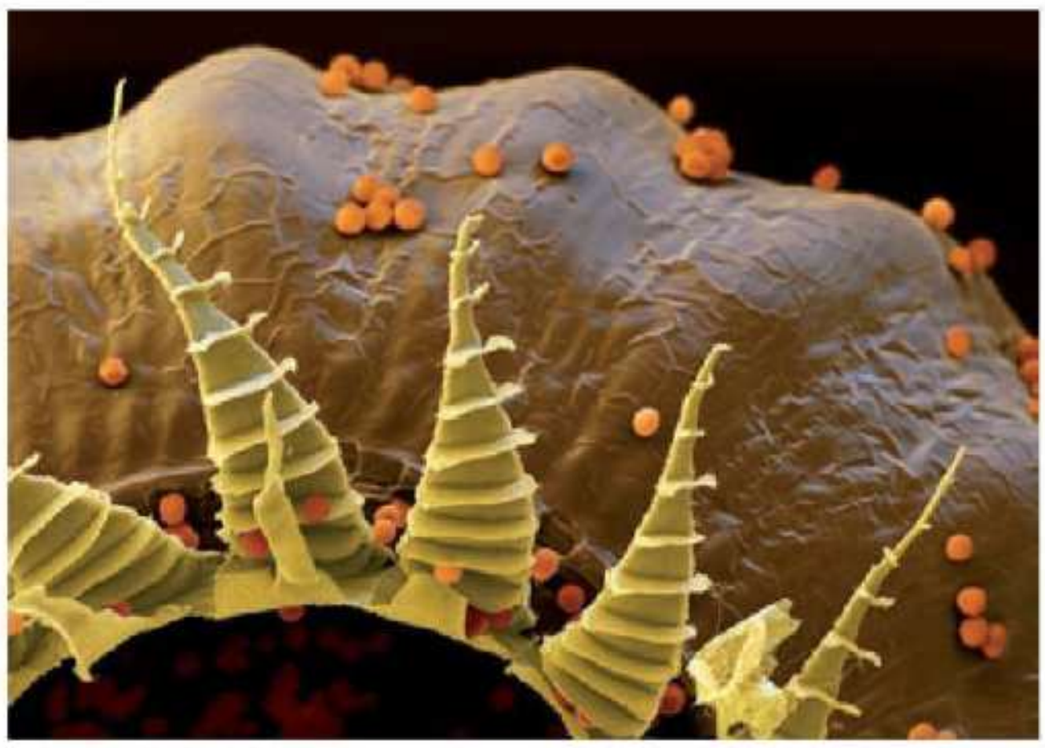


Łodyżki i listki torfowców są zbudowane z żywych komórek asymilacyjnych i martwych komórek wodonośnych.

Rozmnażanie się mchów

Mchy rozmnażają się bezpłciowo oraz płciowo. **Rozmnażanie bezpłciowe** może odbywać się wegetatywnie przez fragmentację rośliny lub przez rozmnóżki.

Rozmnażanie płciowe zachodzi przy udziale gamet wytwarzanych przez gametofity i mejospor wytwarzanych przez sporofity. **Gamety** powstają w wielokomórkowych gametangiach: żeńskich rodniach i męskich plemniach. Rodnie i plemnie tworzą najczęściej skupienia, zwane rodniostanami i plemniostanami. 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**. Plemniki są opatrzone wiciami, dlatego zapłodnienie zachodzi tylko w obecności wody. Haploidalne zarodniki – **mejospory** – powstają w zarodniach sporofitu w wyniku podziałów mejotycznych tkanki zarodnikotwórczej. Mejospory są jednakowe morfologicznie i **mają charakter przetrwalnikowy**.

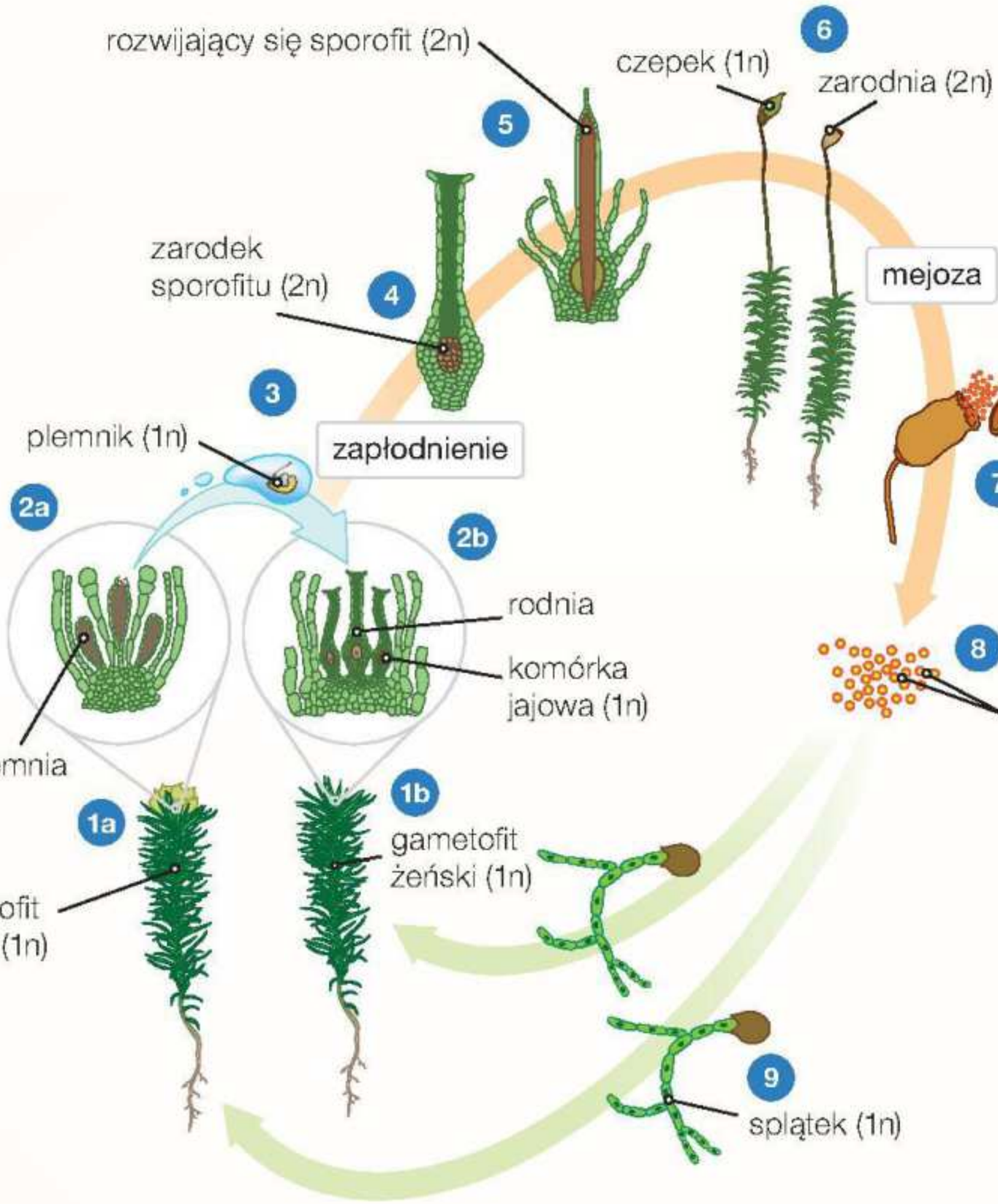


U niektórych gatunków mchów na brzegu zarodni znajduje się wieniec ząbków, zwany ozębnią. Kiedy jest sucho, ząbki wyginają się na zewnątrz i otwierają zarodnię. Natomiast kiedy jest wilgotno, ząbki wyginają się do wewnątrz, zamykając zarodnię. Dzięki temu ozębnia reguluje tempo wysypywania się zarodników w zależności od pogody.

Cykl rozwojowy płonnika pospolitego

Płonnik pospolity (*Polytrichum commune*) występuje w lasach, na łąkach oraz na torfowiskach. W jego cyklu rozwojowym – podobnie jak u pozostałych mchów – 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.

Płonnik pospolity.



1a Na gametofitach męskich tworzą się maczugowate plemnie.

1b Na gametofitach żeńskich tworzą się butelkowate 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 dzielą się mejotycznie i wytwarzają zarodniki.

7 Zarodniki wysypują się z zarodni.

8 Zarodniki – mejospory – są jednakowe morfologicznie, ale zróżnicowane płciowo.

9 Zarodniki kiełkują w wielokomórkowe, nitkowate splątki, będące samożywnymi stadiami młodocianymi 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.

Tworzenie siedlisk

Mchy tworzą siedliska dla zwierząt, m.in. owadów, pajęczaków i ślimaków. Niektóre owady, np. *Trychopeplus laciniatus*, upodabniają się wyglądem do mchów, chroniąc się w ten sposób przed atakiem drapieżników.

Materiał na gniazda

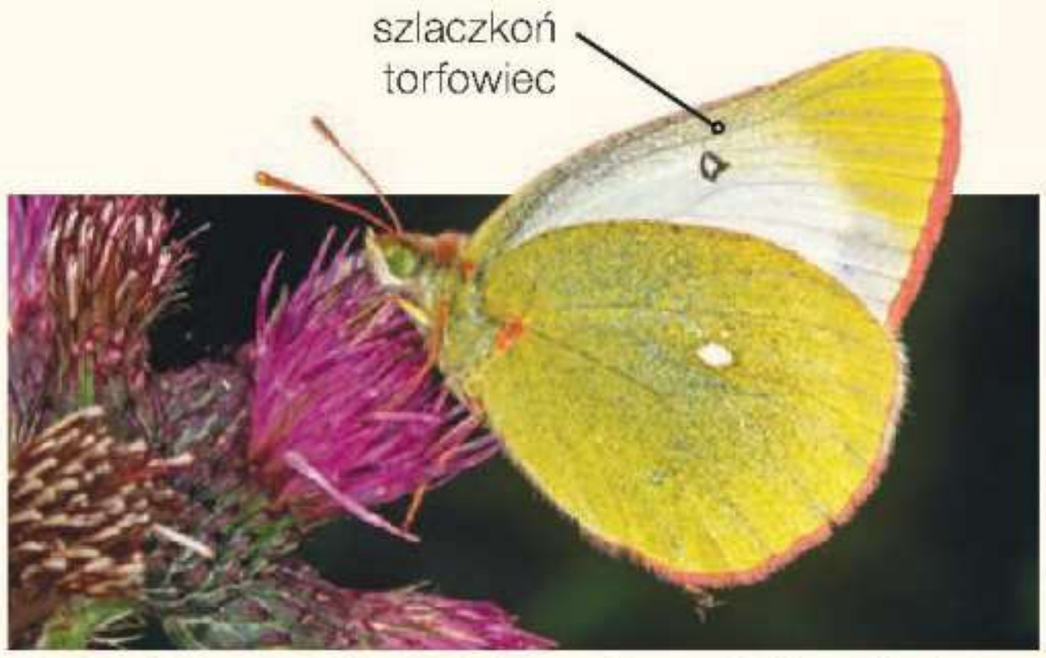
Mchy są wykorzystywane przez liczne gatunki ptaków jako materiał do budowy gniazd.

Zapobieganie erozji gleb

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. Chronią w ten sposób gleby leśne przed erozją.

Torfowiska

Znaczącą 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 (*Ledum palustre*), i zwierząt, np. szlaczkoń torfowiec (*Colias palaeno*).

Torfowiska zatrzymują dużą ilość wody, regulując bilans wodny okolicznych ekosystemów. Biorą także udział w oczyszczaniu wód poprzez wychwytywanie z nich związków azotu i fosforu.

Ziemia torfowa jest szeroko wykorzystywana w ogrodnictwie. Stosuje się ją zarówno w ogrodach, jak i do uprawy roślin doniczkowych.

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

Polecenia kontrolne

1. Podaj dwa 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 jakiego pokolenia należą podane niżej struktury:
   a. splątek, c. zarodnik,
   b. czepek, d. seta.
5. Wykonaj schemat cyklu rozwojowego mchów, a następnie:
   a. zaznacz miejsce, w którym dochodzi do zapłodnienia, oraz miejsce, gdzie zachodzi mejoza,
   b. ustal, które elementy cyklu należą do pokolenia gametofitu, a które – do pokolenia sporofitu.
6. Wyjaśnij, w jaki sposób mchy wpływają na regulację bilansu wodnego biocenoz leśnych.

3.9. Paprotniki – zarodnikowe rośliny naczyniowe

Zwróć uwagę na:
- cechy charakterystyczne paprotników,
- budowę paprotników,
- rozmnażanie się paprotników,
- znaczenie paprotników.

Takson paprotników ma znaczenie wyłącznie historyczne. Niegdyś zaliczano do niego trzy grupy roślin: **paprociowe, skrzypowe** i **widłakowe**. Ze względu na różne pochodzenie ewolucyjne grupy te są obecnie klasyfikowane jako odrębne jednostki taksonomiczne w kategorii gromady lub podgromady.

Większość paprotników zasiedla wilgotne środowiska lądowe (głównie lasy), a wtórnie – również środowiska wodne.

Cechy paprotników

Paprotniki mimo różnego pochodzenia ewolucyjnego mają cechy wspólne. Są to:
- heteromorficzna przemiana pokoleń, w której pokoleniem dominującym jest samożywny, wieloletni sporofit,
- rozprzestrzenianie się za pomocą zarodników.

Paprotniki należą do **organowców**, ponieważ ich **sporofit** jest zbudowany z organów – korzeni, łodygi i liści. Są one również **roślinami naczyniowymi**, ponieważ w budowie anatomicznej sporofitu występuje wyspecjalizowana tkanka przewodząca wodę – **drewno**. Liście paprotników są często zróżnicowane na liście zarodnionośne – **sporofile**, na których znajdują się zarodnie, oraz liście asymilacyjne – **trofofile** – które przeprowadzają fotosyntezę. Niektóre paprotniki mają **sporotrofofile** – liście, które łączą funkcje zarodnionośną i asymilacyjną. W zarodniach sporofitu powstają zarodniki. Mają one charakter przetrwalnikowy i służą do rozprzestrzeniania się gatunku. Dlatego paprotniki są **roślinami zarodnikowymi**. Paprotniki jednakozarodnikowe wytwarzają jeden rodzaj zarodników, które kiełkują w jednopienne gametofity. Paprotniki różnozarodnikowe wytwarzają dwa rodzaje zarodników: duże makrospory, które dają początek gametofitom żeńskim, i mniejsze mikrospory, które dają początek gametofitom męskim.

Gametofit (przedrośle) paprotników jest zwykle krótkotrwały, samożywny i ma postać małej, zielonej plechy. Pokolenie to rozmnaża się za pomocą gamet – nieruchomych komórek jajowych, wytwarzanych w rodniach, oraz ruchliwych plemników, wytwarzanych w plemniach. **Zapłodnienie wymaga obecności wody**, ponieważ plemniki muszą przepłynąć z plemni do rodni zawierającej komórkę jajową.

Paprocie drzewiaste występują głównie w klimacie tropikalnym. Mogą osiągać wysokość 25 m, ale ich organy nie przyrastają wtórnie na grubość.

Paprocie epifityczne występują głównie w klimacie tropikalnym. Porastają pnie i gałęzie drzew – dzięki temu dociera do nich więcej światła.

Paprociowe

Paprociowe zwane są również paprociami. Ich **sporofit** składa się zwykle z podziemnej łodygi – **kłącza**, licznych, cienkich **korzeni przybyszowych** oraz dużych, pierzastych **liści**. Kłącze magazynuje substancje odżywcze i umocowuje roślinę w glebie, natomiast korzenie pobierają z gleby wodę z solami mineralnymi. Liście uczestniczą w odżywianiu oraz rozmnażaniu się paproci. Przeprowadzają fotosyntezę i wytwarzają **zarodnie** z **zarodnikami**. Większość paproci wytwarza jeden rodzaj zarodników, które kiełkują w jednopienne gametofity. Paprocie różnozarodnikowe są stosunkowo nieliczne. Wytwarzają one dwa rodzaje zarodników, które kiełkują w dwupienne gametofity.

Jesienią liście paproci obumierają, natomiast roślina zimuje w postaci kłącza, z którego wiosną wyrastają nowe liście. **Gametofit** paproci

Do paproci różnozarodnikowych należą gatunki z rodzaju marsylia (*Marsilea*). Z dolnej części ich ogonków liściowych wyrastają skupienia zarodni – makrosporangiów i mikrosporangiów – w których powstają makrospory i mikrospory.

ma postać niewielkiej plechy, przytwierdzonej do podłoża chwytnikami. Na gametoficie powstają rodnie i plemnie.

Rodzaje liści paproci

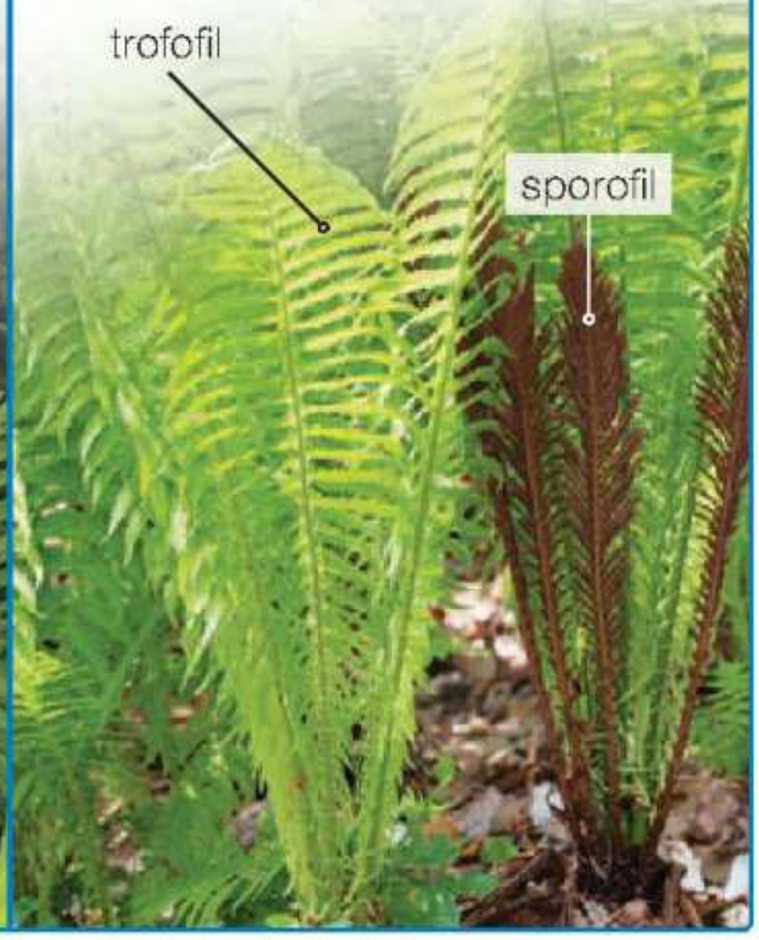
sporotrofofile

Liście o charakterze sporotrofofili ma **paprotka zwyczajna** (*Polypodium vulgare*). Pełnią one funkcję asymilacyjną oraz uczestniczą w rozmnażaniu się rośliny. Na ich spodniej stronie znajdują się kupki zarodni.

Liście o charakterze sporotrofofili ma **długosz królewski** (*Osmunda regalis*). Ich dolna – zielona – część pełni funkcję asymilacyjną, natomiast górna – brunatna – wytwarza zarodnie z zarodnikami.

sporofile i trofofile

Dwa rodzaje liści wytwarza **pióropusznik strusi** (*Matteuccia struthiopteris*). Zielone trofofile pełnią funkcję asymilacyjną, natomiast brunatne sporofile wytwarzają zarodnie z zarodnikami.



Budowa nerecznicy samczej

Nerecznica samcza (*Dryopteris filix-mas*) występuje w cienistych lasach na terenie całej Polski. Sporofit nerecznicy dorasta do ok. 1,5 m wysokości. 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 proces fotosyntezy. Są one pierzaste i składają się z wielu mniejszych listków.

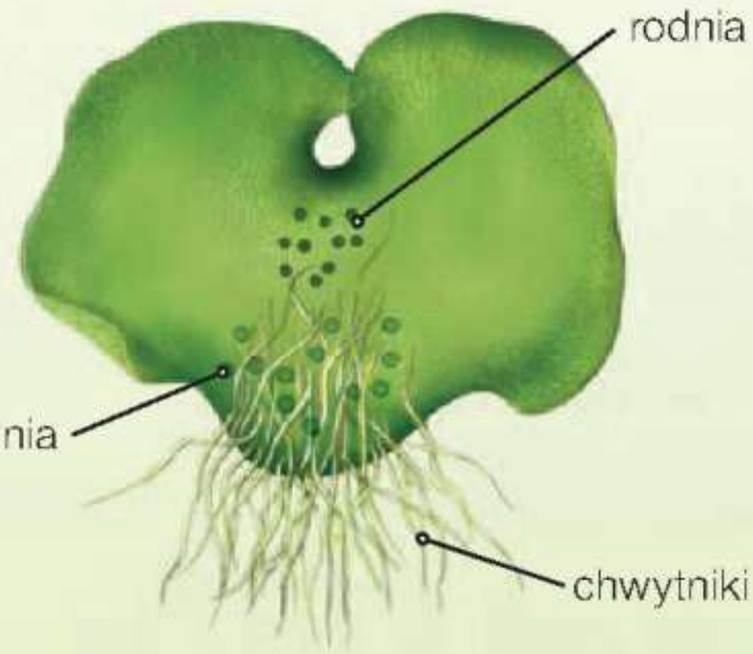
Młode liście są zwinięte w charakterystyczny, ślimakowaty sposób.

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.

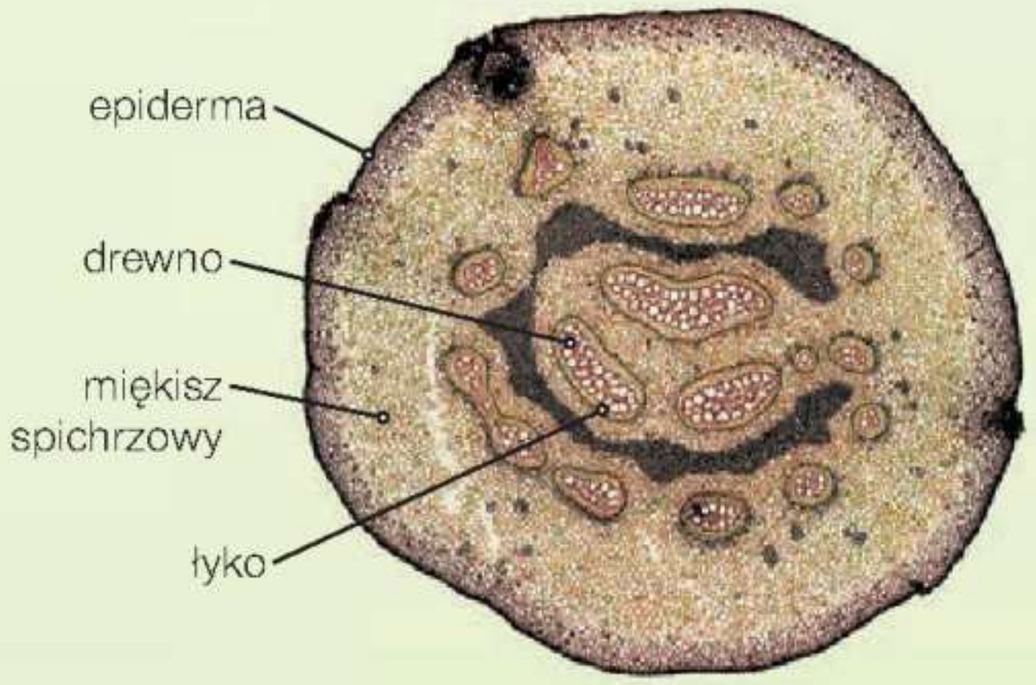
Zarodnie są wytwarzane w kupkach na spodniej stronie dojrzałych liści. Każda kupka jest otoczona błoną – zawijką. Zarodnie mają specjalny półpierścień otwierający, który umożliwia wysypywanie się zarodników.

Gametofit nerecznicy samczej



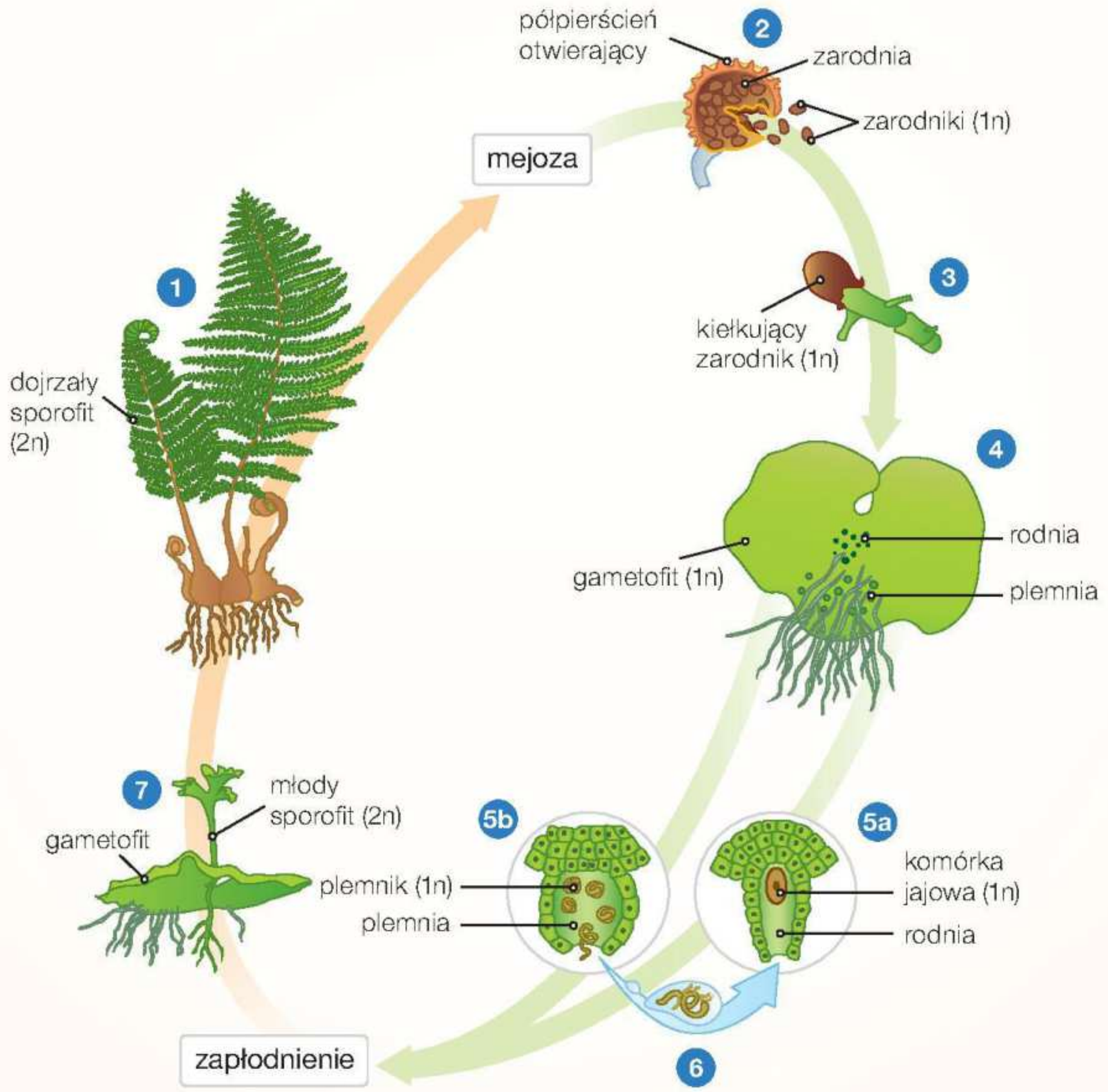
Budowa anatomiczna łodygi paproci

Łodygę (kłącze) paproci okrywa epiderma zawierająca aparaty szparkowe, a jej wnętrze 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. Oznacza to, że jej zarodniki są niezróżnicowane morfologicznie. Są one również niezróżnicowane fizjologicznie (płciowo), ponieważ wyrastają z nich jednopienne gametofity.



1 Na spodniej stronie liści znajdują się zarodnie, które są zebrane w kupki i otoczone zawijką.

2 W zarodniach znajduje się tkanka zarodnikotwórcza, której komórki, dzieląc się mejotycznie, wytwarzają zarodniki. Zarodnie są zaopatrzone w półpierścień komórek o nierównomiernie zgrubiałych ścianach. Po dojrzeniu zarodników półpierścień się wygina, co powoduje rozerwanie zarodni i wysypanie 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 warstewce wody pokrywającej dolną powierzchnię przedrośla. 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.

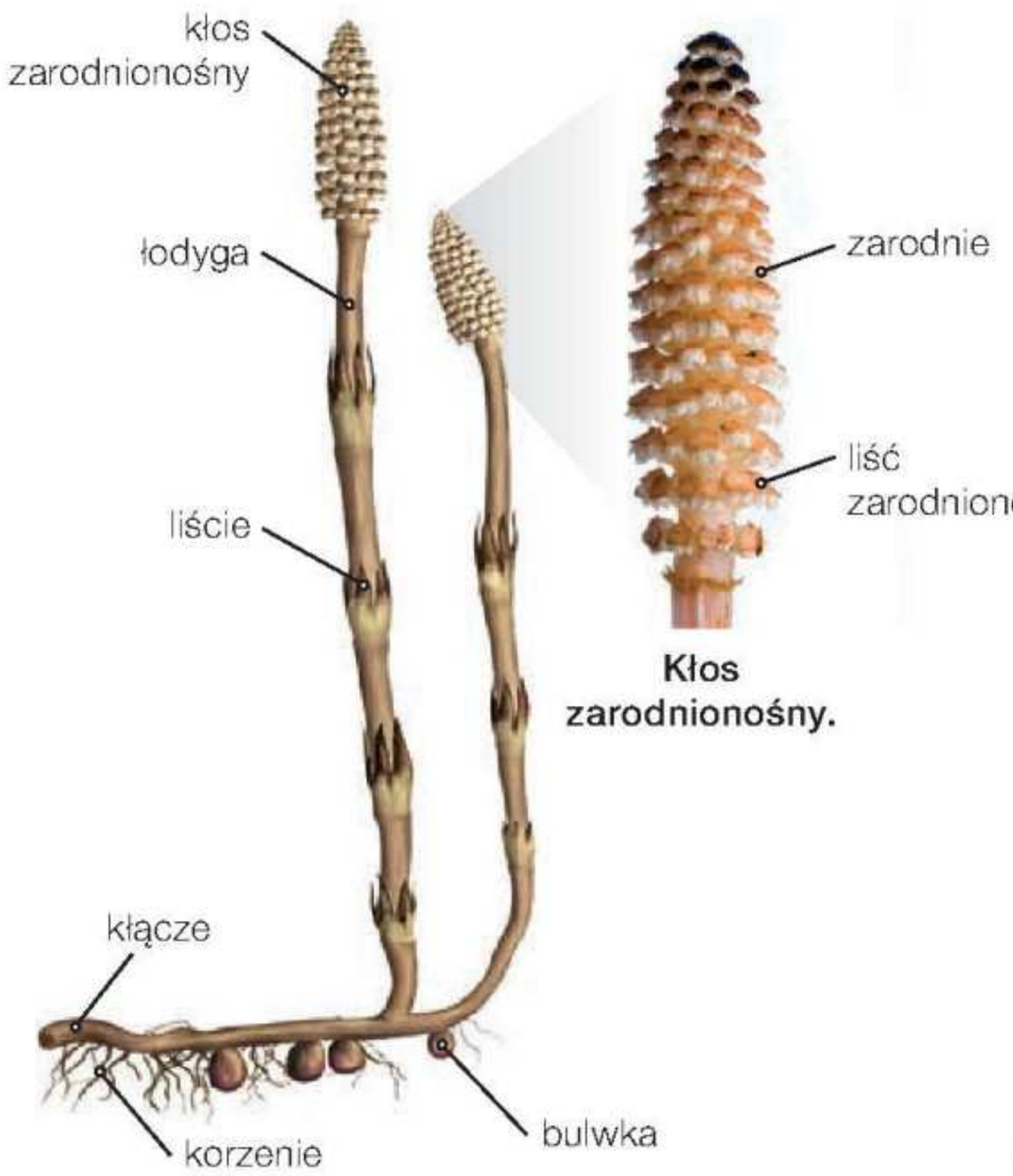
Skrzypowe

W paleozoiku skrzypowe były dużą, zróżnicowaną grupą roślin, a ich przedstawiciele – kalamity – osiągały wysokość ponad 30 m. Do współczesnych skrzypowych należy zaledwie 30 gatunków roślin, zaklasyfikowanych do jednego rodzaju – skrzyp (*Equisetum*).

Sporofity skrzypów są wieloletnimi roślinami zielnymi, osiągającymi wysokość kilkudziesięciu centymetrów. Ich charakterystyczną cechą jest członowana budowa łodyg nadziemnych oraz kłączy. Organy te są zróżnicowane na krótkie węzły i wydłużone międzywęźla. Z węzłów kłącza wyrastają korzenie przybyszowe, natomiast z węzłów łodygi nadziemnej – okółki odgałęzień bocznych oraz łuskowatych liści zrośniętych w pochewkę. Liście skrzypów nie przeprowadzają fotosyntezy, a funkcję organu asymilacyjnego całkowicie przejmuje łodyga. Na szczytach pędów asymilacyjnych niektórych gatunków skrzypów znajdują się **kłosy zarodnionośne** (sporofilostany). Są to skupienia liści zarodnionośnych (sporofili). Na spodniej stronie liści zarodnionośnych wykształcają się zarodnie, w których powstają **zarodniki**. Mimo że zarodniki skrzypów są jednakowe morfologicznie, wykazują zróżnicowanie fizjologiczne: wyrastają z nich **dwupienne gametofity** – przedrośla żeńskie oraz przedrośla męskie. Przedrośla są drobne, zielone, przytwierdzone do gleby za pomocą chwytników.

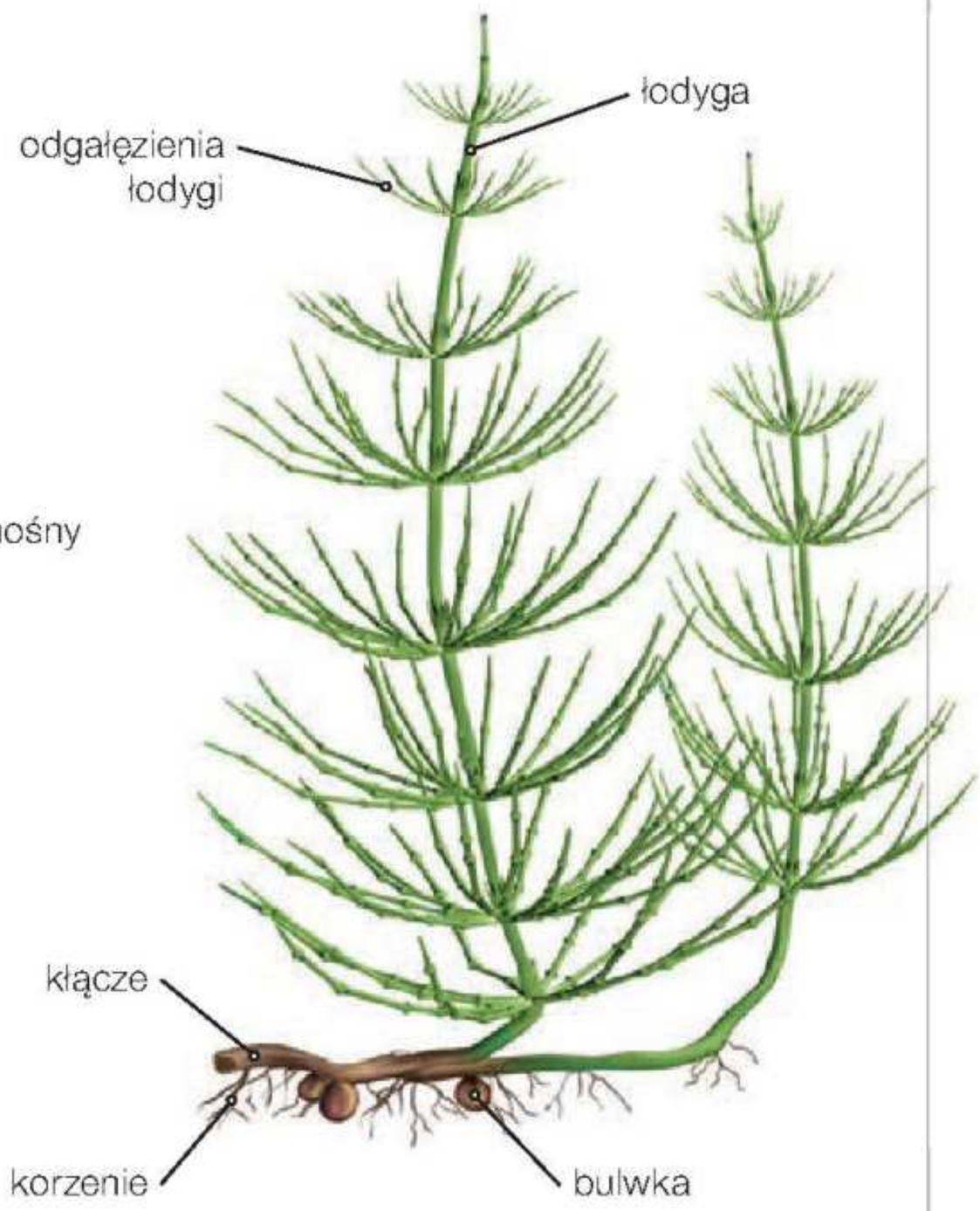
Budowa sporofitu skrzypu polnego

U skrzypu polnego (*Equisetum arvense*) występują dwa typy pędów: wiosenny, bezzieleniowy pęd zarodnionośny, który wytwarza kłos zarodnionośny z zarodniami, 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 ten żyje zaledwie kilkanaście dni – do czasu wytworzenia i wysypania się zarodników.

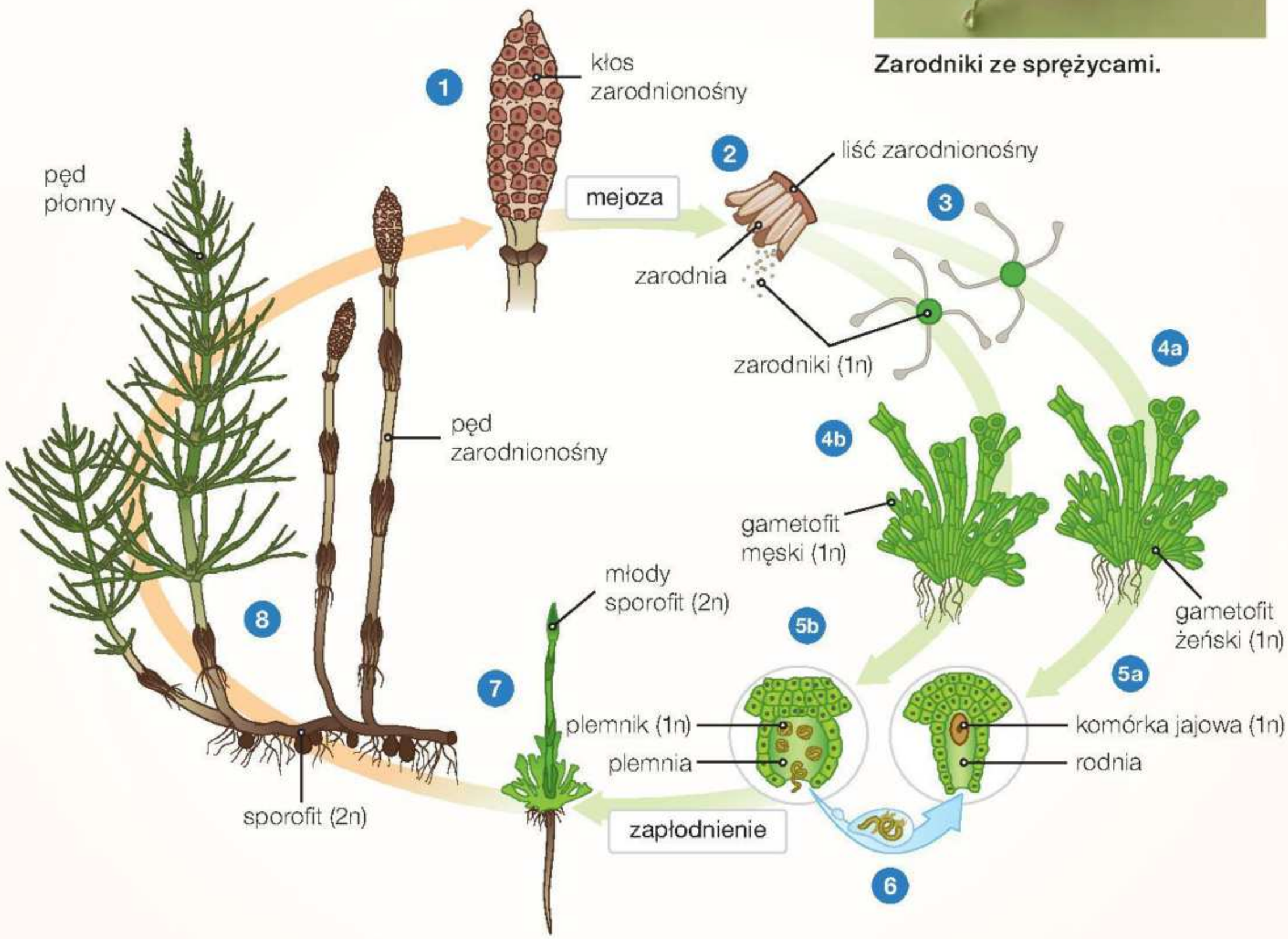


Pęd płonny żyje od wiosny do późnej jesieni. Przeprowadza fotosyntezę, a nadmiar wytworzonych asymilatów zostaje zmagazynowany w kłączu oraz w bulwkach. Roślina zimuje w postaci pędu podziemnego.

Cykl rozwojowy skrzypu polnego

Skrzyp polny wytwarza dwa rodzaje pędów – pęd zarodnionośny oraz pęd płonny. Zarodniki powstające w zarodniach pędu zarodnionośnego są niezróżnicowane morfologicznie, ale zróżnicowane płciowo. Wyrastają z nich dwupienne gametofity.

Zarodniki ze sprężycami.

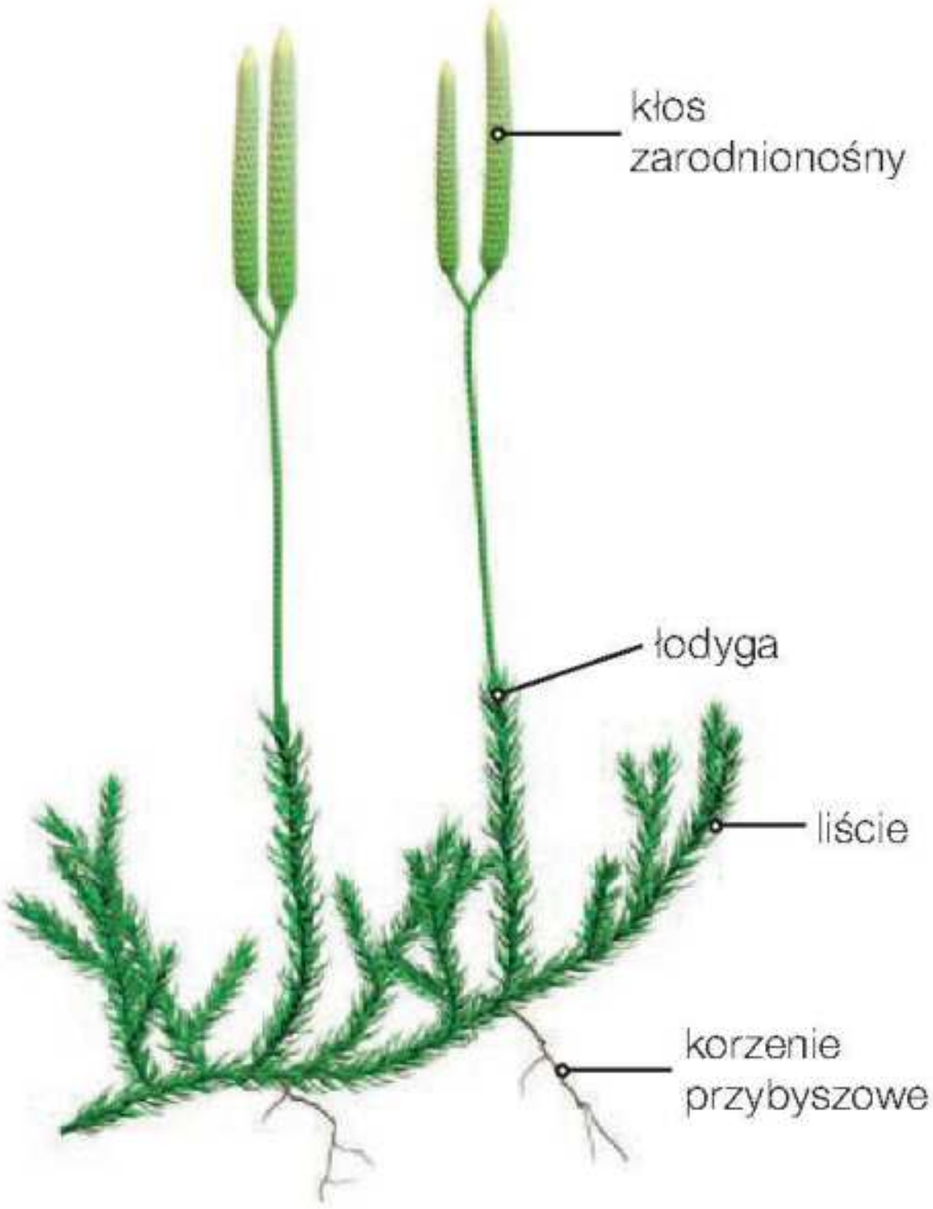


1. Na szczycie pędu zarodnionośnego powstaje kłos zarodnionośny, złożony z liści zarodnionośnych.
2. Na spodniej stronie liści zarodnionośnych tworzą się zarodnie z tkanką zarodnikotwórczą. Jej komórki, dzieląc się mejotycznie, wytwarzają zarodniki. Zarodniki są niezróżnicowane morfologicznie, ale zróżnicowane płciowo.
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 w kropli wody przepływają 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. Wiosą z kłącza wyrasta pęd zarodnionośny.

Widłakowe

Okres największego rozkwitu widłakowych przypada na drugą połowę ery paleozoicznej, kiedy należące do nich lepidodendrony i sygilarie osiągały wysokość ponad 30 m. Obecnie widłakowe obejmują ok. 1000 gatunków roślin, spośród których w Polsce występuje zaledwie 13 gatunków – wszystkie objęte ochroną.

Współczesne widłakowe to niewielkie rośliny, osiągające najczęściej wysokość kilkunastu centymetrów. Ich sporofity charakteryzują się widlastymi rozgałęzieniami korzeni przybyszowych i pędów. Pędy są zbudowane z łodyg oraz liści. Liście asymilacyjne są drobne i zielone, natomiast liście zarodnionośne skupiają się zazwyczaj w **kłos zarodnionośny**. Gametofit widłakowych jest niepozorny, zwykle bezzieleniowy, a jego rozwój wymaga obecności grzyba mikoryzowego. U większości gatunków przedrośle rozwija się przez kilkanaście lat, natomiast cały cykl rozwojowy trwa nawet 25 lat.

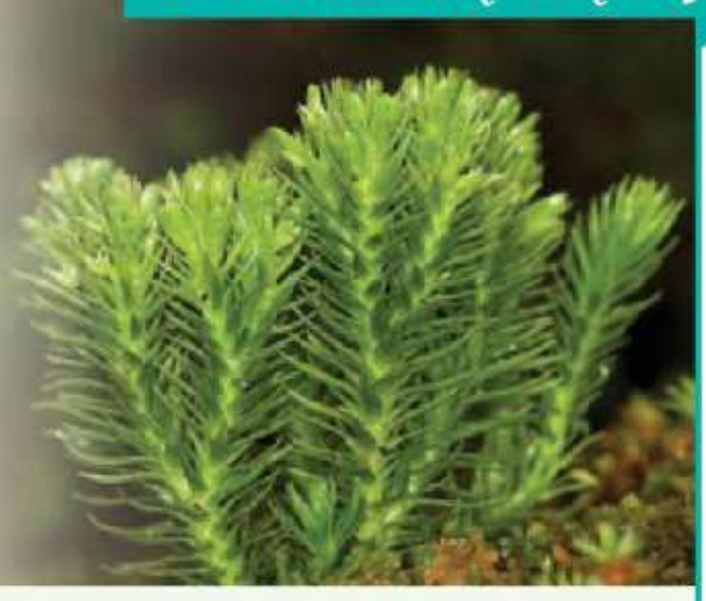


Budowa sporofitu widłaka goździstego (*Lycopodium clavatum*).

Dowiedz się więcej

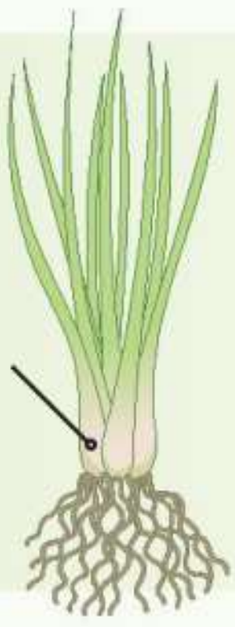
Różnorodność widłakowych

Do widłakowych zalicza się trzy grupy roślin: widłaki jednakozarodnikowe, widłaki różnozarodnikowe oraz widliczki.



Widłaki jednakozarodnikowe

Wytwarzają zarodniki jednakowe morfologicznie i fizjologicznie, z których powstają jednopienne gametofity. Do tej grupy widłaków należy m.in. wroniec widlasty (*Huperzia selago*).



Widłaki różnozarodnikowe

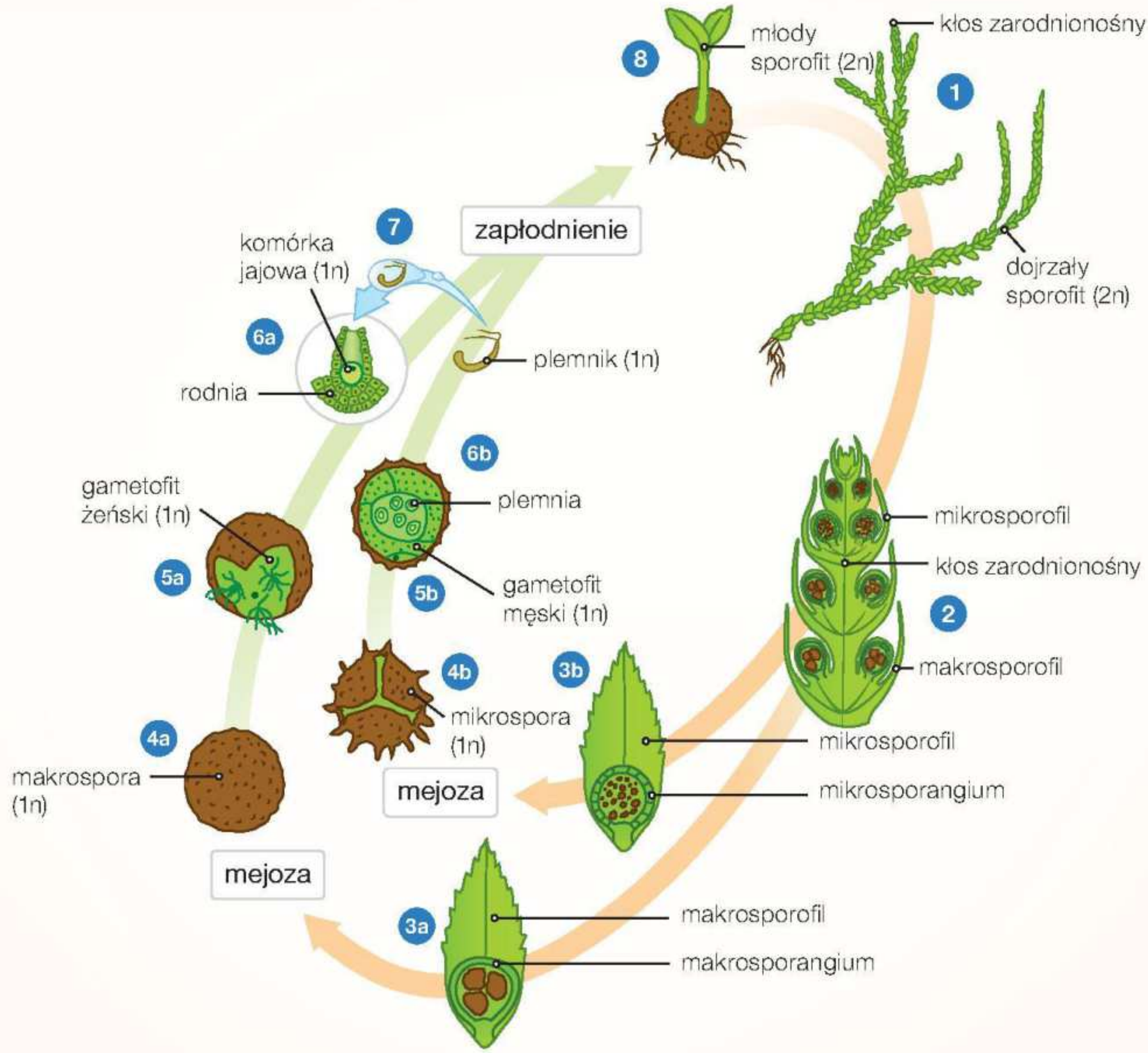
Wytwarzają dwa rodzaje zarodników – makrospory i mikrospory – które kiełkują w dwupienne gametofity. Do widłaków różnozarodnikowych należą m.in. porybliny (*Isoëtes*) – rośliny żyjące w wodzie lub siedliskach wilgotnych. Są one zbudowane z bulwiastej łodygi, sztywnych szydlastych liści oraz widlasto rozgałęzionych korzeni.

Widliczki

Wytwarzają dwa rodzaje zarodników – makrospory i mikrospory – które kiełkują w dwupienne gametofity. Do tej grupy widłaków należy m.in. *Selaginella longipinna*.

Cykl rozwojowy widliczki ostrozębnej

Widliczka ostrozębna (*Selaginella selaginoides*) jest rośliną różnozarodnikową. Oznacza to, że jej zarodniki są zróżnicowane morfologicznie. Wyrastają z nich dwupienne, silnie zredukowane gametofity.



1. Na szczytach pędów sporofitów powstają kłosy zarodnionośne – sporofilostany.
2. W dolnej części kłosów znajdują się liście zarodnionośne – makrosporofile, natomiast w górnej części kłosów znajdują się liście zarodnionośne – mikrosporofile.
3a. Na makrosporofilach tworzą się zarodnie – makrosporangia, wewnątrz których znajduje się tkanka zarodnikotwórcza.
3b. Na mikrosporofilach tworzą się zarodnie – mikrosporangia, wewnątrz których znajduje się tkanka zarodnikotwórcza.
4a. W makrosporangiach powstają makrospory.
4b. W mikrosporangiach powstają mikrospory.
5a. Makrospory kiełkują w przedrośla żeńskie, na których rozwijają się rodnie. Kiełkowanie odbywa się w obrębie zarodni w kłosie zarodnionośnym.
5b. Mikrospory kiełkują w przedrośla męskie, na których rozwijają się plemnie. Kiełkowanie odbywa się w obrębie zarodni w kłosie zarodnionośnym.
6a. W każdej rodni powstaje komórka jajowa.
6b. W plemniach powstają opatrzone wiciami plemniki.
7. Plemniki z kroplami deszczu lub rosy dostają się do dolnej części kłosa zarodnionośnego, gdzie wnikają do rodni. Zachodzi zapłodnienie.
8. W wyniku zapłodnienia powstaje zygota, która rozwija się w sporofit. Przedrośla żeńskie z rozwijającymi się sporofitami wypadają na ziemię.

Znaczenie paprotników w przyrodzie i dla człowieka

Tworzenie siedlisk

Paprotniki stanowią środowisko życia dla wielu zwierząt bezkręgowych oraz kręgowych.

- **Niektóre gatunki pająków** oplatają pajęczyną liście paproci, tworząc w ten sposób gniazda dla potomstwa.

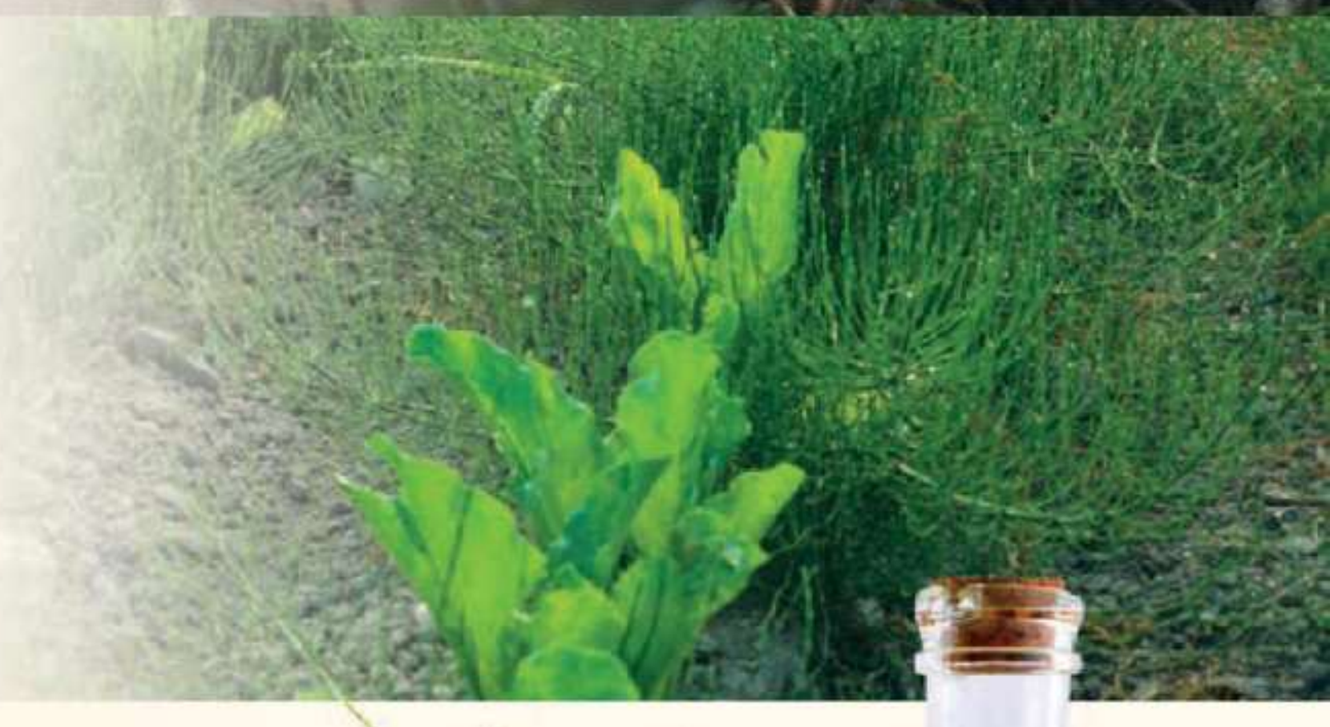
- **Ptak hełmodziób** (*Euryceros prevostii*) chętnie buduje gniazda wśród liści zanokcicy gniazdowej (*Asplenium nidus*) – paproci występującej w rejonach zwrotnikowych półkuli wschodniej.

Źródło pokarmu

Paprotniki są pożywieniem wielu zwierząt, w tym małp z rzędu naczelnych.

Uciążliwe chwasty

Skrzypy, ze względu na dużą zdolność rozmnażania wegetatywnego, są uciążliwymi chwastami upraw. Utrudniają one wzrost i rozwój roślin użytkowych.



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

Do największego rozwoju paprotników doszło w drugiej połowie ery paleozoicznej. Na Ziemi występowały wówczas liczne gatunki paprotników drzewiastych, dorastających do 40 m wysokości. Tworzyły one bujne lasy i były głównymi producentami tlenu oraz źródłem 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.

Węgiel kamienny jest jednym z podstawowych surowców energetycznych. Należy do nieodnawialnych źródeł energii.

W bryłach węgla kamiennego można niekiedy zobaczyć odciski liści dawnych paprotników.

Polecenia kontrolne

1. Podaj dwie cechy wspólne paprociowych, skrzypowych i widłakowych.
2. Porównaj budowę gametofitu z budową sporofitu u przedstawicieli paprociowych, skrzypowych i widłakowych.
3. Wyjaśnij, dlaczego paprotniki należą do roślin naczyniowych.
4. Uzupełnij schematy A i B. Następnie podaj przykłady roślin, które rozmnażają się zgodnie ze schematami.

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

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

Przykład do schematu A: [?]

Przykład do schematu B: [?]

3.10. Rośliny nasienne. Rośliny nagozalążkowe

Zwróć uwagę na:
- cechy charakterystyczne nagozalążkowych,
- budowę nagozalążkowych,
- rozmnażanie się nagozalążkowych,
- znaczenie nagozalążkowych.

Rośliny nasienne są doskonale przystosowane do życia w środowisku lądowym. Są one typowymi **organowcami** i **roślinami naczyniowymi**, a ich rozprzestrzenianie się zachodzi za pośrednictwem nasion. Do roślin nasiennych należą nagozalążkowe (nagonasienne) oraz okrytozalążkowe (okrytonasienne), klasyfikowane zwykle w kategorii gromady.

Cechy roślin nasiennych

W cyklu rozwojowym roślin nasiennych występuje **heteromorficzna przemiana pokoleń z wyraźnie dominującym sporofitem**. Pokolenie to jest zbudowane z organów wegetatywnych – korzeni, łodygi i liści – oraz organów generatywnych – kwiatów. Organy wegetatywne sporofitu mają skomplikowaną budowę tkankową, a korzenie i łodygi charakteryzują się często przyrostem wtórnym. **Kwiaty** są organami rozmnażania płciowego. Pojedynczy kwiat stanowi odpowiednik kłosa zarodnionośnego paprotników. Jest on skróconym i przekształconym pędem o ograniczonym wzroście, stanowiącym skupienie liści zarodnionośnych – sporofili – oraz liści płonnych. **Mikrosporofile – pręciki** – są męskimi organami rozrodczymi. Zawierają mikrosporangia, zwane **woreczkami pyłkowymi**, w których rozwijają się mikrospory, a następnie silnie zredukowane gametofity męskie z komórkami plemnikowymi. **Makrosporofile – owocolistki** – są żeńskimi organami rozrodczymi, które zawierają makrosporangia, zwane **zalążkami**. W zalążkach rozwijają się makrospory, a następnie silnie zredukowane gametofity żeńskie z komórkami jajowymi. Zapłodnienie odbywa się w obrębie kwiatu i jest niezależne od obecności wody – komórki plemnikowe są przenoszone do wnętrza zalążka przez **łagiewkę pyłkową**, czyli długą wypustkę gametofitu męskiego. W efekcie zapłodnienia powstaje zarodek, a **zalążek przekształca się w nasienie**. Nasienie jest strukturą o charakterze przetrwalnikowym i służy do rozprzestrzeniania się gatunku.

Rośliny nagozalążkowe

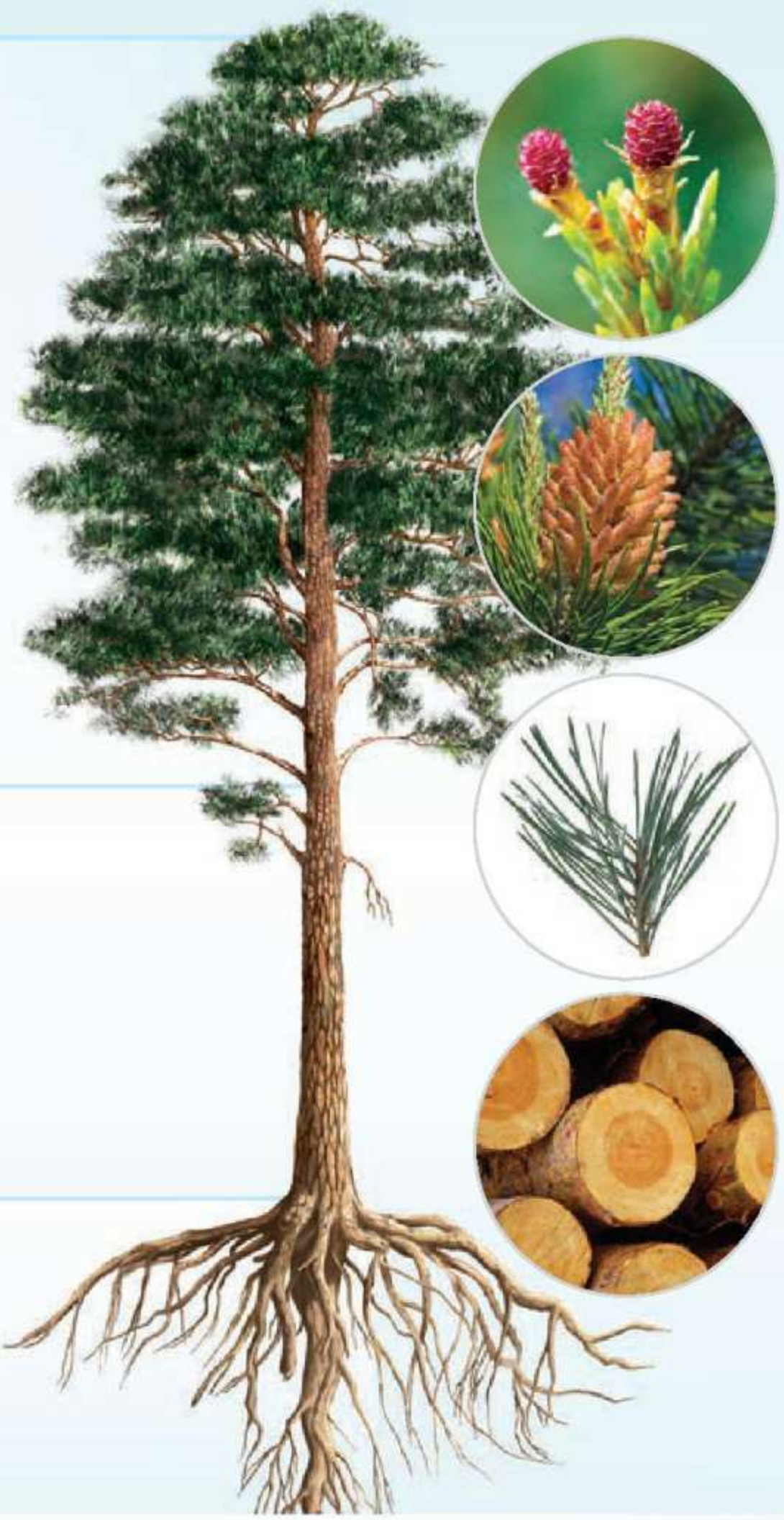
Do nagozalążkowych należą wieloletnie rośliny drzewiaste – najczęściej drzewa, rzadziej krzewy. Ich korzenie i łodygi cechują się zwykle intensywnym przyrostem wtórnym. Drewno nagozalążkowych jest zbudowane z cewek, natomiast łyko – z komórek sitowych. Charakterystyczną cechą nagozalążkowych są jednopłciowe kwiaty oraz nieosłonięte zalążki i nasiona (stąd nazwa gromady – nagozalążkowe lub nagonasienne).

Większość nagozalążkowych należy do **roślin szpilkowych**, których liście mają postać **szpilek**. Rośliny te są przeważnie **zimozielone**. Oznacza to, że nie zrzucają liści na zimę, tylko wymieniają je stopniowo, co kilka lat. Dzięki temu mogą przeprowadzać fotosyntezę przez cały rok. Liście roślin szpilkowych mają silnie zredukowaną blaszkę liściową, przystosowaną do ograniczania transpiracji. Znaczna redukcja blaszki liściowej i obecność wtórnej tkanki okrywającej – korkowicy – powodują, że organizmy te są **odporne na wielomiesięczną suszę i silne mrozy**. Susza pojawia się podczas długich, mroźnych zim, gdy woda w glebie zamarza i jest niedostępna dla roślin.

Przedstawiciele roślin szpilkowych są ważnym składnikiem lasów mieszanych, które przeważają w Europie Środkowej, w tym w Polsce. Jednak najwięcej gatunków rośnie w północnej części Europy, Azji i Ameryki Północnej.

Budowa sosny zwyczajnej

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



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

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

Kwiaty męskie są zebrane w żółte, kłoskowate kwiatostany.

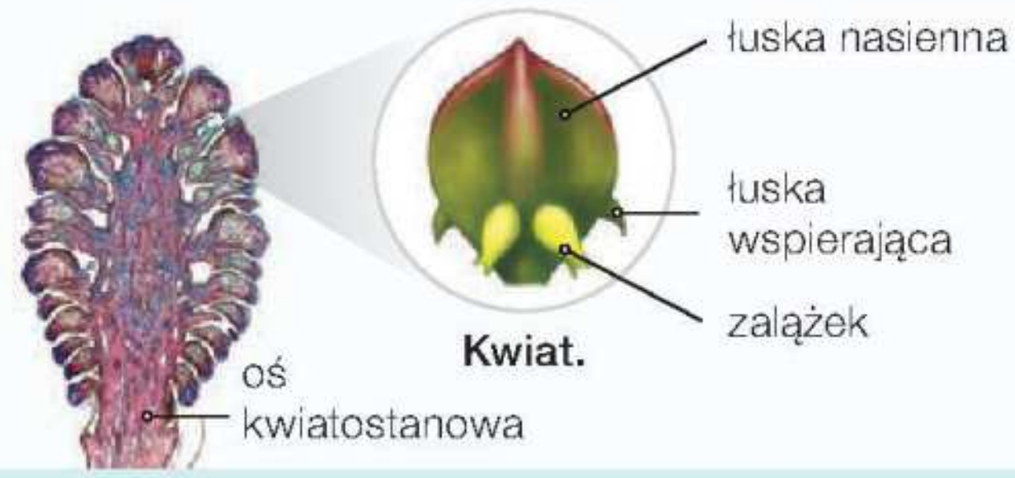
Szpilki mają zredukowaną blaszkę liściową, przystosowaną do warunków suszy.

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

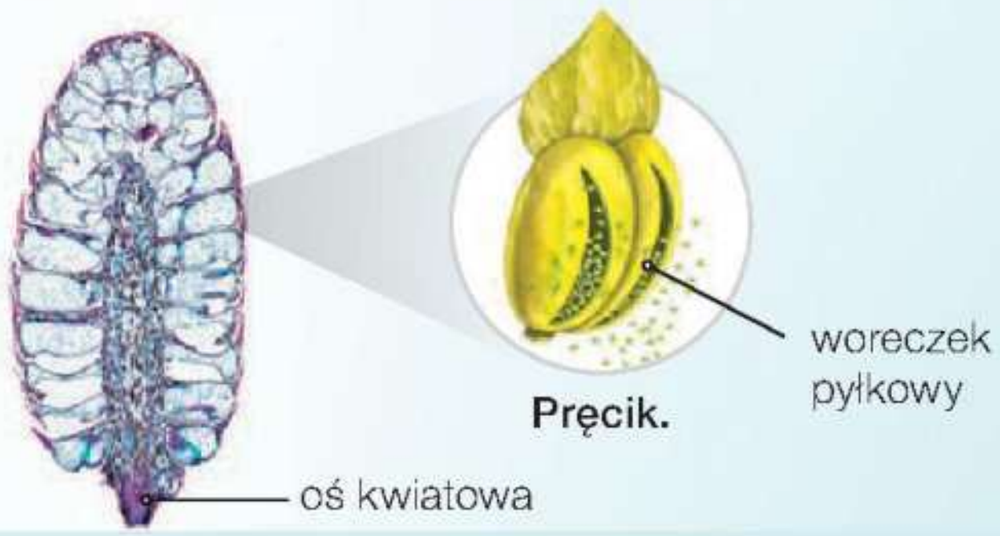
Łodyga i korzenie przyrastają wtórnie na grubość. Mają dużo drewna wtórnego o funkcji przewodzącej i wzmacniającej oraz korkowicę – wtórną tkankę okrywającą.

Palowy system korzeniowy jest dobrze rozwinięty i sięga daleko w głąb gleby.

Kwiatostan żeński składa się z kwiatów żeńskich. Każdy kwiat jest zbudowanych z łuski nasiennej i łuski wspierającej. U nasady łuski nasiennej znajdują się dwa zalążki – makrosporangia.



Kwiat męski składa się z osi kwiatowej i osadzonych na niej licznych pręcików. Każdy pręcik ma u podstawy dwa woreczki pyłkowe – mikrosporangia.



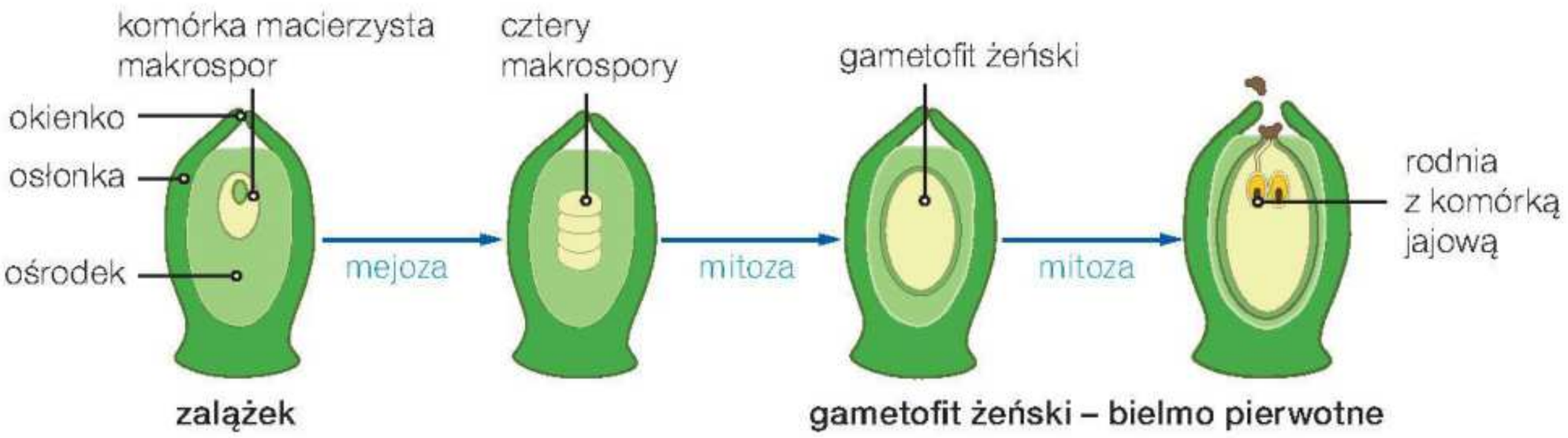
Rozmnażanie się nagozalążkowych

Organami rozmnażania płciowego roślin nagozalążkowych są kwiaty. W kwiatach zachodzi wytwarzanie haploidalnych zarodników – makrospor i mikrospor, a następnie rozwój gametofitów żeńskich i męskich. Gametofity żeńskie wytwarzają komórki jajowe, a gametofity męskie – komórki plemnikowe.

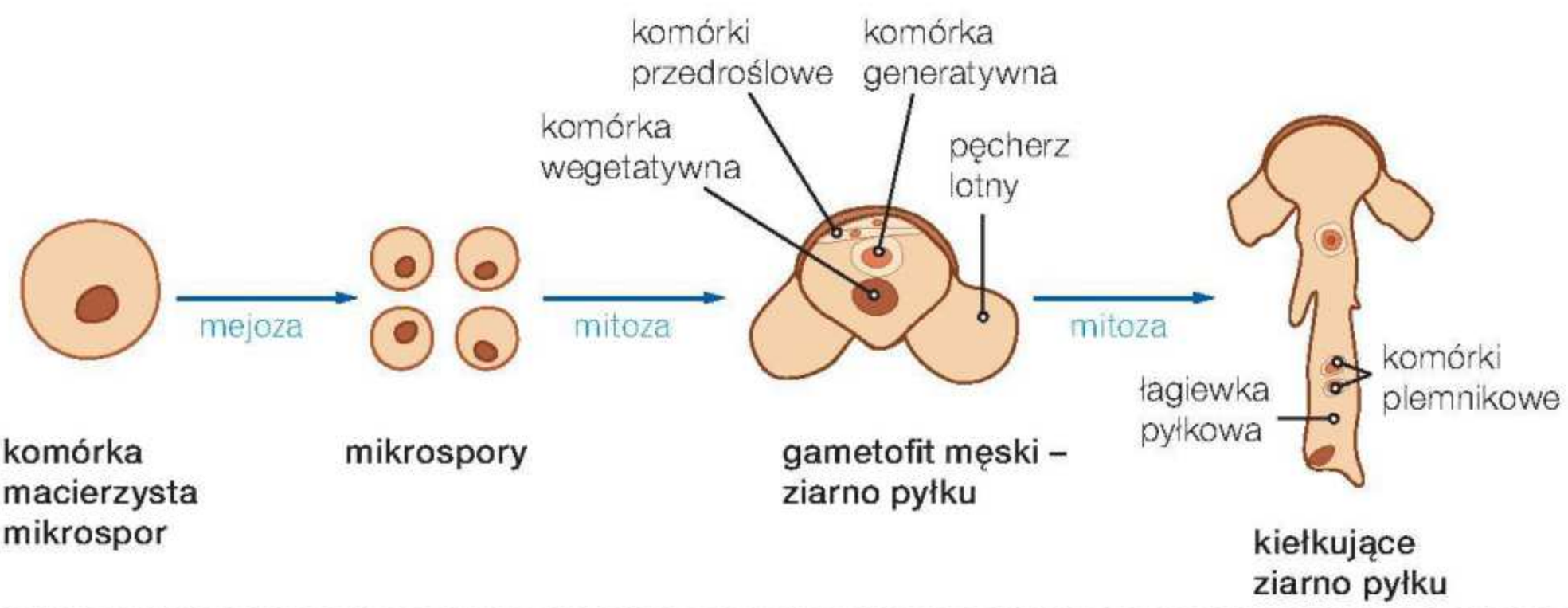
Rozwój makrospory i gametofitu żeńskiego zachodzi w kwiatach żeńskich. W ośrodku zalążka wyodrębnia się diploidalna **komórka macierzysta makrospor**, która dzieli się mejotycznie na cztery haploidalne **makrospory**. Trzy z nich degenerują, a jedna przechodzi podziały mitotyczne prowadzące do wytworzenia wielokomórkowego gametofitu żeńskiego, zwanego **bielmem pierwotnym**. Jest on zbudowany z miękiszu spichrzowego, którego funkcją jest odżywianie zarodka i siewki rośliny. Na biegunie gametofitu, który sąsiaduje z okienkiem, powstają dwie rodnie. Każda z nich zawiera pojedynczą **komórkę jajową**.

Rozwój mikrospory i gametofitu męskiego zachodzi w kwiatach męskich. W woreczkach pyłkowych wyodrębniają się diploidalne komórki **macierzyste mikrospor**, które dzielą się mejotycznie na cztery haploidalne **mikrospory**. Pojedyncza mikrospora przechodzi podziały mitotyczne, w wyniku których powstaje kilkukomórkowy gametofit męski – **ziarno pyłku**. Składa się on z dwóch komórek przedroślowych, dużej komórki wegetatywnej oraz mniejszej komórki generatywnej. Komórki przedroślowe stopniowo obumierają, komórka generatywna dzieli się mitotycznie na dwie nieruchome **komórki plemnikowe**, a z komórki wegetatywnej powstaje **łagiewka pyłkowa**. Wytworzenie łagiewki pyłkowej odbywa się poza pręcikiem, gdy ziarno pyłku zostanie przeniesione na okienko zalążka. Przeniesienie ziaren pyłku z kwiatów męskich na okienko zalążka kwiatów żeńskich nosi nazwę **zapylenia**. U roślin nagozalążkowych odbywa się ono zwykle za pośrednictwem wiatru.

Rozwój makrospory i gametofitu żeńskiego

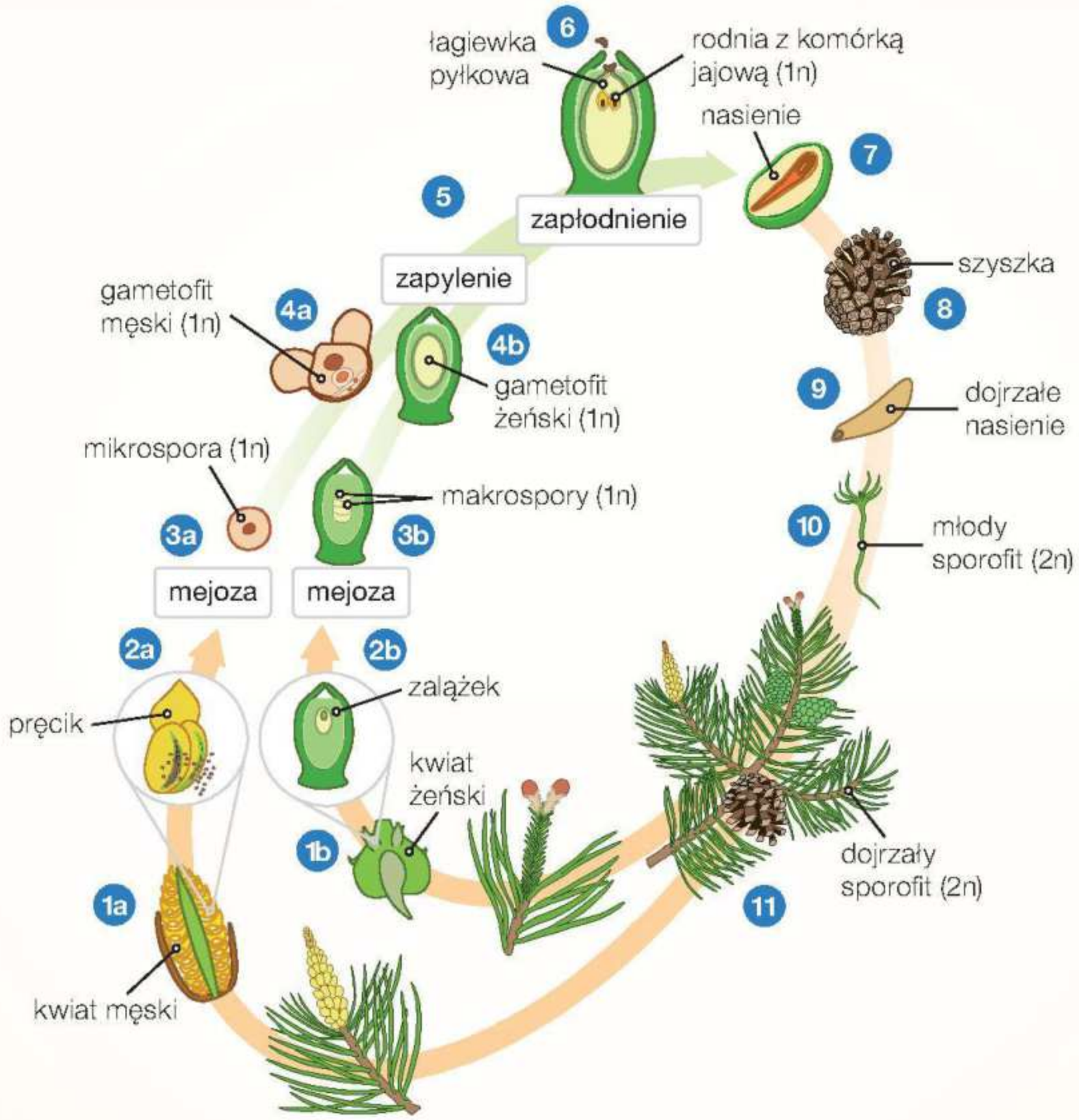


Rozwój mikrospory i gametofitu męskiego



Cykl rozwojowy sosny zwyczajnej

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



1a Kwiat męski składa się z licznych pręcików, z których każdy ma dwa woreczki pyłkowe.

1b Zasadniczą częścią kwiatu żeńskiego jest łuska nasienna, na której znajdują się dwa zalążki.

2a Wewnątrz woreczków pyłkowych powstają komórki macierzyste mikrospor.

2b W ośrodku zalążka powstaje komórka macierzysta makrospor.

3a Z każdej komórki macierzystej mikrospor powstają cztery mikrospory.

3b Z komórki macierzystej makrospor powstają cztery makrospory. Jedna z nich rozwija się dalej.

4a Z mikrospory rozwija się gametofit męski – ziarno pyłku.

4b Z makrospory rozwija się gametofit żeński – bielmo pierwotne – w którym powstają dwie rodnie.

5 Dojrzały woreczek pyłkowy pęka, a ziarna pyłku zostają przeniesione przez wiatr na okienko zalążka – następuje zapylenie. Ziarno pyłku wytwarza dwie komórki plemnikowe i łagiewkę pyłkową transportującą je do rodni.

6 Jedna z komórek plemnikowych uczestniczy w procesie zapłodnienia, łącząc się z komórką jajową. W ten sposób powstaje zygota. Zapłodnienie nie wymaga obecności wody.

7 Zalążek przekształca się w nasienie.

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

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

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

11 Sporofit po osiągnięciu dojrzałości zakwita i rozpoczyna się kolejny cykl rozwojowy.

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 zderwniałe 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.

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

Dowiedz się więcej

Szyszki podobne do owoców

Szyszki większości roślin szpilkowych składają się z wielu łusek nasiennych. Każda z nich zawiera dwa zalążki, a po zapłodnieniu – dwa nasiona. Jednak u niektórych szpilkowych, np. u jałowca (*Juniperus*) i cisa (*Taxus*), doszło do znacznej redukcji liczby łusek oraz zalążków w szyszce, a nasiona zostały otoczone mięsistymi, barwnymi osłonami. Osłony te stanowią przystosowanie szpilkowych do warunków życia na lądzie, ponieważ umożliwiają rozprzestrzenianie się tych roślin za pośrednictwem zwierząt. Nasiona okryte smacznymi, barwnymi osłonami są chętnie zjadane przez zwierzęta, głównie ptaki, a następnie usuwane wraz z odchodami w miejscach oddalonych od rośliny macierzystej.

U jałowca granatowa szyszkojagoda powstaje w wyniku zrośnięcia się łusek całej szyszki.

U cisa czerwona mięsista osnówka – jedyna nietrująca część rośliny – jest prawdopodobnie przekształconą łuską nasienną.

Dowiedz się więcej

Różnorodność nagozalążkowych

Do nagozalążkowych zalicza się blisko 750 gatunków, które do niedawna tworzyły jeden takson. Obecnie wyróżnia się co najmniej dwie linie ewolucyjne, reprezentowane przez dwa taksony w randze gromady lub podgromady: nagozalążkowe drobnolistne oraz nagozalążkowe wielkolistne.

Nagozalążkowe drobnolistne

Do tej grupy należą rośliny o drobnych, przeważnie niepodzielonych liściach i zdrewniałych łodygach, charakteryzujące się znacznym przyrostem wtórnym. Zalicza się do nich m.in. szpilkowe (iglaste) i miłorzębowe.

Szpilkowe to drzewa lub okazałe krzewy. Ich liście mają postać sztywnych szpilek lub grubych łusek, które zazwyczaj nie opadają na zimę. Do roślin szpilkowych należą m.in. jodła (*Abies*), sosna (*Pinus*), świerk (*Picea*) i modrzew (*Larix*).

Do miłorzębowych należy jeden współcześnie żyjący gatunek – miłorząb dwuklapowy (*Ginkgo biloba*). Jest on długowiecznym, dwupiennym drzewem. Jego liście mają dobrze wykształcone blaszki liściowe o wachlarzowatym kształcie.

Nagozalążkowe wielkolistne

Wspólną cechą większości nagozalążkowych wielkolistnych jest wytwarzanie dużych i silnie podzielonych liści oraz łodyg cechujących się słabym przyrostem wtórnym. W obrębie tej grupy wyróżnia się m.in. sagowce i gniotowe.

Gniotowe mają niektóre cechy wspólne z roślinami okrytozalążkowymi (m.in. obecność naczyń w drewnie wtórnym, zaczątek obupłciowości kwiatów, owadopylność). Przedstawicielem gniotowych jest welwiczja przedziwna (*Welwitschia mirabilis*), występująca na pustyni Namib.

Sagowce to zwykle rośliny dwupienne. Ich łodygę stanowi krótki i gruby pień zakończony na szczycie pióropuszem pierzastych liści. Sagowce występują w równikowej strefie klimatycznej.

Znaczenie nagozalążkowych
w przyrodzie i dla człowieka

Źródło tlenu

Nagozalążkowe, głównie iglaste, są ważnym składnikiem ekosystemów leśnych. Podczas fotosyntezy pochłaniają one ogromne ilości dwutlenku węgla i wytwarzają tlen, niezbędny organizmom do oddychania.

Źródło pokarmu

Wiele roślin iglastych stanowi pokarm dla zwierząt, zwłaszcza leśnych. Nasiona niektórych gatunków, np. sosny pinii (*Pinus pinea*), 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 nagozalążkowe 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 nagozalążkowych są wykorzystywane do zalesiania wydm oraz zboczy nasypów, co zapobiega ich osypywaniu się.

Źródło drewna

Drewno roślin iglastych jest powszechnie wykorzystywane w budownictwie oraz do produkcji papieru i mebli.

Źródło cennych substancji

Substancje zawarte w korze, szyszkach, nasionach i liściach nagozalążkowych stosuje się do produkcji kosmetyków i leków. Na przykład igły sosny zawierają duże ilości witaminy C, a jej pączki – substancje bakteriobójcze. Rośliną o cenionych walorach leczniczych i kosmetycznych jest miłorząb japoński (*Ginkgo biloba*). Z jego liści uzyskuje się ponad 50 substancji o działaniu prozdrowotnym.

Biologia w **medycynie**

Cis w terapii przeciwnowotworowej

Wszystkie gatunki cisa (*Taxus*) wytwarzają taksol – związek chemiczny o działaniu cytostatycznym, 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 i w konsekwencji na zakłócaniu funkcji mikrotubul. Dzięki temu zostają zahamowane podziały komórek nowotworowych.

Taksol otrzymuje się z kory cisa.

Polecenia kontrolne

1. Wymień trzy przystosowania roślin nagozalążkowych do lądowego trybu życia.
2. Porównaj budowę sporofitu z budową gametofitu roślin nagozalążkowych.
3. Omów budowę kwiatów rośliny nagozalążkowej.
4. Wyjaśnij pojęcia: *zapylenie* i *zapłodnienie*. Wskaż powiązania istniejące między tymi procesami.
5. Omów budowę nasienia i scharakteryzuj sposoby rozsiewania nasion roślin nagozalążkowych.

3.11. Rośliny okrytozalążkowe

Zwróć uwagę na:
- cechy charakterystyczne okrytozalążkowych,
- budowę okrytozalążkowych,
- rozmnażanie się okrytozalążkowych.

Rośliny okrytozalążkowe występują powszechnie w środowisku lądowym, a wtórnie zasiedlają także zbiorniki wód słodkich i słonych. Zdecydowanie dominują wśród roślin większości stref klimatycznych, a niezwykłe bogactwo ich form jest przejawem adaptacji do życia w różnorodnych warunkach środowiska. Do roślin okrytozalążkowych należą zarówno gatunki drzewiaste, które osiągają wysokość nawet ponad 100 m, jak i znacznie mniejsze gatunki zielne.

Również długość życia okrytozalążkowych jest bardzo zróżnicowana. Rośliny wieloletnie żyją przynajmniej trzy lata, dwuletnie – dwa lata, a jednoroczne – tylko rok. Długość życia roślin podaje się często nie w latach, ale w sezonach (okresach) wegetacyjnych.

Cechy okrytozalążkowych

W cyklu rozwojowym okrytozalążkowych występuje **przemiana pokoleń z dominującym sporofitem**. Pokolenie to – podobnie jak

Formy roślin okrytozalążkowych

Rośliny wieloletnie		
drzewa	**krzewy**	**krzewinki**
Mają grubą łodygę, zwaną pniem, która rozgałęzia się wysoko nad ziemią.	Mają krótką łodygę, która rozgałęzia się nisko nad ziemią.	Przypominają budową krzewy, ale są od nich znacznie mniejsze.
Dąb.	Głóg.	Wrzos.

Rośliny drzewiaste to drzewa, krzewy i krzewinki. Ich pędy nadziemne nie obumierają pod koniec sezonu wegetacyjnego, ponieważ łodygi są silnie zdrewniałe i trwałe.

w przypadku nagozalążkowych – składa się z organów wegatatywnych – korzeni, łodygi i liści – oraz organów generatywnych – kwiatów. Jednak w porównaniu do nagozalążkowych rośliny okrytozalążkowe cechują się lepszym przystosowaniem budowy anatomicznej do środowiska lądowego. Zasadniczym elementem przewodzącym drewna są u nich **naczynia**, a łyka – **rurki sitowe**. W związku z tym wydajność przewodzenia wody z solami mineralnymi oraz asymilatów jest u nich znacznie większa.

Najbardziej charakterystycznym organem roślin okrytozalążkowych jest kwiat. U większości gatunków jest on **obupłciowy** i oprócz pręcików zawiera **słupek** – strukturę powstałą na skutek zrośnięcia się jednego owocolistka lub kilku owocolistków. W dolnej części słupka, zwanej **zalążnią**, znajdują się **zalążki**. Ściana zalążni osłania je i w ten sposób chroni przed wpływem niekorzystnych czynników środowiska (stąd nazwa gromady – okrytozalążkowe). Podczas rozmnażania się roślin okrytozalążkowych występuje **podwójne zapłodnienie**. Proces ten prowadzi do powstania diploidalnej zygoty (2n), z której rozwija się zarodek rośliny, oraz do wytworzenia **triploidalnego bielma** (3n) – tkanki spichrzowej odżywiającej zarodek. Tkanka spichrzowa tworzy się więc dopiero po zapłodnieniu, co zabezpiecza roślinę przed wydatkowaniem energii w sytuacji, gdy nie dojdzie do zapłodnienia.

Po zapłodnieniu kwiaty roślin okrytozalążkowych przekształcają się w **owoce**. Z zalążków powstają **nasiona**, natomiast ze ściany zalążni, niekiedy przy udziale innych części kwiatu, tworzy się **owocnia** – ściana owocu. Nasiona są więc okryte owocnią (stąd druga nazwa gromady – okrytonasienne).

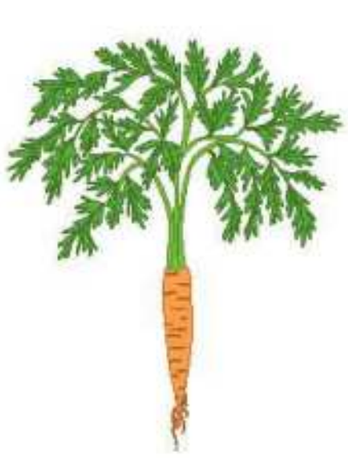
byliny

Ich pędy nadziemne obumierają pod koniec każdego sezonu wegetacyjnego, a rośliny zimują w postaci pędów podziemnych.

Kosaciec.

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 okrytozalążkowych

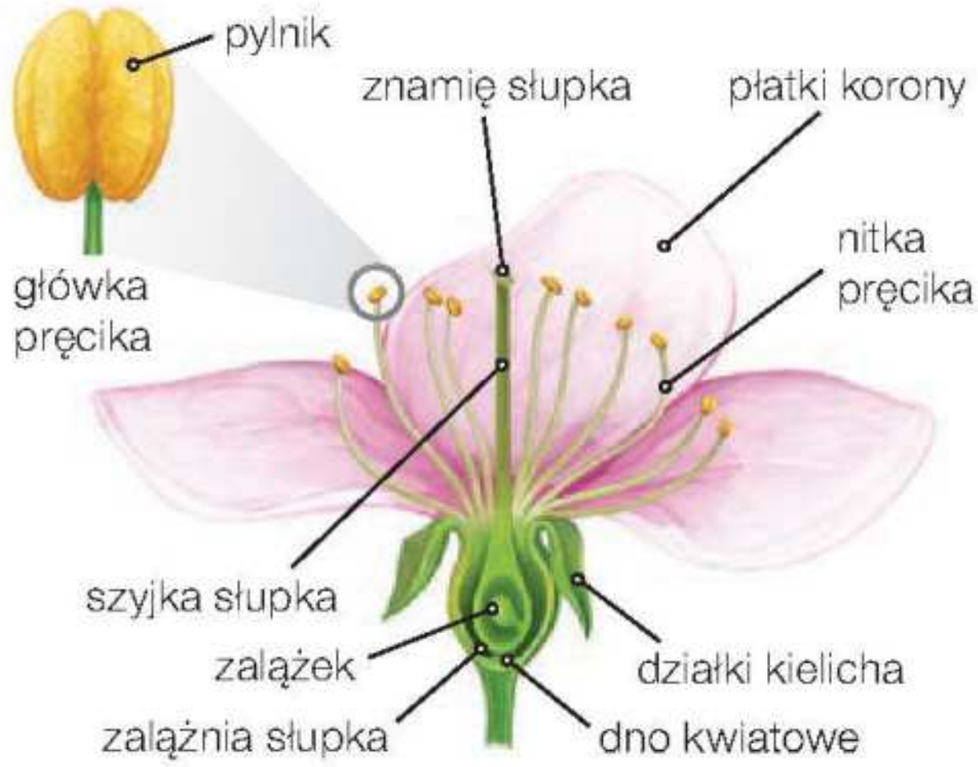
U większości gatunków okrytozalążkowych kwiaty są **obupłciowe**, tzn. zawierają zarówno pręciki, jak i słupek (lub słupki). U niektórych roślin, m.in. u wierzby, kwiaty są jednopłciowe (rozdzielnopłciowe): kwiaty męskie zawierają wyłącznie pręciki, a kwiaty żeńskie – wyłącznie słupek (lub słupki). U roślin jednopiennych kwiaty męskie i żeńskie występują na tym samym osobniku, natomiast u roślin dwupiennych – na dwóch różnych osobnikach.

Budowa kwiatu obupłciowego

Kwiat obupłciowy składa się z okwiatu, pręcików oraz jednego lub kilku słupków. Wszystkie elementy kwiatu są osadzone na skróconej i rozszerzonej osi kwiatowej, zwanej dnem kwiatowym. **Okwiat**, w zależności od gatunku rośliny, jest niezróżnicowany – składa się z działek okwiatu – lub zróżnicowany na kielich i koronę. Kielich budują działki kielicha, natomiast koronę – płatki korony. Okwiat jest częścią kwiatu, która nie bierze bezpośredniego udziału w procesie rozmnażania. Jego funkcją jest przywabianie zwierząt zapylających kwiaty oraz ochrona pręcików i słupków.

Słupek powstaje ze zrośnięcia się brzegami jednego lub kilku owocolistków. Jego dolna część tworzy zalążnię, która przechodzi w szyjkę zakończoną znamieniem. Wewnątrz zalążni znajduje się jeden lub kilka zalążków.

Pręcik jest zbudowany z nitki i główki, w której wyróżnia się dwa pylniki połączone łącznikiem. Każdy pylnik składa się z dwóch woreczków pyłkowych.



Budowa kwiatu obupłciowego.

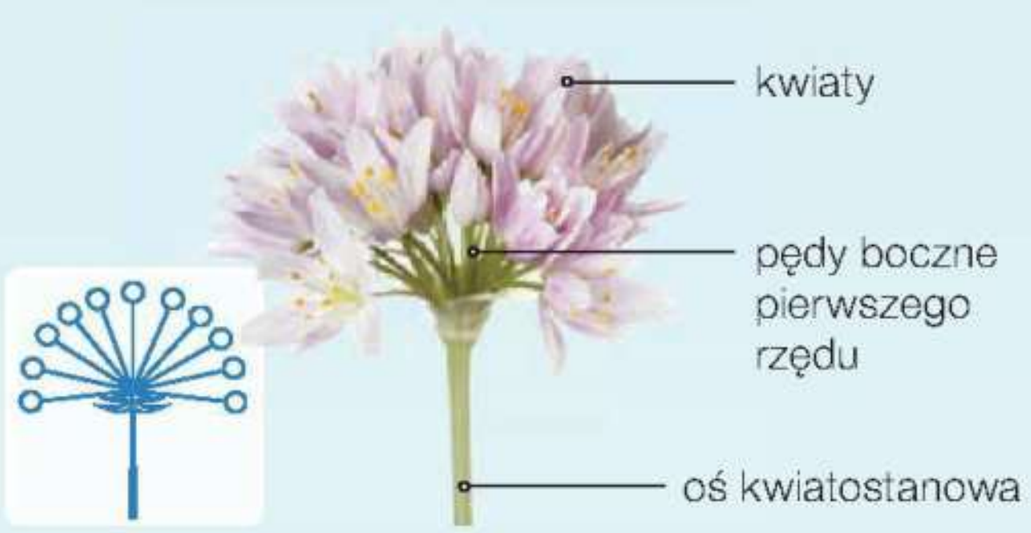
Rodzaje kwiatów		
rozdzielnopłciowe		obupłciowe
Roślina dwupienna kwiaty żeńskie – słupkowe (♀) – i męskie – pręcikowe (♂) – znajdują się na różnych osobnikach.	**Roślina jednopienna** kwiaty żeńskie – słupkowe (♀) – i męskie – pręcikowe (♂) – znajdują się na jednym osobniku.	**Roślina jednopienna** pojedynczy kwiat zawiera żeńskie i męskie organy rozrodcze, czyli słupek lub słupki (♀), oraz pręciki (♂).
Wierzba.	Olsza.	Lilia.

Kwiatostany

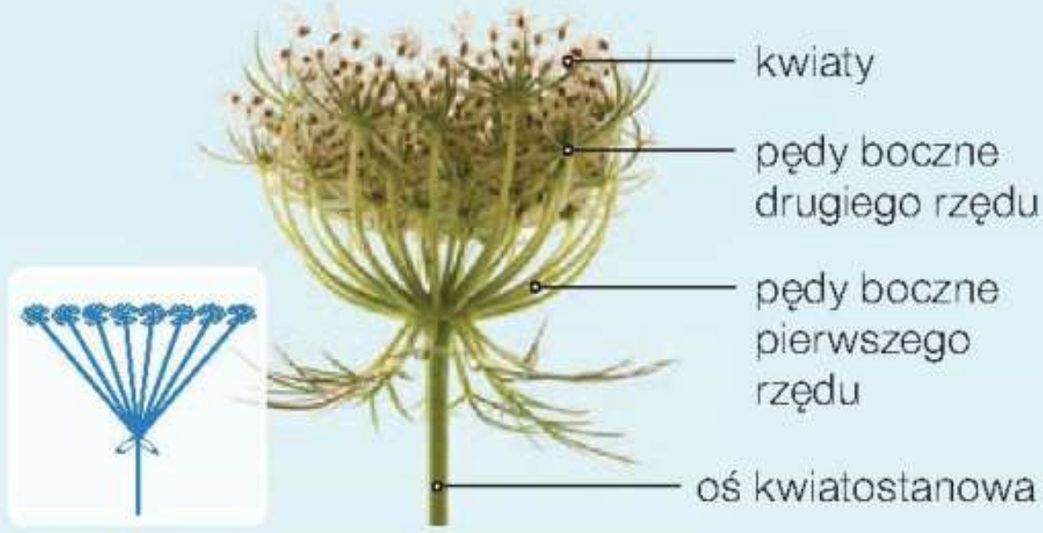
Kwiaty roślin okrytozalążkowych występują często w skupieniach zwanych kwiatostanami. W kwiatostanach wyróżnia się oś kwiatostanową oraz odchodzące od niej pędy boczne zakończone kwiatami. Występowanie kwiatów w skupieniach ułatwia ich zapylanie.

Kwiatostany groniaste

W kwiatostanach groniastych rozgałęzienia pędów bocznych odchodzą od jednej osi kwiatostanowej. Jeśli kwiaty tworzą się na zakończeniach pędów bocznych pierwszego rzędu, mamy do czynienia z **kwiatostanami prostymi**, a jeśli na zakończeniach drugiego lub dalszych rzędów – z **kwiatostanami złożonymi**.



Baldach prosty czosnku.



Baldach złożony 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).

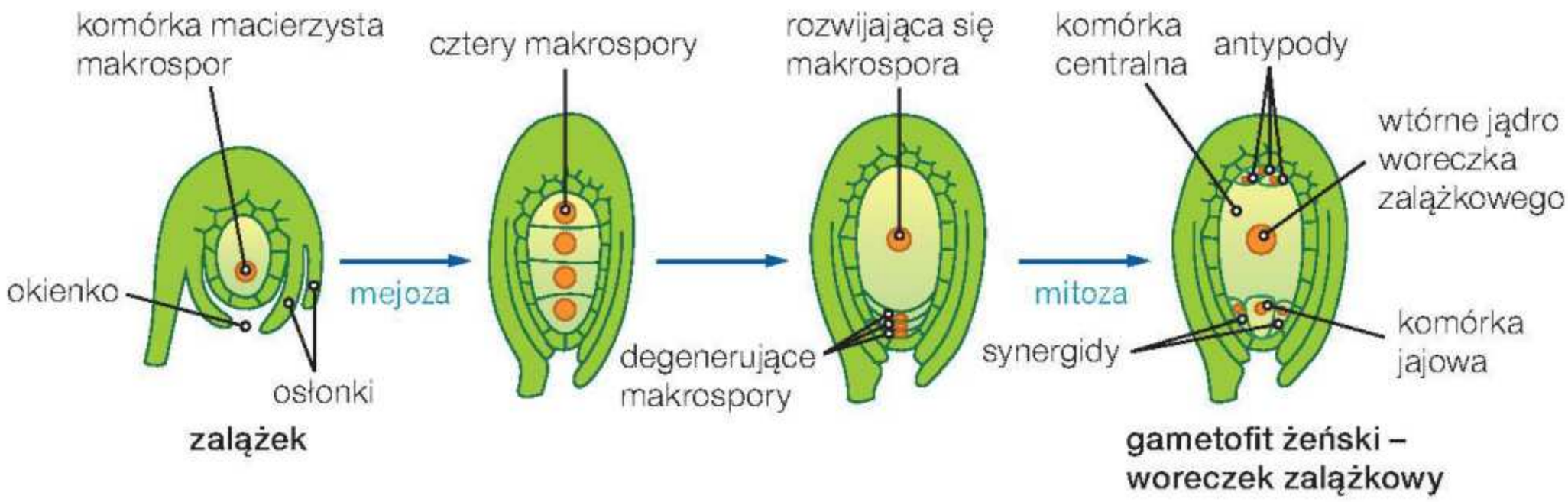
Rozmnażanie płciowe okrytozalążkowych

Organami rozmnażania płciowego okrytozalążkowych są kwiaty. W kwiatach zachodzi wytwarzanie makrospor i mikrospor, a następnie rozwój gametofitów żeńskich i męskich. Gametofity żeńskie wytwarzają komórki jajowe, a gametofity męskie – komórki plemnikowe.

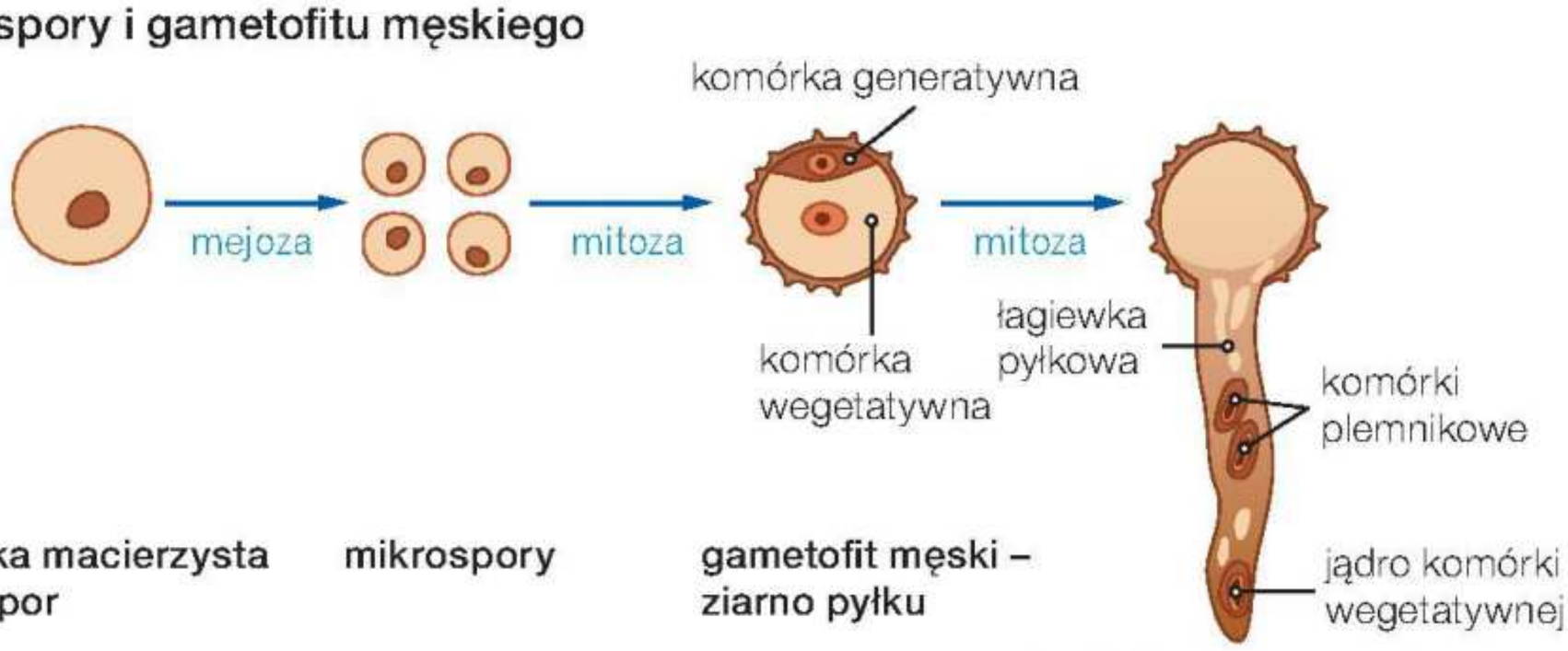
Rozwój makrospory i gametofitu żeńskiego zachodzi w kwiatach żeńskich. W ośrodku zalążka wyodrębnia się diploidalna komórka macierzysta makrospor, która dzieli się mejotycznie na cztery haploidalne **makrospory**. Trzy z nich obumierają, a jedna rozwija się w gametofit żeński – **woreczek zalążkowy**. Rozwój ten rozpoczyna się trzykrotnym podziałem mitotycznym jądra komórkowego makrospory, wskutek którego powstaje osiem haploidalnych jąder potomnych. Trzy z nich otaczają się cytoplazmą i na jednym z biegunów woreczka zalążkowego tworzą aparat jajowy – odpowiednik silnie zredukowanej rodni. Składa się on z **komórki jajowej** i dwóch komórek pomocniczych – **synergid**. Na przeciwległym biegunie trzy kolejne jądra uczestniczą w formowaniu komórek zwanych **antypodami**. Pozostałe dwa jądra układają się w środkowej części gametofitu i łączą się, tworząc **diploidalne wtórne jądro woreczka zalążkowego**. Jest ono jądrem dużej **komórki centralnej**.

Rozwój mikrospory i gametofitu męskiego zachodzi w kwiatach męskich. W woreczkach pyłkowych wyodrębniają się diploidalne komórki macierzyste mikrospor, które dzielą się mejotycznie na cztery haploidalne **mikrospory**. Pojedyncza mikrospora przechodzi podziały mitotyczne, w wyniku których powstaje gametofit męski – **ziarno pyłku**. Składa się on z dużej komórki wegetatywnej oraz mniejszej komórki generatywnej. Komórka generatywna dzieli się mitotycznie na dwie nieruchome **komórki plemnikowe**, a z komórki wegetatywnej powstaje **łagiewka pyłkowa**. Wytworzenie łagiewki pyłkowej odbywa się poza pręcikiem, gdy ziarno pyłku zostanie przeniesione na znamię słupka kwiatu.

Rozwój makrospory i gametofitu żeńskiego



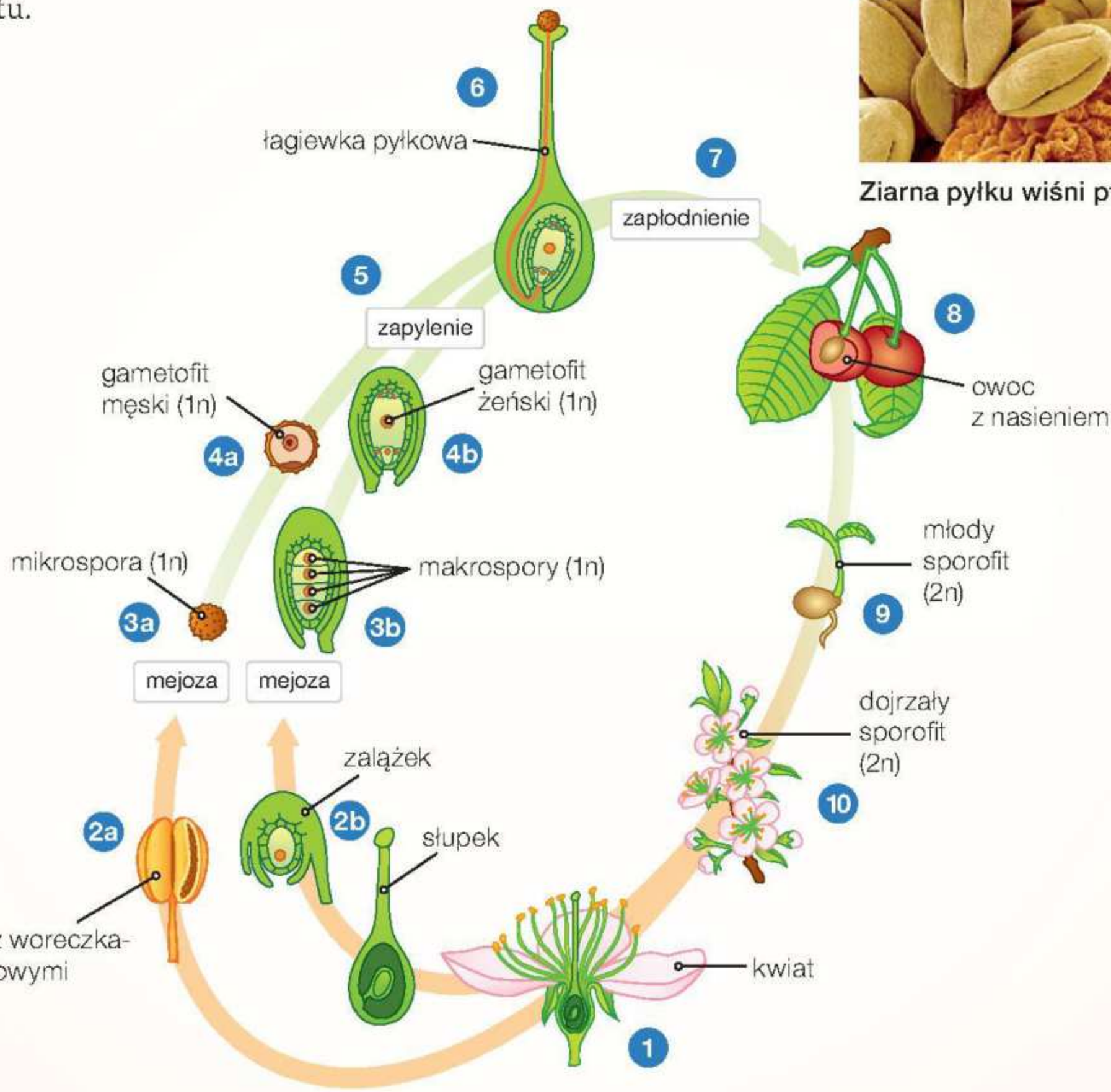
Rozwój mikrospory i gametofitu męskiego



Cykl rozwojowy wiśni ptasiej

W cyklu rozwojowym okrytozalążkowych dominuje sporofit, który u wiśni ptasiej (*Prunus avium*), zwanej potocznie czereśnią, ma postać drzewa o wysokości ok. 20 m. Zredukowane gametofity – woreczek zalążkowy oraz ziarno pyłku – rozwijają się w obrębie sporofitu.

Ziarna pyłku wiśni ptasiej.



1. Obupłciowe kwiaty zawierają pręciki oraz słupek.
2a. Wewnątrz woreczków pyłkowych wyodrębniają się komórki macierzyste mikrospor.
2b. W ośrodku zalążka wyodrębnia się komórka macierzysta makrospor.
3a. Z każdej komórki macierzystej mikrospor powstają cztery mikrospory.
3b. Z komórki macierzystej makrospor powstają cztery makrospory. Jedna z nich rozwija się dalej.
4a. Z mikrospory rozwija się gametofit męski – ziarno pyłku.
4b. Z makrospory rozwija się gametofit żeński – woreczek zalążkowy.
5. Dojrzały woreczek pyłkowy pęka, a ziarna pyłku zostają przeniesione przez owady na znamię słupka – zachodzi zapylenie.
6. Ziarno pyłku wytwarza łagiewkę pyłkową, transportującą do zalążni dwie komórki plemnikowe.
7. Zachodzi podwójne zapłodnienie, które nie wymaga obecności wody. Jedna z komórek plemnikowych zapładnia komórkę jajową, w wyniku czego powstaje zygota, a następnie zarodek (2n). Druga zapładnia komórkę centralną – powstaje bielmo (3n).
8. Po zapłodnieniu zalążek przekształca się w nasienie. Jednocześnie opadają płatki korony, a zalążnia rozrasta się i przekształca w ścianę owocu – owocnię.
9. W sprzyjających warunkach nasiona kiełkują i wyrasta z nich młoda roślina – sporofit.
10. Sporofit po osiągnięciu dojrzałości zakwita; rozpoczyna się kolejny cykl rozwojowy.

Sposoby zapylenia

Zapylenie, czyli przeniesienie ziaren pyłku na znamię słupka, odbywa się za pośrednictwem wiatru, zwierząt lub bardzo rzadko – wody.

Rośliny wiatropylne

Kwiaty roślin wiatropylnych wytwarzają dużą ilość lekkiego, sypkiego pyłku. Nitki ich pręcików są długie i wiotkie, a znamiona słupków – duże i 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. Natomiast słupki mają pierzaste znamiona, wychwytujące pyłek z powietrza.

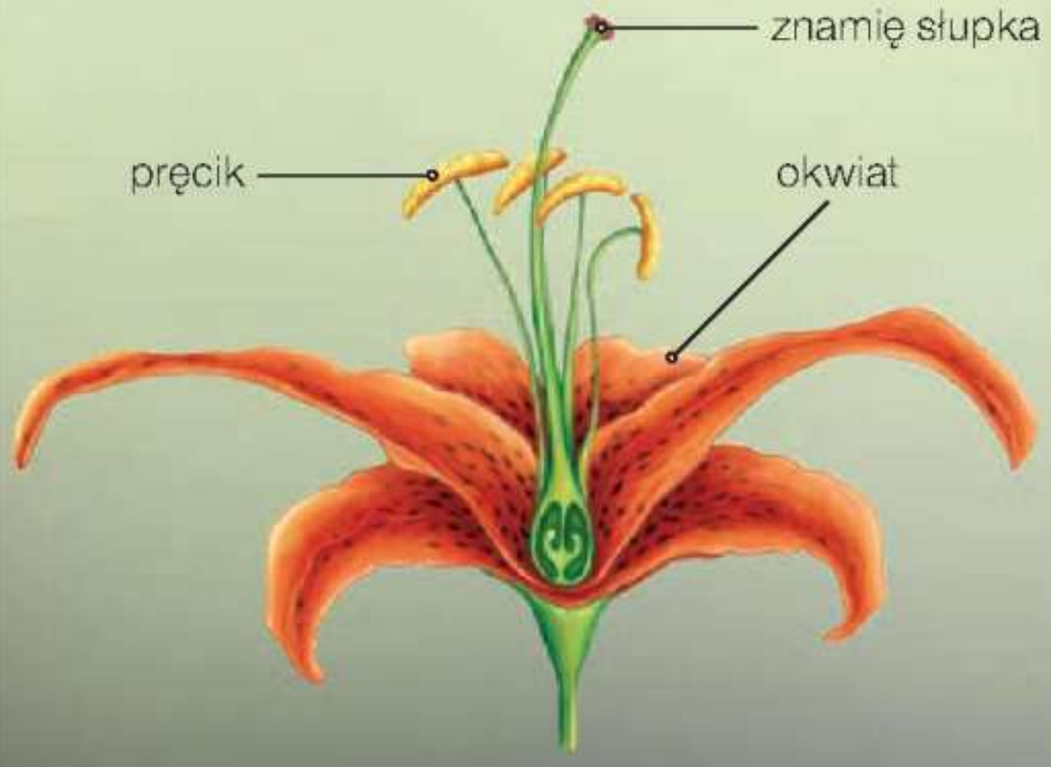
Rośliny zapylane przez zwierzęta

Rośliny, w których zapyleniu uczestniczą zwierzęta, np. owady, nietoperze lub kolibry, wytwarzają pyłek ciężki, lepki i w znacznie mniejszej ilości. Okwiat tych roślin jest barwny, często wonny i wydziela nektar.

Kwiaty zapylane przez kolibry są duże i mają intensywne zabarwienie.

Budowa kwiatu roślin zapylanych przez zwierzęta

- Okwiat jest duży, barwny i pachnący.
- Pyłek jest gruboziarnisty, ciężki i lepki. Rośliny wytwarzają go w niewielkich ilościach.
- Kwiat wytwarza słodki nektar, który jest pokarmem zwierząt zapylających.



Do najbardziej wydajnych zapylaczy należy pszczoła miodna (*Apis mellifera*). Jedna pszczoła w ciągu minuty odwiedza około 10 kwiatów.

Niektóre rośliny, np. skupnia cuchnąca (*Symplocarpus foetidus*), zwiększają wydajność zapylenia przez podwyższenie temperatury kwiatów. Wysoka temperatura ułatwia wydzielanie substancji lotnych, które przywabiają zwierzęta zapylające.

W wielu kwiatach znajdują się miodniki, czyli gruczoły wydzielające słodki płyn – nektar – który jest pokarmem zwierząt zapylających.

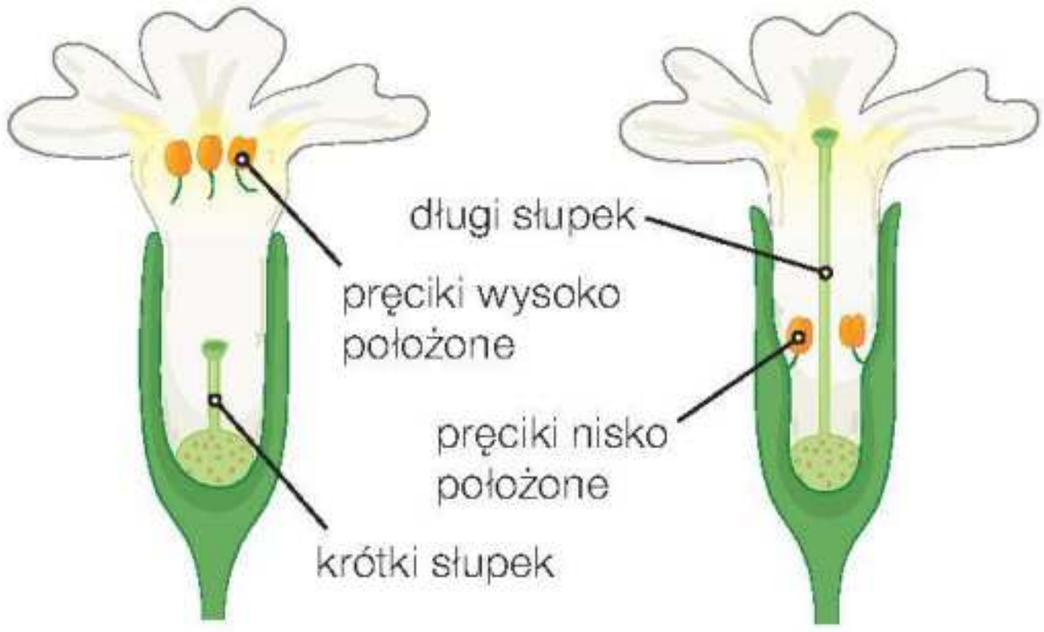
Przebieg i efekty podwójnego zapłodnienia

komórka plemnikowa (1n) + komórka jajowa (1n) → zygota (2n) —podziały mitotyczne→ zarodek sporofitu (2n)	Nasienie	Owoc
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)		

Samozapylenie a zapylenie krzyżowe

Kwiaty większości roślin okrytozalążkowych są obupłciowe. Stąd u wielu z nich, np. u zbóż, obserwuje się **samozapylenie**, czyli przeniesienie ziaren pyłku z pręcików na słupek tego samego kwiatu lub innych kwiatów tej samej rośliny. Zapylenie własnym pyłkiem jest zjawiskiem niekorzystnym, ponieważ ogranicza możliwości rekombinacji genów. Z tego powodu u wielu roślin występują mechanizmy, które zabezpieczają przed samozapyleniem, ułatwiając **zapylenie krzyżowe**, czyli **obcopylność**. Odbywa się ono poprzez przeniesienie 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, mamy do czynienia z przedsłupnością, natomiast jeśli pręciki dojrzewają wcześniej niż słupki – z przedprątnością,
- **heterostylia** (różnosłupkowość) – powstają dwa rodzaje słupków: u jednych osobników słupki krótkie (gdy pręciki są wysoko położone), a u innych – słupki długie (gdy pręciki są nisko położone).



Heterostylia u pierwiosnka.

Polecenia kontrolne

1. Wymień cechy okrytozalążkowych odróżniające je od nagozalążkowych oraz oceń ich znaczenie adaptacyjne.
2. Omów budowę obupłciowego kwiatu rośliny okrytozalążkowej i określ funkcje wszystkich jego elementów.
3. Scharakteryzuj przebieg przemiany pokoleń u roślin okrytozalążkowych.
4. Korzystając z dowolnie wybranych przykładów, wyjaśnij związek między budową kwiatu rośliny okrytozalążkowej a sposobem jego zapylania.
5. Scharakteryzuj mechanizmy zapobiegające samozapyleniu.

3.12. Rozprzestrzenianie się roślin okrytozalążkowych

Zwróć uwagę na:
- budowę i funkcję owoców,
- rozprzestrzenianie się owoców,
- budowę i funkcję nasion.

Rośliny okrytozalążkowe rozprzestrzeniają się za pomocą owoców, które powstają w wyniku rozmnażania płciowego. Do rozprzestrzeniania się służą im także przekształcone pędy uczestniczące w rozmnażaniu wegetatywnym, m.in. rozłogi, kłącza, bulwy i cebule.

Budowa owoców

Typowy owoc jest zbudowany z jednego lub kilku **nasion** oraz z **owocni**. W **owocach właściwych** obie te części powstają z **zalążni słupka** – z zalążków powstają nasiona, a ze ściany zalążni tworzy się owocnia. W miarę rozwoju owocu pozostałe części kwiatu zasychają i odpadają.

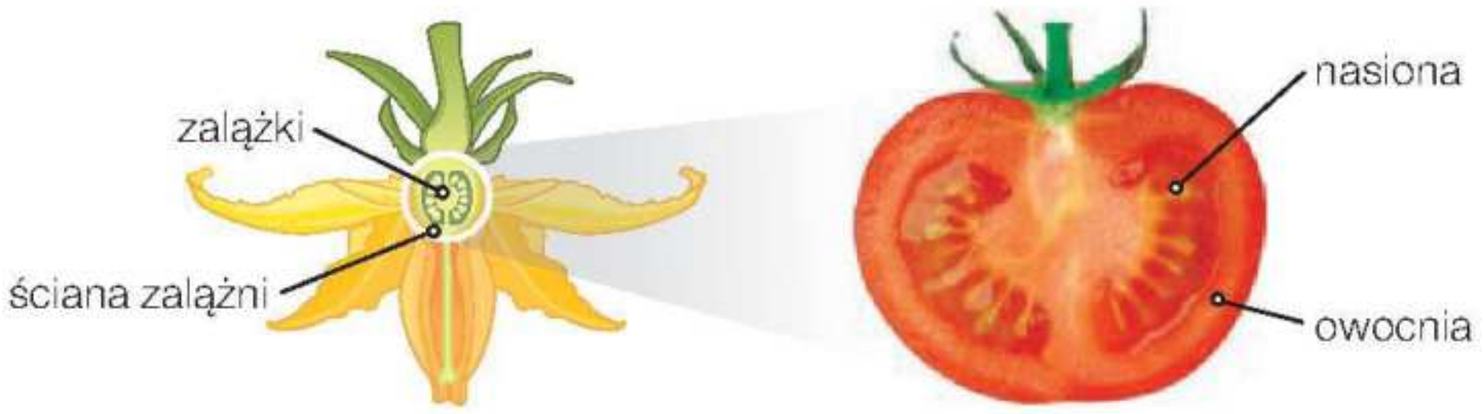
U niektórych gatunków w wytwarzaniu owoców uczestniczą dodatkowo inne części kwiatu. Takie owoce nazywa się **owocami rzekomymi** lub **szupinkami**. Przykładem szupinki jest jabłko, którego mięsista część powstaje wskutek rozrastania się dna kwiatowego.

Owocnia spełnia dwie ważne funkcje: chroni nasiona oraz pomaga w ich rozsiewaniu. W zależności od tego, czy w czasie dojrzewania wysycha, czy pozostaje soczysta, owoce dzielimy na **suche** i **mięsiste**.

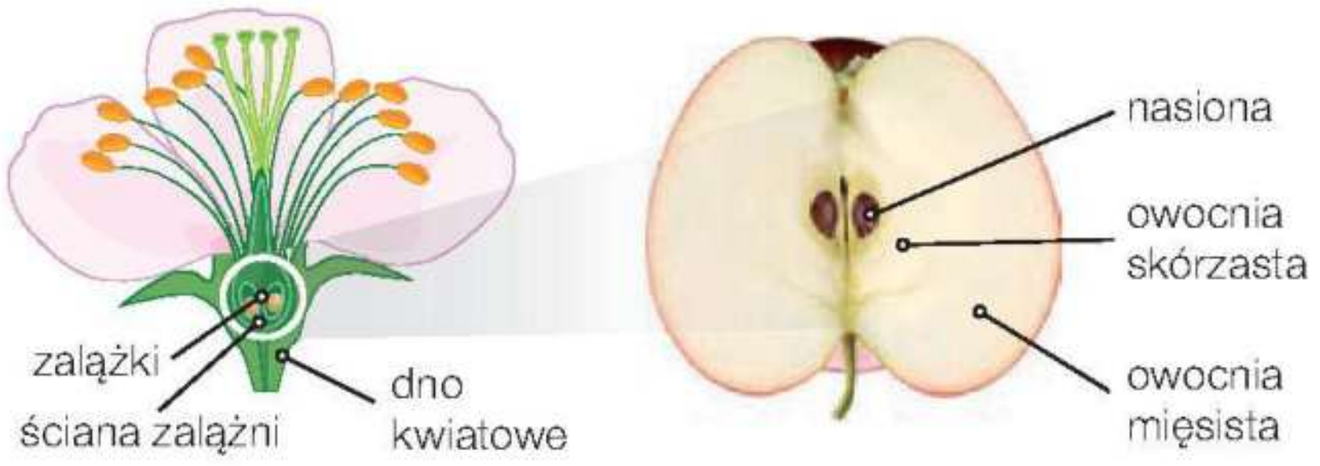
Powstawanie owoców

Owoce powstają z zapylonych kwiatów. Jeśli w tworzeniu owocu uczestniczy tylko słupek, mamy do czynienia z owocami właściwymi, a jeśli biorą w nim udział również inne części kwiatu – z owocami rzekomymi.

Owocem właściwym jest jagoda pomidora, która powstaje z zalążni słupka. Ze ściany zalążni tworzy się soczysta owocnia, a z zalążków – 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.



Owoce i owocostany

W zależności od sposobu powstawania owoców wyróżnia się owoce pojedyncze, owoce zbiorowe oraz owocostany.

OWOCE POJEDYNCZE

Owoce pojedyncze rozwijają się z jednej zalążni jednosłupkowego kwiatu.

Owoce mięsiste

Owoce mięsiste mają soczystą owocnię.

pestkowiec – brzoskwinia

jagoda – pomidor

Owoce suche

Owoce suche mają skórzastą lub zdrewniałą owocnię.

Owoce pękające

W owocach pękających dojrzała owocnia sama otwiera się i wysypuje nasiona.

mieszek – kaczeniec

strąk – fasola

łuszczyna – rzepak

torebka – mak

Owoce niepękające

W owocach niepękających dojrzała owocnia pozostaje zamknięta.

orzech – leszczyna

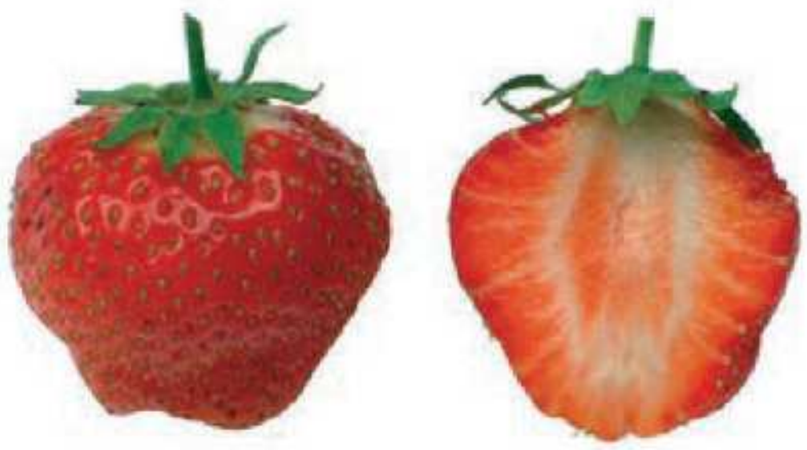
ziarniak – kukurydza

niełupka – słonecznik

rozłupnia – jesion

OWOCE ZBIOROWE

Owoce zbiorowe powstają z wielu zalążni jednego wielosłupkowego kwiatu.



owoc wieloorzeszkowy – truskawka

OWOCOSTANY

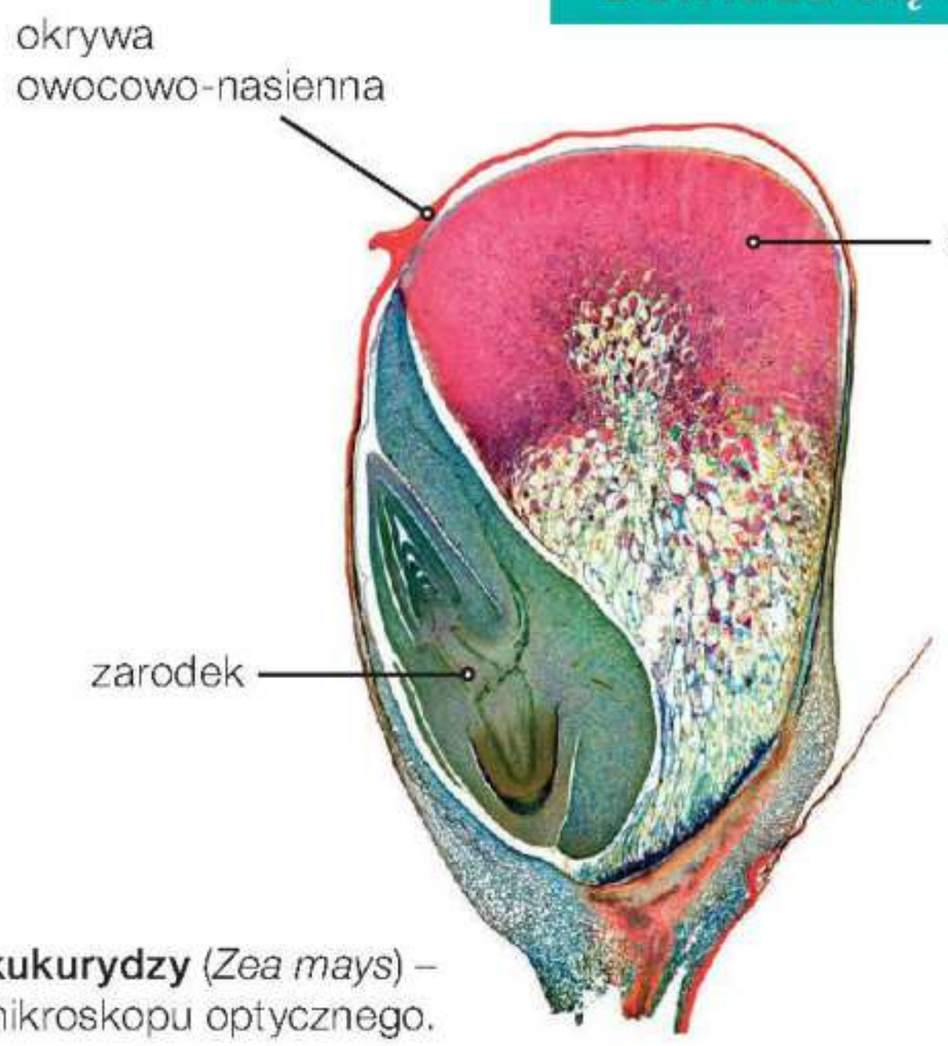
Owocostany powstają z przekształcenia całych kwiatostanów.

owocostan pestkowcowy – figa

Dowiedz się więcej

Ziarniak

Ziarniak jest owocem suchym, niepękającym. Występuje u niektórych roślin jednoliściennych, m.in. u zbóż. W ziarniaku wyróżnia się trzy zasadnicze elementy: zarodek, bielmo i okrywę owocowo-nasienną. Zarodek jest mały, jednoliścieniowy, zlokalizowany w bocznej części owocu. Bielmo składa się z dwóch warstw – warstwa zewnętrzna jest bogata w białka zapasowe, a warstwa wewnętrzna w skrobię. Okrywę owocowo-nasienną stanowi natomiast owocnia zrośnięta z łupiną nasienną.



Ziarniak kukurydzy (*Zea mays*) – obraz spod mikroskopu optycznego.

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 (np. rdest ptasi),
- gwałtowne wyrzucanie nasion za pomocą specyficznych elementów budowy owocu (np. szczawik zajęczy).

Obcosiewność to rozprzestrzenianie się owoców za pomocą czynników zewnętrznych. Wyróżniamy następujące typy obcosiewności:

- **wiatrosiewność** (anemochoria) – zachodzi za pośrednictwem wiatru; owoce rozsiewane przez wiatr są drobne, lekkie i często zaopatrzone w aparat lotny (np. mniszek, klon),
- **wodosiewność** (hydrochoria) – zachodzi za pośrednictwem wody; owoce rozsiewane przez wodę utrzymują się na jej powierzchni, ponieważ są wyposażone w miękisz powietrzny i nieprzemakalną owocnię (np. palma kokosowa, grzybienie białe),
- **zwierzęcosiewność** (zoochoria) – zachodzi za pośrednictwem zwierząt, głównie ptaków i ssaków; niektóre owoce rozsiewane przez zwierzęta są zaopatrzone w elementy czepne, takie jak kolce i haczyki, dzięki którym przyczepiają się do sierści zwierząt (np. łopian), inne mają smaczną, bogatą w składniki odżywcze owocnię – dzięki temu są zjadane przez zwierzęta, a ich nasiona są usuwane wraz z odchodami (np. wiśnia).

Jemioła pospolita (*Viscum album*) wytwarza białe, lepkie jagody. Są one zjadane przez ptaki i przenoszone z drzewa na drzewo. Nasiona przyklejają się do gałęzi, a następnie kiełkują. Młode siewki wytwarzają ssawki, które wrastają poprzez korę żywiciela aż do warstwy drewna.

Sposoby rozprzestrzeniania się owoców

Owoce poszczególnych gatunków roślin różnią się budową, przez co 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 mają często aparaty lotne, dzięki którym unoszą się w powietrzu.

Owoce grabu są zaopatrzone w duże, płaskie skrzydełka lotne.

Owoce mniszka mają aparat lotny, który powstaje z okwiatu.

Zwierzęta

Niektóre owoce przenoszone za pośrednictwem zwierząt mają barwę, smak i zapach zachęcające do zjedzenia. 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 są otoczone specjalną tkanką, która chroni je przed nasiąkaniem wodą. Mają także komory wypełnione powietrzem, dzięki którym nie toną.

Owoce namorzynów rozprzestrzeniają się za pośrednictwem wody. Unoszą się na powierzchni wody i kiełkują po wyrzuceniu na brzeg.

Budowa nasienia

U roślin okrytozalążkowych dojrzałe nasienie składa się z **zarodka, łupiny nasiennej** i **tkanki spichrzowej**. Zarodek stanowi młodociane stadium sporofitu, czyli zawiązek przyszłej rośliny. Podczas rozwoju zarodka jego komórki dzielą się mitotycznie, wykształcając korzeń zarodkowy, łodygę zarodkową oraz liścienie. Łupina nasienna chroni zarodek przed wpływem niekorzystnych czynników środowiska (np. przed wysychaniem, urazami mechanicznymi). Natomiast tkanka spichrzowa magazynuje substancje odżywcze, które zostaną wykorzystane do rozwoju zarodka i siewki.

Ze względu na pochodzenie tkanki spichrzowej nasiona dzieli się na bielmowe, obielmowe i bezbielmowe.

- **W nasionach bielmowych** tkanką spichrzową jest bielmo (3n), które nie zostało zużyte podczas tworzenia się zarodka.
- **W nasionach obielmowych** tkanką spichrzową jest obielmo (2n), czyli zachowany ośrodek zalążka, który występuje zamiast bielma lub obok niego.
- **W nasionach bezbielmowych** tkanka spichrzowa znajduje się w obrębie zarodka i wypełnia duże, mięsiste liścienie (2n).

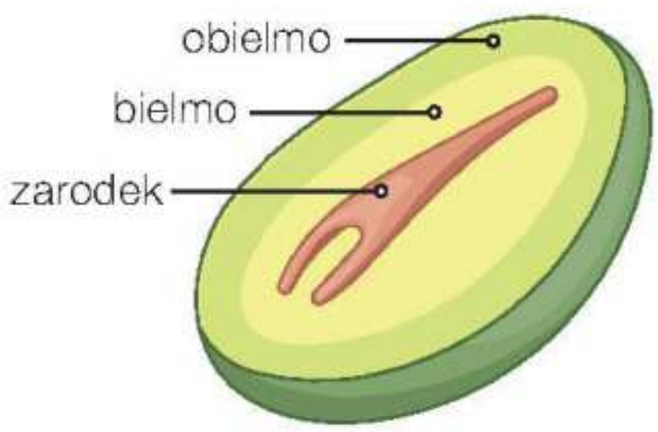
Materiałami zapasowymi tkanek spichrzowych nasion są: skrobia, tłuszcze i białka. W zależności od rodzaju przeważających związków organicznych stosuje się podział nasion na skrobiowe, czyli mączyste (np. żyto), oleiste (np. rzepak) i białkowe (np. groch).

Rozmnażanie wegetatywne roślin okrytozalążkowych

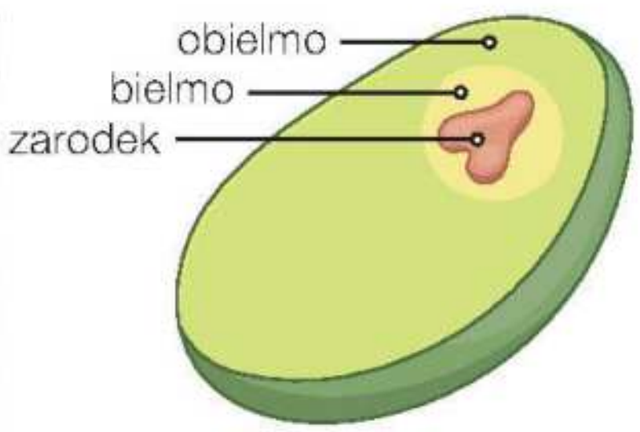
Rozmnażanie wegetatywne polega na powstawaniu nowych roślin z fragmentów rośliny macierzystej, najczęściej **z przekształconych pędów**. W zależności od gatunku są to najczęściej: rozłogi, kłącza, bulwy lub cebule.

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.

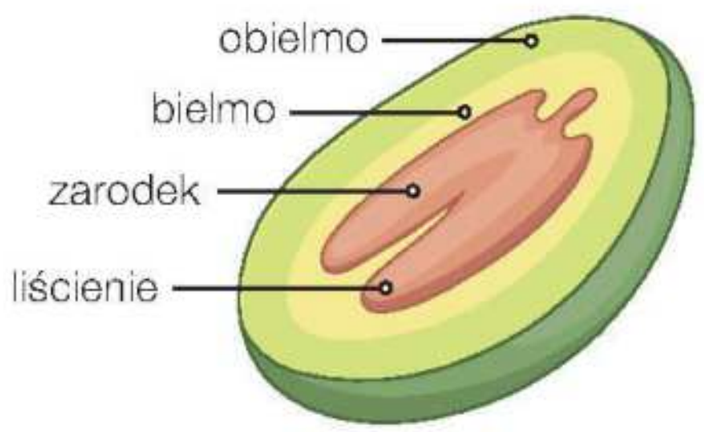
Rodzaje nasion



Nasiona bielmowe występują np. u maku.



Nasiona obielmowe występują np. u buraka.



Nasiona bezbielmowe występują np. u grochu.

Polecenia kontrolne

1. Podaj po jednym przykładzie owoców pojedynczych, zbiorowych i owocostanów. Porównaj sposób ich powstawania.
2. Wyjaśnij na przykładach związek między budową owocni a sposobem rozsiewania owoców.
3. Podaj kryterium podziału nasion na bielmowe, bezbielmowe i obielmowe, a następnie wskaż istniejące między nimi podobieństwa i różnice.

3.13. Różnorodność i znaczenie roślin okrytozalążkowych

Zwróć uwagę na:
- rośliny dwuliścienne i jednoliścienne,
- znaczenie okrytozalążkowych.

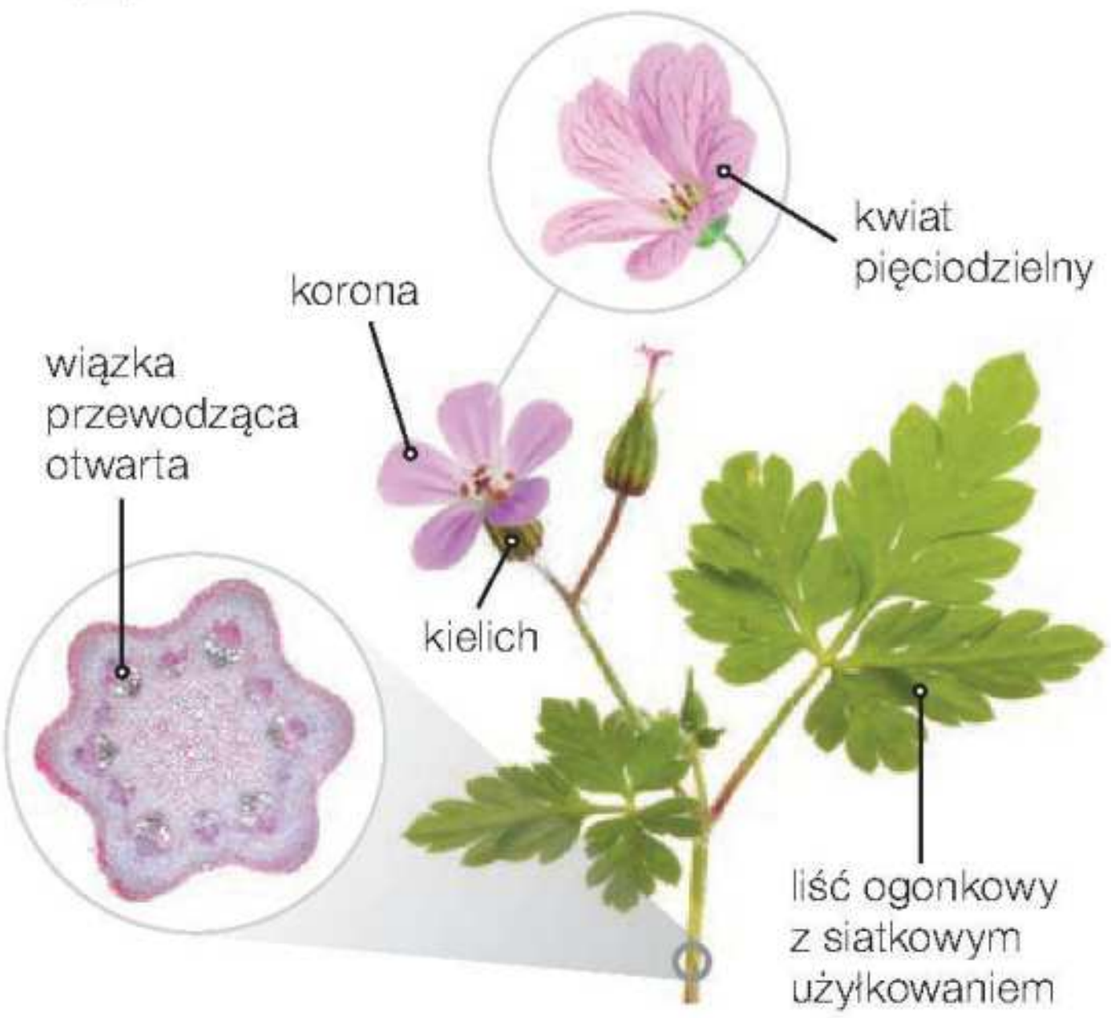
W obrębie gromady okrytozalążkowych wyróżnia się rośliny dwuliścienne oraz rośliny jednoliścienne.

Rośliny dwuliścienne

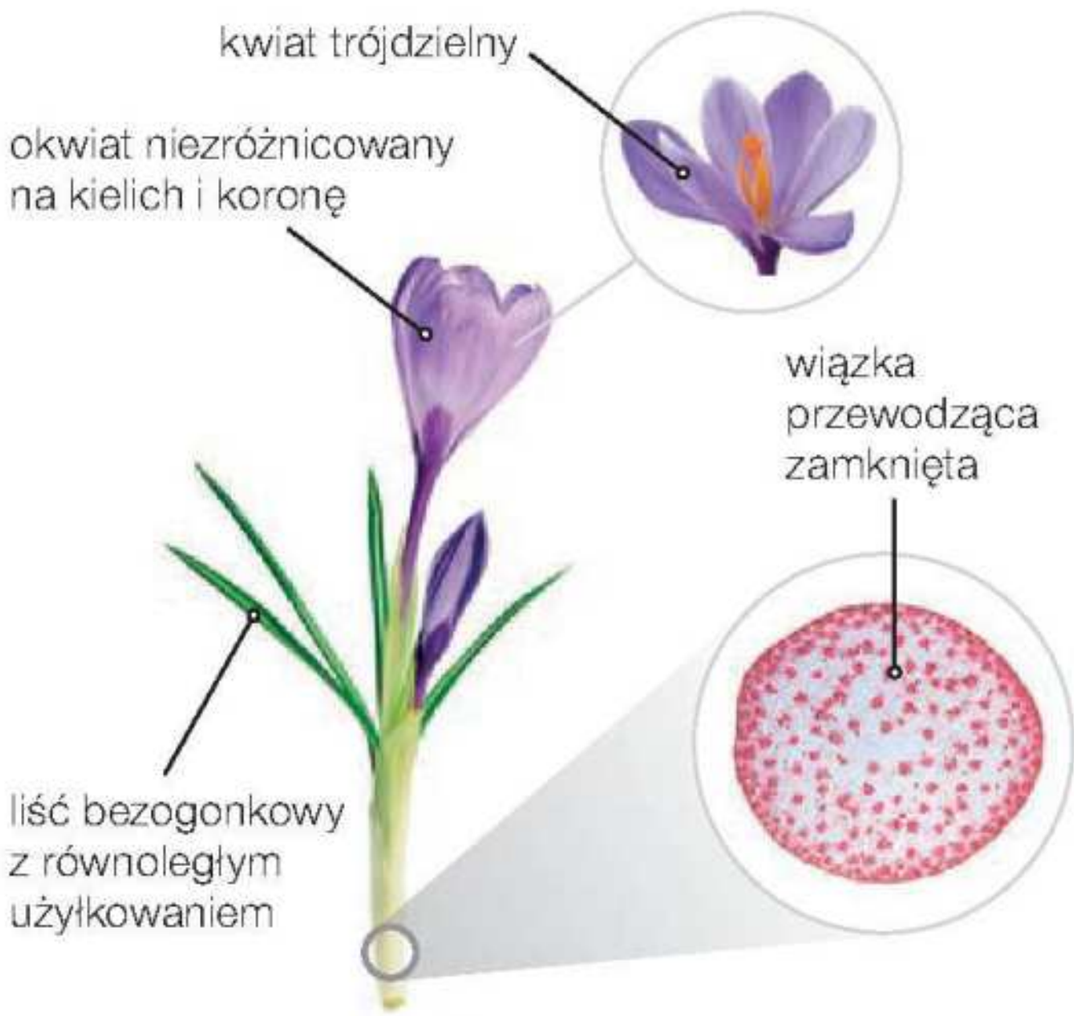
Do dwuliściennych należy znaczna większość roślin okrytozalążkowych – zarówno drzewiastych, jak i zielnych. Ich charakterystyczną cechą, od której pochodzi nazwa grupy, jest **dwuliścieniowy zarodek**. Większość gatunków dwuliściennych ma palowy system korzeniowy. Liście są zwykle ogonkowe, o siatkowym użyłkowaniu, a ich miękisz asymilacyjny jest zróżnicowany na palisadowy i gąbczasty. Łodygi roślin dwuliściennych mają wiązki przewodzące naprzeciwległe otwarte, ułożone koncentrycznie. U większości gatunków korzenie oraz łodygi przyrastają wtórnie na grubość. Kwiaty roślin dwuliściennych są cztero- lub pięciodzielne, co oznacza, że liczba elementów kwiatu w okółku wynosi cztery, pięć lub stanowi wielokrotność tych liczb. Okwiat jest zróżnicowany na kielich i koronę.

Rośliny jednoliścienne

Do jednoliściennych należą zwykle rośliny zielne. Ich charakterystyczną cechą, od której pochodzi nazwa grupy, jest **jednoliścieniowy zarodek**. Jednoliścienne mają wiązkowy system korzeniowy i zazwyczaj bezogonkowe liście o równoległym użyłkowaniu. Miękisz asymilacyjny blaszek liściowych jest niezróżnicowany na palisadowy i gąbczasty. Łodygi jednoliściennych mają wiązki przewodzące naprzeciwległe zamknięte rozrzucone na całym przekroju. Wtórny przyrost korzeni i łodyg na grubość jest u tych roślin rzadko spotykany. Kwiaty roślin jednoliściennych są przeważnie trójdzielne, co oznacza, że liczba elementów kwiatu w okółku wynosi trzy lub stanowi wielokrotność tej liczby. Okwiat jest niezróżnicowany na kielich i koronę.

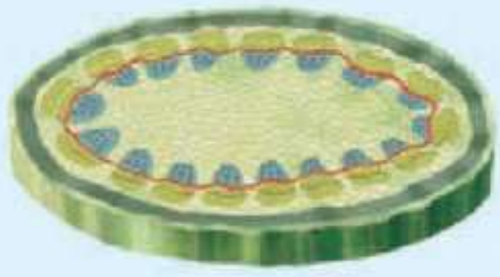


Roślina dwuliścienna – bodziszek (*Geranium*).



Roślina jednoliścienna – krokus (*Crocus*).

Porównanie roślin dwuliściennych z roślinami jednoliściennymi

Cechy	Dwuliścienne (Magnoliopsida)	Jednoliścienne (Liliopsida)
Liczba liścieni w zarodku	• dwa liścienie	• jeden liścień
System korzeniowy	• najczęściej palowy	• wiązkowy
Budowa liści	• liście zwykle ogonkowe • blaszka zróżnicowana pod względem kształtu • użyłkowanie siatkowe • miękisz asymilacyjny zróżnicowany na palisadowy i gąbczasty	• liście bezogonkowe • blaszka wydłużona, równowąska lub eliptyczna • użyłkowanie równoległe • miękisz asymilacyjny niezróżnicowany na palisadowy i gąbczasty
Ułożenie i typ wiązek przewodzących na przekroju poprzecznym łodygi o budowie pierwotnej	• wiązki przewodzące ułożone w pierścień (koncentrycznie) • wiązki naprzeciwległe otwarte 	• wiązki przewodzące rozrzucone na całym przekroju łodygi • wiązki naprzeciwległe zamknięte
Przyrost korzenia i łodygi na grubość	• występuje powszechnie	• występuje bardzo rzadko, np. u palm
Budowa kwiatów	• przeważnie cztero- lub pięciodzielne • okwiat zróżnicowany na kielich i koronę	• przeważnie trójdzielne • okwiat niezróżnicowany na kielich i koronę

Różnorodność okrytozalążkowych

Okrytozalążkowe są dominującą grupą roślin (ponad 300 tys. gatunków), doskonale przystosowaną do środowiska lądowego. Sporofity okrytozalążkowych składają się z korzeni, łodyg, liści oraz okresowo kwiatów, z których powstają owoce. Dzięki wykształceniu łagiewki pyłkowej proces zapłodnienia jest u nich niezależny od obecności wody, a tkanka spichrzowa nasienia tworzy się dopiero po zapłodnieniu. W obrębie okrytozalążkowych wyróżnia się dwa klady: rośliny jednoliścienne i rośliny dwuliścienne.

Klad: Rośliny jednoliścienne

Do kladu jednoliściennych (Liliopsida) należą m.in. wiechlinowate (Poaceae), obrazkowate (Araceae), liliowate (Liliaceae) i storczykowate (Orchidaceae), klasyfikowane w kategorii rodziny.

Wiechlinowate

Wiechlinowate to rośliny zielne o łodygach w postaci źdźbła, podzielonych na węzły i międzywęźla. Ich kwiaty mają zredukowany okwiat i są wiatropylne. Owocem jest ziarniak.

Do wiechlinowatych należy m.in. trzcina pospolita (*Phragmites australis*).

Obrazkowate

Obrazkowate to rośliny zielne, zwykle byliny. Ich kwiaty są zebrane w kwiatostany typu kolby, osłonięte pochwą kwiatostanową, która odgrywa rolę powabni. Owocem jest jagoda.

Do obrazkowatych należy m.in. czermień błotna (*Calla palustris*).

Do liliowatych należy m.in. lilia złotogłów (*Lilium martagon*).

Storczykowate

Storczykowate to rośliny zielne, często epifityczne. Ich kwiaty są barwne, zwykle grzbieciste, przystosowane do owadopylności. Owocem jest torebka.

Do storczykowatych należy m.in. obuwik pospolity (*Cypripedium calceolus*).

Liliowate

Liliowate to rośliny zielne o okazałych, barwnych kwiatach. Są owadopylne, a ich owocem jest zwykle torebka.

Klad: Rośliny dwuliścienne

Do kladu dwuliściennych (Magnoliopsida) należą m.in. goździkowate (Caryophyllaceae), różowate (Rosaceae), bobowate (Fabaceae), astrowate (Asteraceae) i kapustowate (Brassicaceae), klasyfikowane w kategorii rodziny.

Goździkowate

Goździkowate to w większości rośliny zielne o ulistnieniu okółkowym naprzeciwległym. Ich kwiaty są barwne, pachnące i owadopylne. Owocem jest przeważnie torebka.

Do godździkowatych należy m.in. firletka poszarpana (*Silene flos-cuculi*).

Bobowate

Bobowate (motylkowate) to rośliny zielne, krzewy oraz drzewa żyjące w symbiozie z bakteriami brodawkowymi. Wyróżniają się grzbiecistymi kwiatami, a ich owocem jest zwykle strąk.

Do bobowatych należy m.in. koniczyna łąkowa (*Trifolium pratense*).

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 (*Rosa canina*).

Astrowate

Astrowate są w większości roślinami zielnymi. Zwykle wytwarzają dwa rodzaje kwiatów: języczkowate i rurkowate, skupione w kwiatostany typu koszyczka. Owocem charakterystycznym jest niełupka.

Do astrowatych należy m.in. rumianek pospolity (*Matricaria chamomilla*).

Kapustowate

Kapustowate to w większości rośliny zielne o ulistnieniu skrętoległym. Ich kwiaty są drobne, owadopylne, a owocem jest łuszczyna.

Do kapustowatych należy m.in. rzepak (*Brassica napus*).

Znaczenie okrytozalążkowych
w przyrodzie i dla człowieka

Źródło tlenu

Okrytozalążkowe 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

Okrytozalążkowe stanowią bazę pokarmową większości ekosystemów lądowych. Żywią się nimi zwierzęta roślinożerne oraz wszystkożerne. Wiele gatunków okrytozalążkowych jest wykorzystywanych przez człowieka. Ze zbóż wytwarza się m.in. mąkę i kaszę, 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 okrytozalążkowe 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
(*Linum usitatissimum*).

Źródło cennych substancji

Substancje zawarte w roślinach okrytozalążkowych stosuje się do produkcji kosmetyków i leków. Na przykład z naparstnicy (*Digitalis*) otrzymuje się glikozydy, które są stosowane w leczeniu chorób serca.

Naparstnica purpurowa
(*Digitalis purpurea*).

Polecenia kontrolne

1. Porównaj cechy budowy morfologicznej i anatomicznej roślin jednoliściennych z cechami budowy roślin dwuliściennych.
2. Na podstawie dostępnych źródeł przygotuj prezentację dotyczącą leczniczych właściwości roślin okrytozalążkowych.

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 **Cechy wspólne roślin pierwotnie wodnych i protistów roślinopodobnych:**

- nie mają budowy tkankowej,
- nie wytwarzają organów,
- wyróżnia się wśród nich formy jednokomórkowe, kolonijne lub wielokomórkowe o budowie plechowej.

3 **Porównanie grup roślin pierwotnie wodnych**

Cecha	Rośliny pierwotnie wodne		
	glaukocystofity	krasnorosty	zielenice
Występowanie	środowisko wodne	środowisko wodne – głównie wody słone, rzadko wody słodkie	głównie środowisko wodne, rzadziej lądowe – m.in. kora drzew, śnieg i lód
Formy morfologiczne	jednokomórkowe lub kolonijne	wielokomórkowe plechowe	jednokomórkowe, kolonijne, wielokomórkowe plechowe
Zdolność ruchu	występuje – aktywne pływanie za pomocą wici lub bierne unoszenie się w wodzie	zwykle formy osiadłe, przytwierdzone do podłoża za pomocą chwytników	występuje – aktywne pływanie za pomocą wici lub bierne unoszenie się w wodzie
Barwniki fotosyntetyczne	chlorofil a, niebieskie i czerwone fikobiliny	chlorofile, karotenoidy, niebieskie i czerwone fikobiliny	chlorofile a i b

4 **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 owalne, otoczone dwiema błonami białkowo-lipidowymi,
- chloroplasty zawierają chlorofile a i b,
- podstawowym materiałem zapasowym komórek jest skrobia,
- mają budowę tkankową,
- wszystkie z wyjątkiem mszaków mają ciało zróżnicowane na organy,
- 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).

5 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

6 Podział roślin w zależności od dostępności wody w środowisku

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

7 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

8 Rodzaje tkanek twórczych

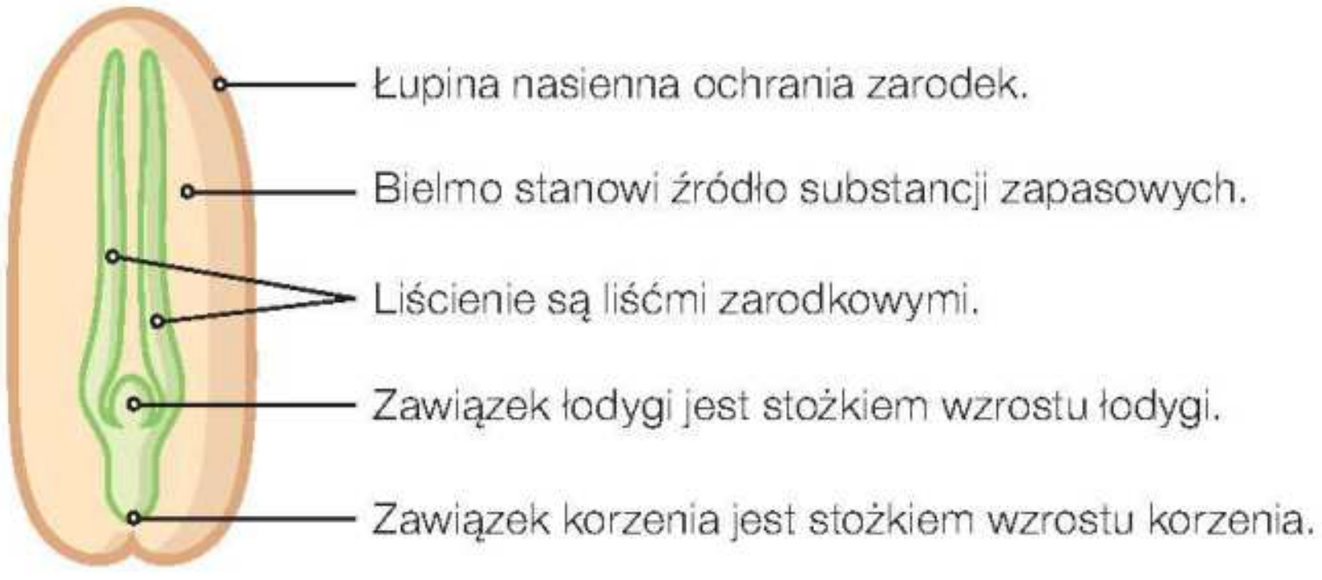
Tkanki twórcze (merystemy)	
pierwotne	**wtórne**
• merystemy wierzchołkowe – występują na szczytach pędu i korzenia, umożliwiają wzrost tych organów na długość oraz ich pierwotny przyrost na grubość; w wyniku działania stożków wzrostu łodygi i korzenie uzyskują pierwotną budowę anatomiczną • merystemy 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

9 Rodzaje tkanek stałych

Typy tkanek stałych	Funkcje	Rodzaje tkanek
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
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
Wzmacniające	Chronią rośliny przed złamaniem, zgnieceniem lub rozerwaniem.	• kolenchyma – występuje głównie w rosnących pędach roślin • sklerenchyma – występuje zazwyczaj w dojrzałych korzeniach i łodygach roślin
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

10 Zarodek – początkowe stadium sporofitu

Zarodek – młody, niedojrzały organizm rośliny, który odżywia się substancjami pokarmowymi wytworzonymi przez roślinę macierzystą. U roślin nasiennych zarodki znajdują się w nasionach.

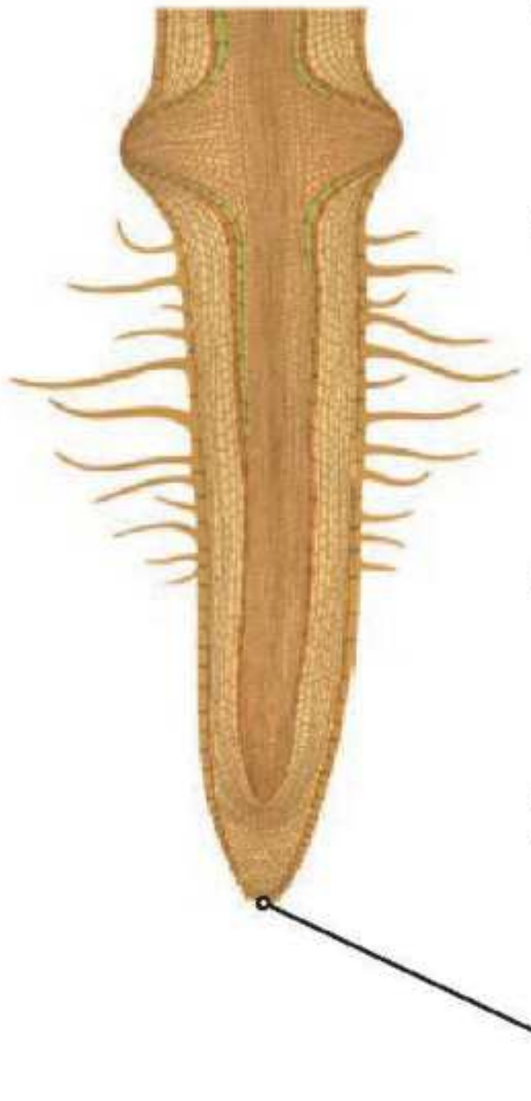


Budowa nasienia rośliny dwuliściennej.

11 Korzeń

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.

12 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.

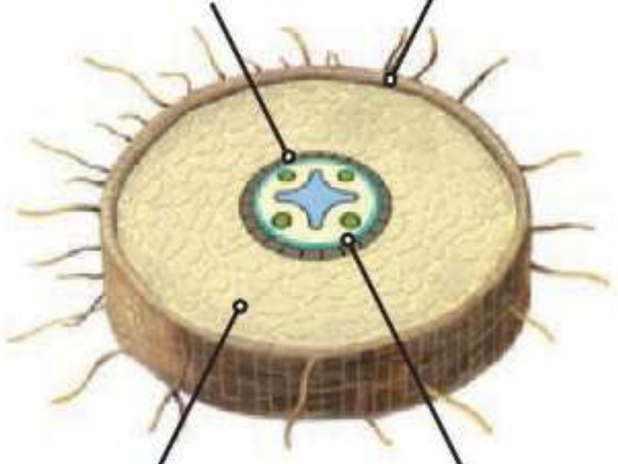
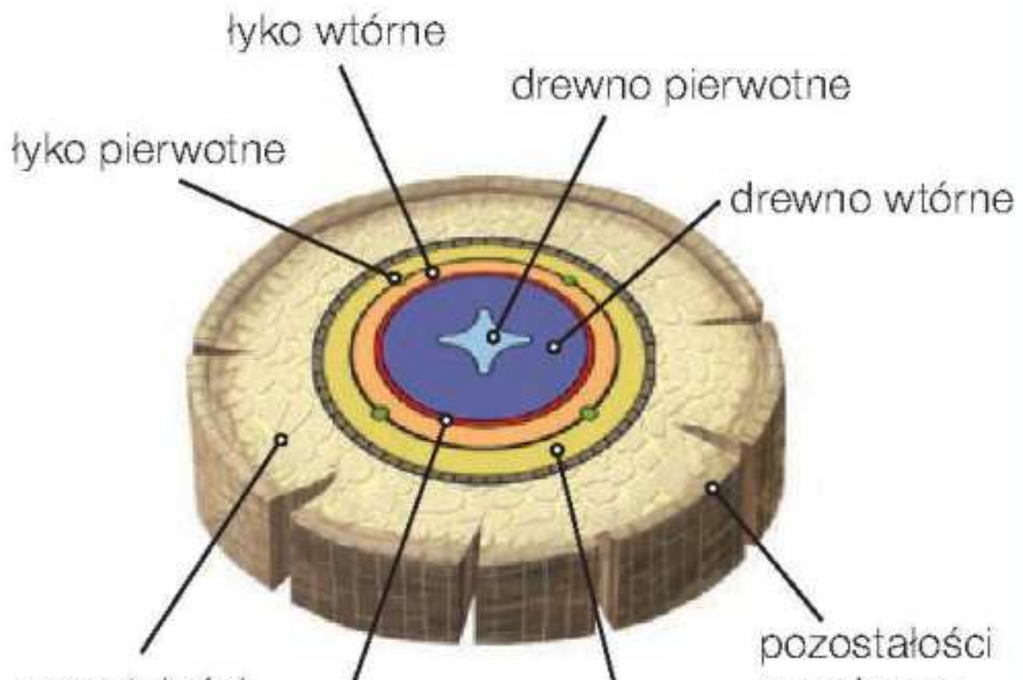
Strefa włośnikowa – w tej strefie komórki ryzodermy są zaopatrzone we włośniki, dlatego jest to strefa najbardziej efektywnego wchłaniania wody.

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.

13 Budowa pierwotna i wtórna korzenia

Budowa korzenia	
pierwotna	**wtórna**
Śródskórnia – reguluje przepływ substancji między korą pierwotną a walcem osiowym. Ryzoderma – zewnętrzna warstwa korzenia, wyrastają z niej włośniki.  Kora pierwotna – zbudowana z tkanki miękiszowej, przewodzi wodę z solami mineralnymi z ryzodermy do walca osiowego. Okolnica – wytwarza korzenie boczne.	łyko wtórne drewno pierwotne łyko pierwotne drewno wtórne  pozostałości kory pierwotnej pozostałości ryzodermy Kambium – tkanka twórcza wytwarzająca drewno wtórne i łyko wtórne. Korkowica – w jej skład wchodzi tkanka twórcza – felogen – oraz wytwarzane przez nią felem i feloderma.

14 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

15 **Pęd** – część rośliny zbudowana zwykle z łodygi i liści, a u roślin nasiennych również z kwiatów i niekiedy z owoców. Wyróżnia się dwa rodzaje pędów:

- pędy nadziemne – zbudowane z łodygi, liści, a u roślin nasiennych również z kwiatów i niekiedy z owoców,
- pędy podziemne – zmodyfikowane ulistnione lub bezlistne łodygi o charakterze przetrwalnikowym, wytwarzane przez wieloletnie rośliny zielne (byliny).

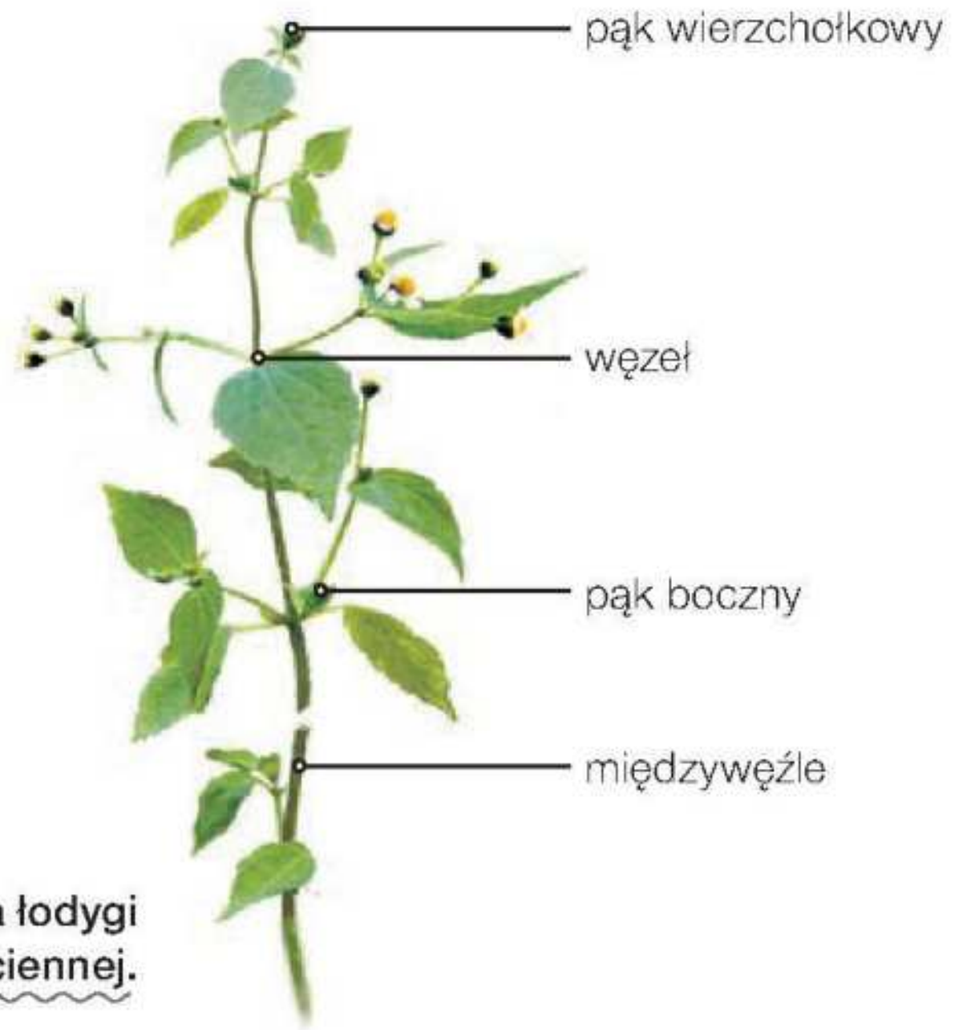
16 Łodyga – funkcje i budowa morfologiczna

Łodyga – organ wegetatywny rośliny, stanowiący oś pędu. Do jej funkcji należą:

- utrzymywanie liści, a u niektórych roślin – również kwiatów i owoców,
- przewodzenie wody z solami mineralnymi z korzeni do innych organów rośliny,
- przewodzenie związków organicznych między różnymi organami rośliny.

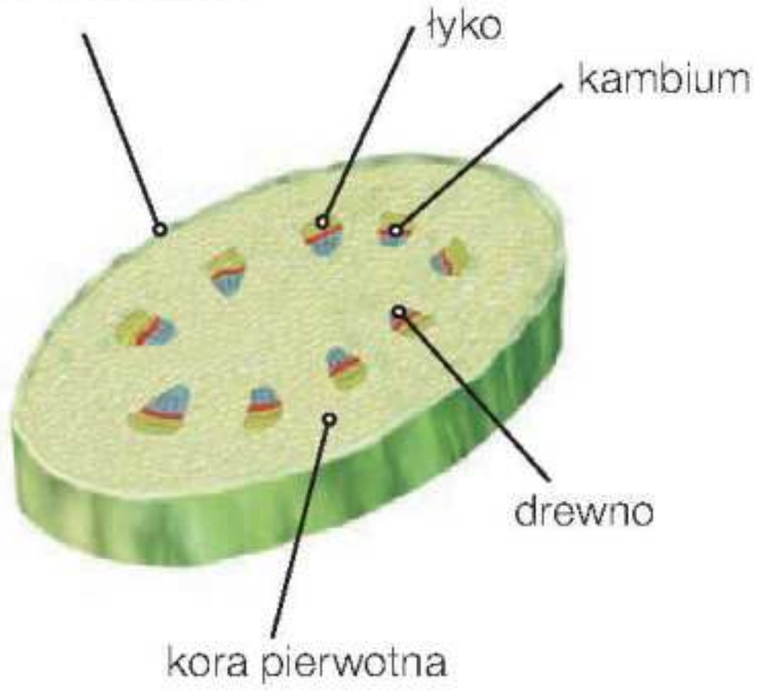
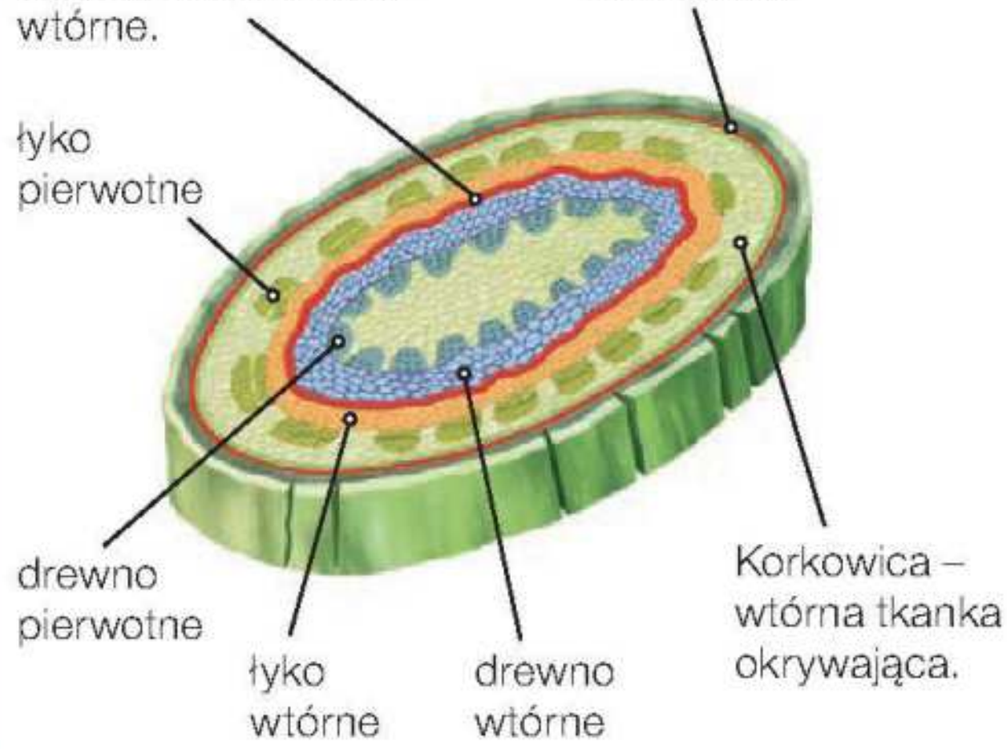
Wyróżnia się dwa rodzaje łodyg:

- 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 rośliny dwuliściennej.

17 Budowa pierwotna i wtórna łodygi rośliny dwuliściennej

<table>
<tr><th colspan="2">Budowa łodygi</th></tr>
<tr><th>pierwotna</th><th>wtórna</th></tr>
<tr><td>Epiderma – zewnętrzna warstwa łodygi, zawierająca aparaty szparkowe.
 
</td><td>Kambium – tkanka twórcza wytwarzająca drewno wtórne i łyko wtórne.
Felogen – tkanka twórcza wytwarzająca korkowicę.
 
</td></tr>
</table>

18 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 sią 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

19 Liść

Liść – organ wegetatywny wchodzący w skład pędu.

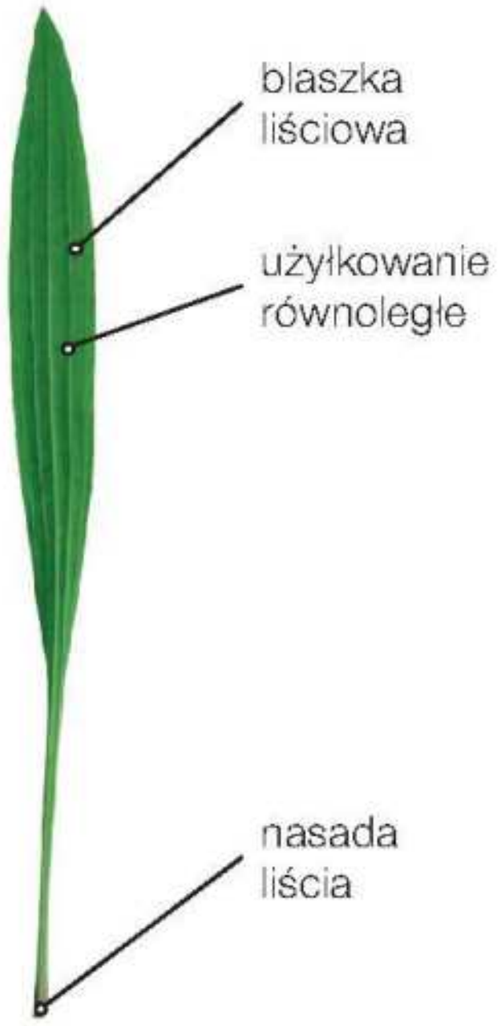
Główne funkcje liścia:

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

20 Ulistnienie roślin

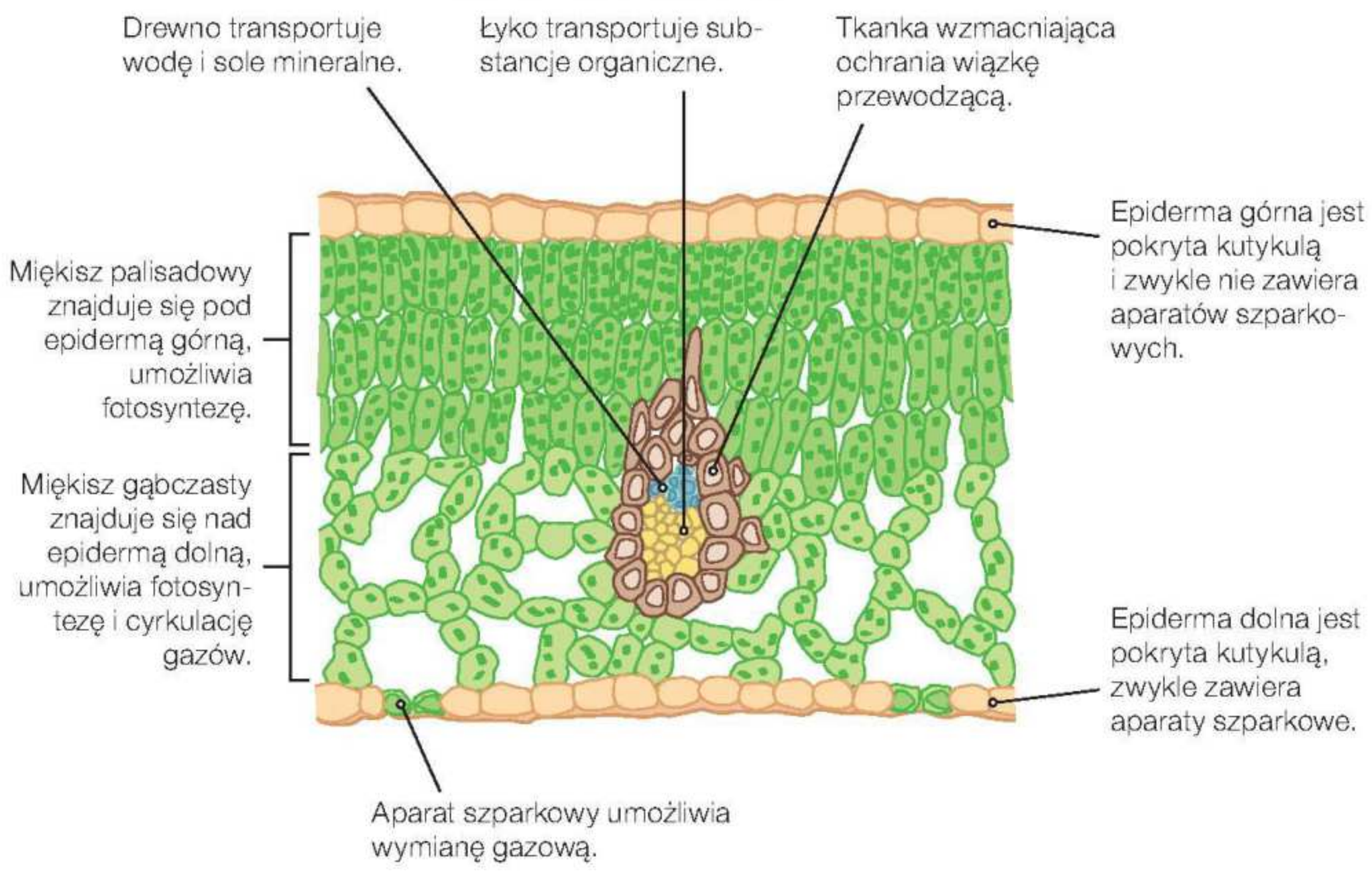
Ulistnienie – charakterystyczny dla danego gatunku układ liści na łodydze. Wyróżnia się dwa główne typy ulistnienia: okółkowe oraz skrętoległe.

21 Budowa morfologiczna liści

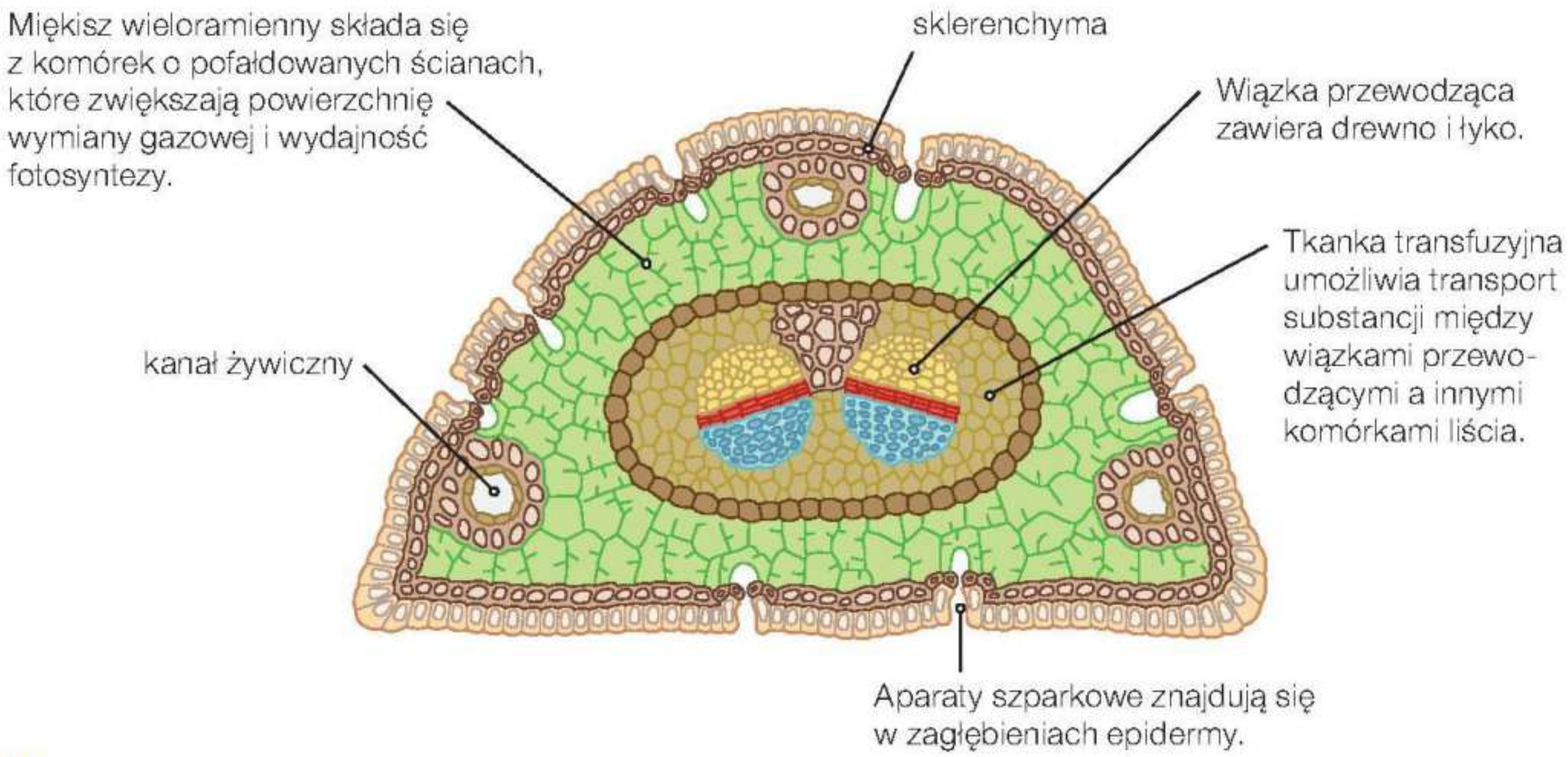
Rośliny nagozalążkowe	Rośliny okrytozalążkowe	
	jednoliścienne	dwuliścienne
Liście o budowie kseromorficznej: • zredukowana blaszka liściowa, • epiderma zbudowana z grubościennych komórek powleczonych kutykulą i woskiem, • aparaty szparkowe w zagłębieniach epidermy.	Liście bezogonkowe. Składają się z blaszki liściowej, która przechodzi bezpośrednio w nasadę liścia.	Liście ogonkowe, zbudowane z blaszki liściowej, ogonka liściowego i nasady liścia.
		

22 Budowa anatomiczna liści

• Budowa anatomiczna liścia rośliny dwuliściennej



- **Budowa anatomiczna liścia rośliny nagozalążkowej**



23 Modyfikacje liści

Rodzaj modyfikacji	Funkcje	Przykłady występowania
Pułapkowe	umożliwiają chwytanie i trawienie zwierząt, głównie owadów	rośliny mięsożerne, np. muchołówka, rosiczka, dzbanecznik
Spichrzowe	magazynują substancje zapasowe	np. kapusta
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 sią wokół podpory	rośliny pnące, np. wyka
Pochwy kwiatostanowe	pełnią funkcję powabni	niektóre rośliny jednoliścienne, np. anturium

24 Przystosowania w budowie liści u różnych form ekologicznych roślin

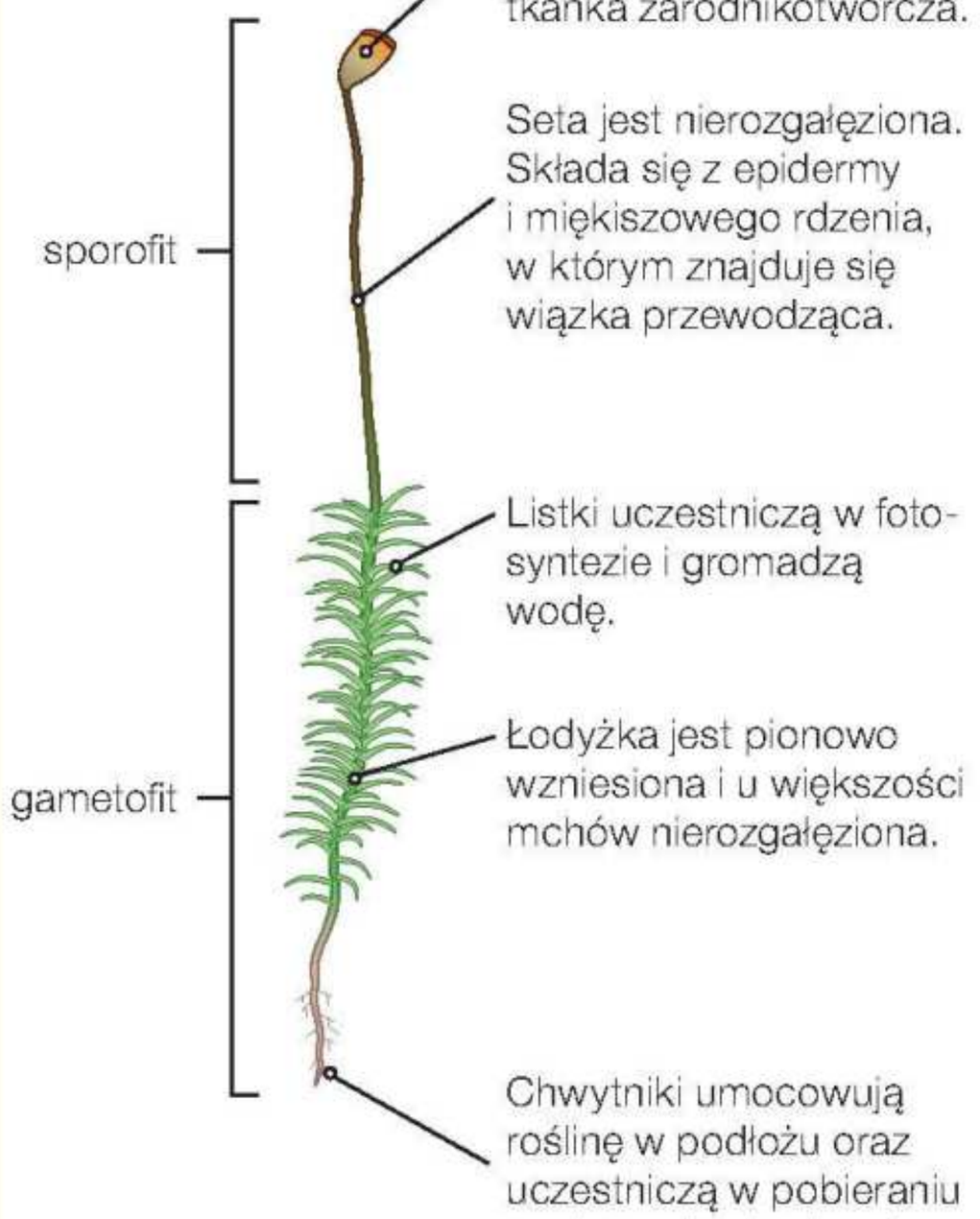
Forma ekologiczna roślin	Główne przystosowania w budowie liści
Hydrofity	• epiderma jednowarstwowa z chloroplastami i cienką kutykulą • aparaty szparkowe wyłącznie w liściach pływających po powierzchni wody • obecność miękiszu powietrznego
Higrofity	• epiderma jednowarstwowa zwykle z chloroplastami i z cienką kutykulą • aparaty szparkowe stale otwarte, umiejscowione w epidermie górnej i dolnej • w liściach obecne hydatody
Mezofity	• epiderma jednowarstwowa, 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

25 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) innych grup roślin.
- W ich cyklu rozwojowym występuje przemiana pokoleń, w której gametofit dominuje nad sporofitem.
- Gametofit jest zieloną, wieloletnią rośliną, natomiast sporofit – pokoleniem krótkotrwałym i uzależnionym od gametofitu (pobiera z niego wodę z substancjami mineralnymi, a u niektórych gatunków również produkty fotosyntezy).
- Do zapłodnienia konieczna jest obecność wody.

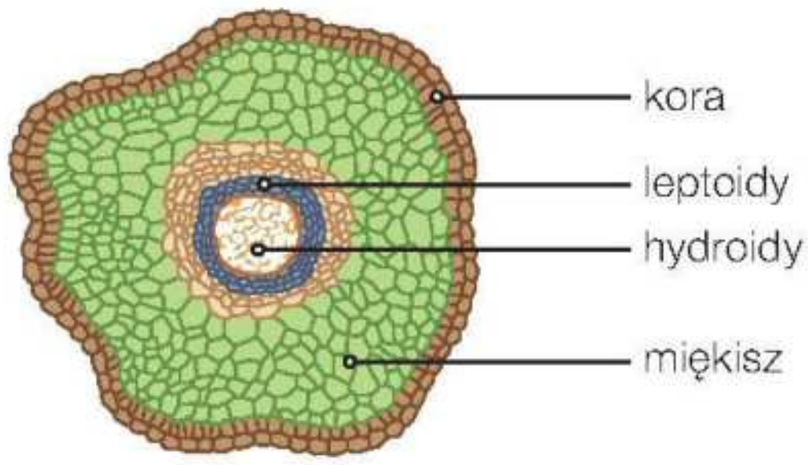
26 Budowa mchów na przykładzie płonnika pospolitego

Budowa morfologiczna gametofitu i sporofitu

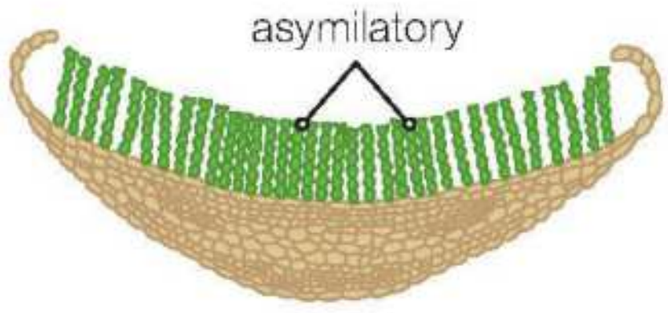


Budowa anatomiczna łodyżki i listka (elementów gametofitu)

- Budowa anatomiczna łodyżki mchu
  Łodyżka jest zbudowana z kory i 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.



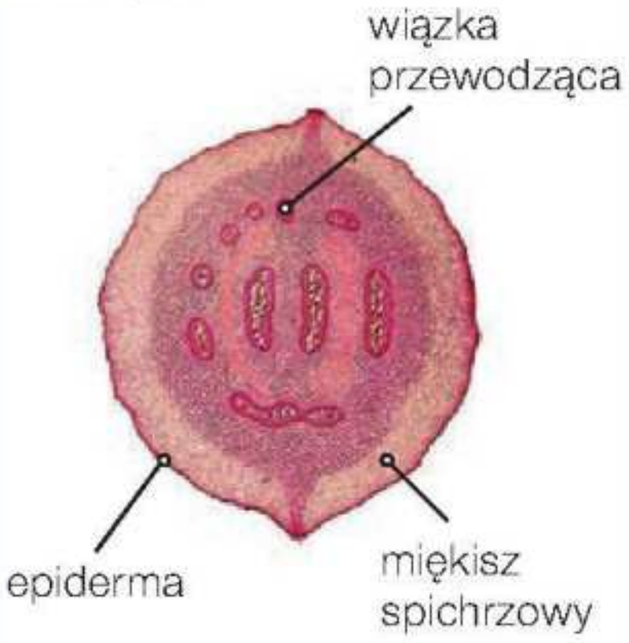
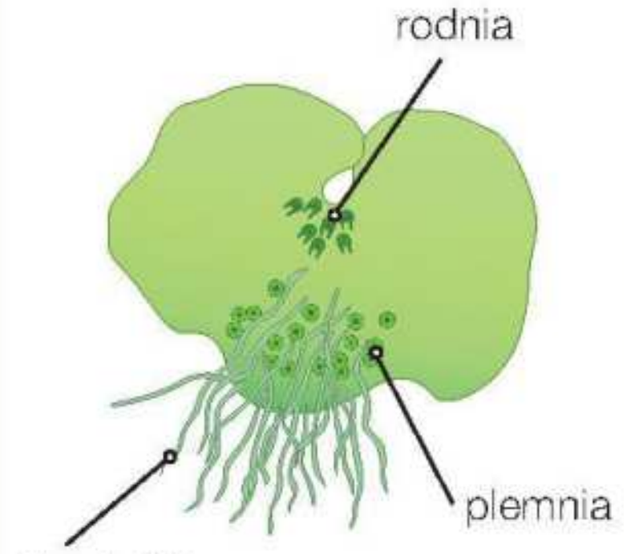
27 Cechy paprotników:

- Należą do roślin zarodnikowych – rozprzestrzeniają się poprzez zarodniki.
- Sporofit paprotników jest zbudowany z organów (korzeni, łodyg i liści), rośliny te należą więc do organowców.
- 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 woda.

28 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.

29 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. 

30 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.	• Jest niepozorny, zwykle bezzieleniowy. • Do rozwoju wymaga obecności grzyba mikoryzowego.

31 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, wieloletni 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 przenoszone są do komórki jajowej za pomocą łagiewki pyłkowej.

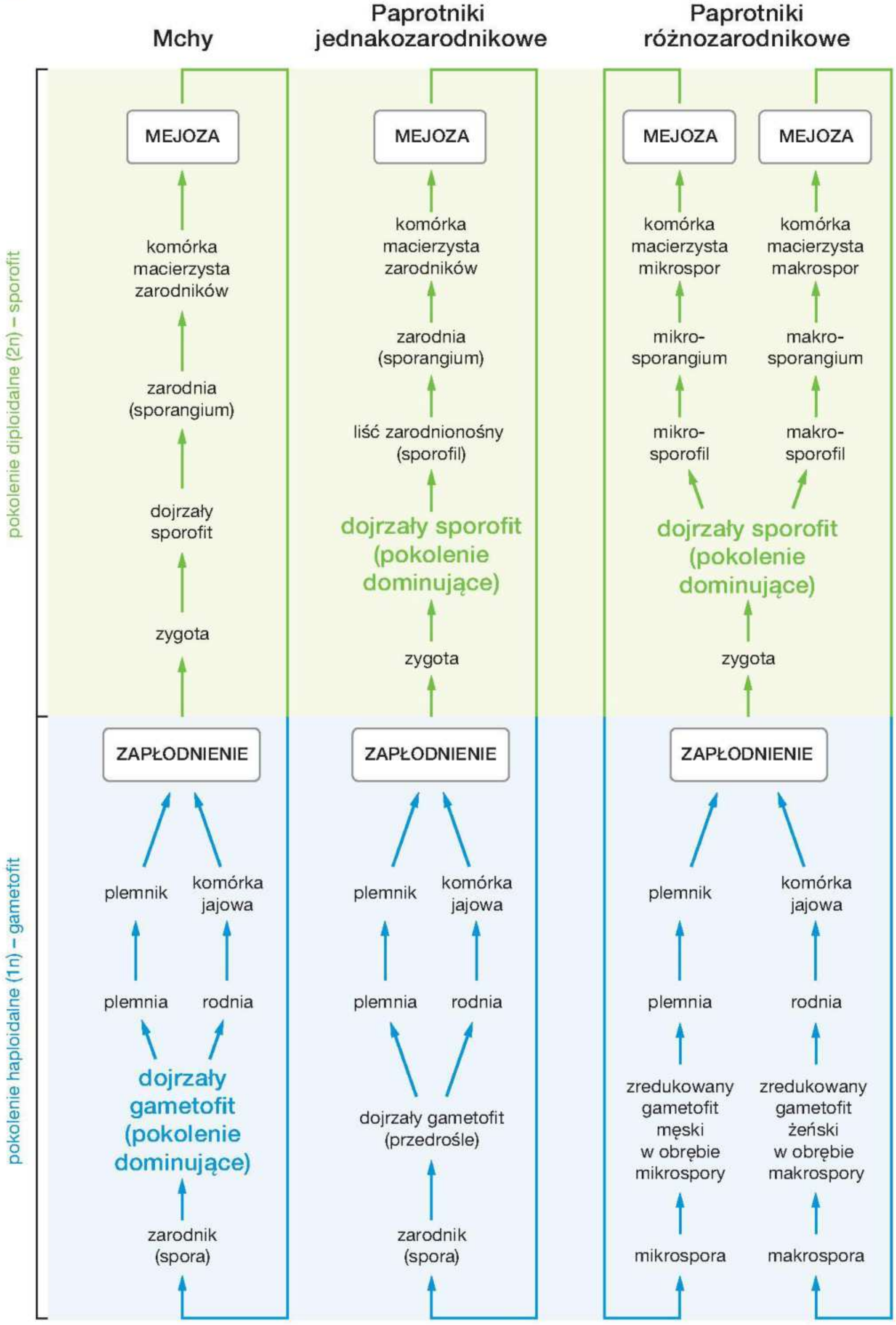
32 Porównanie poszczególnych grup roślin nasiennych

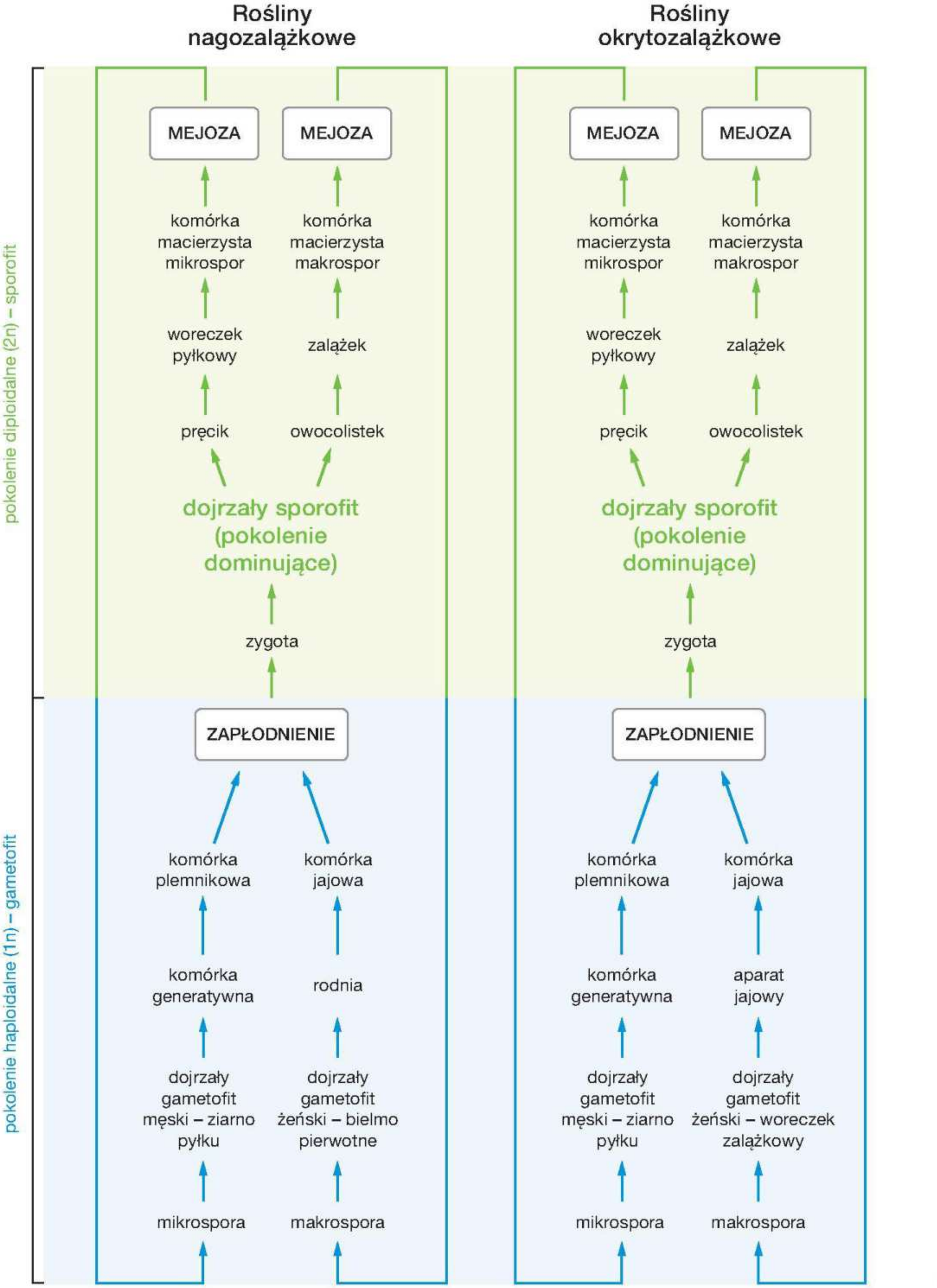
Cecha	Rośliny nagozalążkowe	Rośliny okrytozalążkowe
Sporofit	• Jest pokoleniem dominującym. • Jest zbudowany z organów wegetatywnych – korzeni, łodygi i liści – oraz organów generatywnych – kwiatów. • Zwykle ma postać drzewa, rzadziej krzewu.	• Jest pokoleniem dominującym. • Jest zbudowany z organów 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).

33 Podział nasion roślin okrytozalążkowych ze względu na pochodzenie tkanki spichrzowej:

- Nasiona bielmowe – bielmo (3n), które nie zostało zużyte podczas tworzenia się zarodka.
- Nasiona obielmowe – obielmo (2n), czyli zachowany ośrodek zalążka, który występuje zamiast bielma lub obok niego.
- Nasiona bezbielmowe – liścienie (2n) znajdujące się w obrębie zarodka.

34 Cykle rozwojowe poszczególnych grup roślin




Rośliny nagozalążkowe
Rośliny okrytozalążkowe
pokolenie diploidalne (2n) – sporofit
pokolenie haploidalne (1n) – gametofit
MEJOZA
MEJOZA
MEJOZA
MEJOZA
komórka macierzysta mikrospor
komórka macierzysta makrospor
komórka macierzysta mikrospor
komórka macierzysta makrospor
woreczek pyłkowy
zalążek
woreczek pyłkowy
zalążek
pręcik
owocolistek
pręcik
owocolistek
dojrzały sporofit (pokolenie dominujące)
dojrzały sporofit (pokolenie dominujące)
zygota
zygota
ZAPŁODNIENIE
ZAPŁODNIENIE
komórka plemnikowa
komórka jajowa
komórka plemnikowa
komórka jajowa
komórka generatywna
rodnia
komórka generatywna
aparat jajowy
dojrzały gametofit męski – ziarno pyłku
dojrzały gametofit żeński – bielmo pierwotne
dojrzały gametofit męski – ziarno pyłku
dojrzały gametofit żeński – woreczek zalążkowy
mikrospora
makrospora
mikrospora
makrospora

35 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)

36 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.

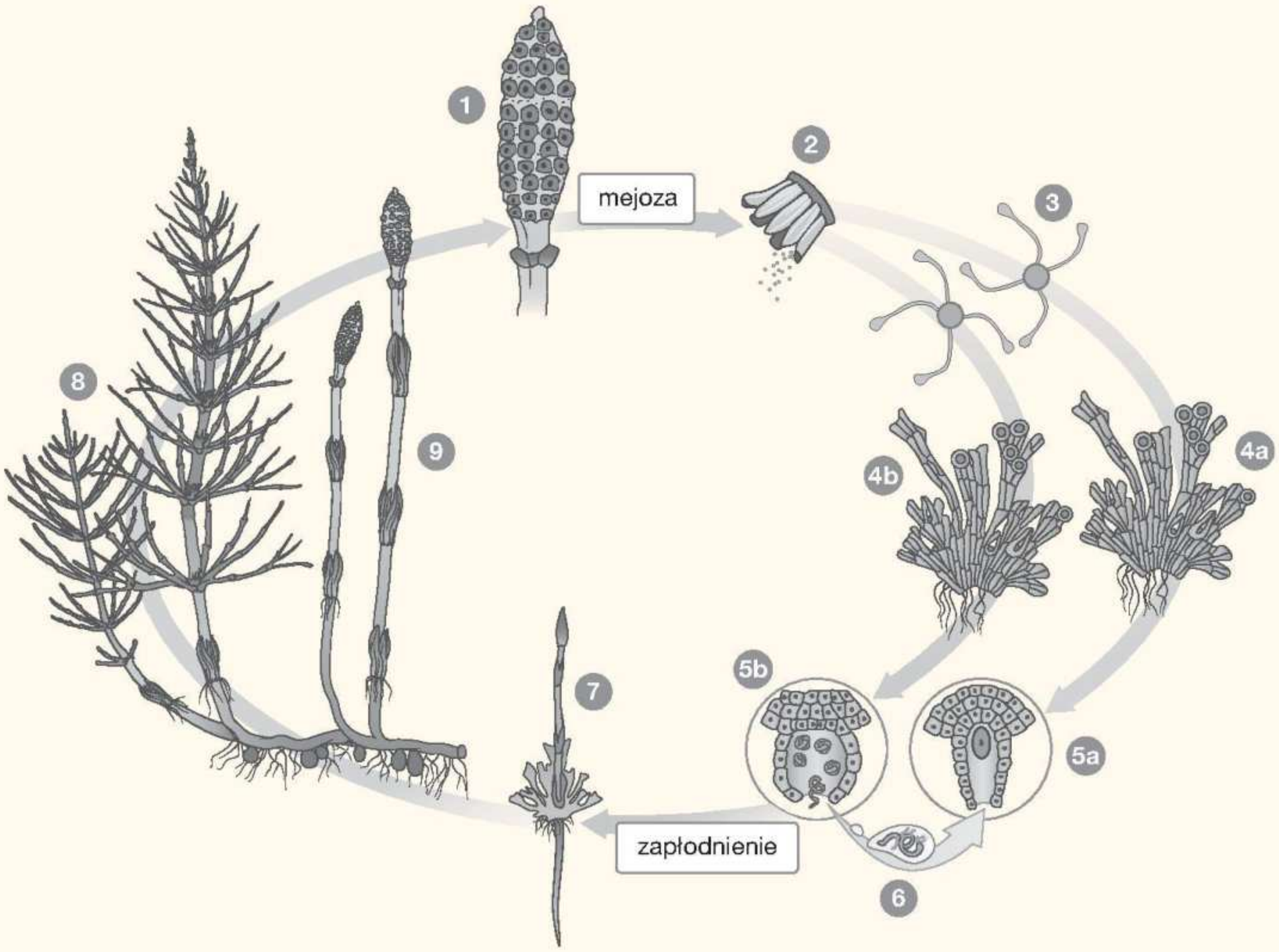
37 Porównanie roślin jednoliściennych i dwuliściennych

Cecha	Rośliny jednoliścienne	Rośliny dwuliścienne
Liczba liścieni w zarodku	• jeden liścień	• dwa liścienie
System korzeniowy	• wiązkowy	• palowy
Budowa liścia	• liście bezogonkowe • blaszka wydłużona, równowąska lub eliptyczna • użyłkowanie równoległe • miękisz asymilacyjny niezróżnicowany na palisadowy i gąbczasty	• liście zwykle ogonkowe • blaszka zróżnicowana pod względem kształtu • użyłkowanie siatkowe • miękisz asymilacyjny zróżnicowany na palisadowy i gąbczasty
Ułożenie i typ wiązek przewodzących na przekroju poprzecznym łodygi o budowie pierwotnej	• wiązki przewodzące rozrzucone na całym przekroju łodygi • wiązki naprzeciwległe zamknięte	• wiązki przewodzące ułożone w pierścień (koncentrycznie) • wiązki naprzeciwległe otwarte
Wtórny przyrost łodygi na grubość	• występuje bardzo rzadko, np. u palm	• występuje powszechnie
Budowa kwiatów	• przeważnie trójdzielne • okwiat niezróżnicowany na kielich i koronę	• przeważnie cztero- lub pięciodzielne • okwiat zróżnicowany na kielich i koronę

Sposób na zadania

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Schemat przedstawia cykl rozwojowy skrzypu polnego.



a) Oceń, czy poniższe informacje dotyczące rozmnażania skrzypu polnego są prawdziwe. Zaznacz P, jeśli informacja jest prawdziwa, albo F – jeśli jest fałszywa.

1.	Gametofity skrzypu polnego są jednopienne.	P	F
2.	Zarodniki skrzypu polnego są zróżnicowane płciowo, ale nie są zróżnicowane morfologicznie.	P	F
3.	Do rozmnażania płciowego skrzypów niezbędna jest woda.	P	F

b) Podaj numery tych etapów cyklu rozwojowego skrzypu polnego (1–9), podczas których wykształcają się pęd wiosenny oraz pęd letni. Określ funkcję każdego z pędów.

c) Wyjaśnij, jaką funkcję pełnią sprężyce w rozsiewaniu się zarodników skrzypu polnego.

Wskazówki

Podpunkt a)

1. Przypomnij sobie wiadomości dotyczące budowy i przebiegu cyklu rozwojowego skrzypu polnego. Informacje na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 146–147.
2. Zastanów się, czym jest gametofit jednopienny. Informacja na ten temat znajduje się w podręczniku na s. 145.
3. Przeanalizuj schemat cyklu rozwojowego skrzypu polnego. Odszukaj na nim gametofit i zastanów się, czy spełnia on kryterium jednopienności. Jeśli nie spełnia – pomyśl, jak można określić ten gametofit. Zaznacz odpowiednią literę w tabeli.
4. Przeanalizuj schemat cyklu rozwojowego skrzypu polnego zamieszczony we wstępie do zadania lub schemat, który znajduje się w podręczniku na s. 147.
5. Odszukaj na schemacie zarodniki i zastanów się, czy informacja zawarta w drugim zdaniu jest prawdziwa. Zaznacz odpowiednią literę w tabeli.
6. Odszukaj na schemacie etap zapłodnienia. Oceń poprawność informacji zawartej w trzecim zdaniu. Zaznacz odpowiednią literę w tabeli.

Podpunkt b)

1. Przypomnij sobie wiadomości dotyczące budowy skrzypu polnego. Zwróć szczególną uwagę na rodzaje pędów. Informację na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 146.
2. Zastanów się, jakie są różnice między pędem wiosennym a pędem letnim skrzypu polnego. Czy oba rodzaje pędów mają takie cechy budowy morfologicznej, które pozwalają na ich rozpoznanie?
3. Odszukaj na schemacie oba pędy skrzypu polnego.
4. Wpisz odpowiednie numery obu pędów oraz określ ich funkcje.

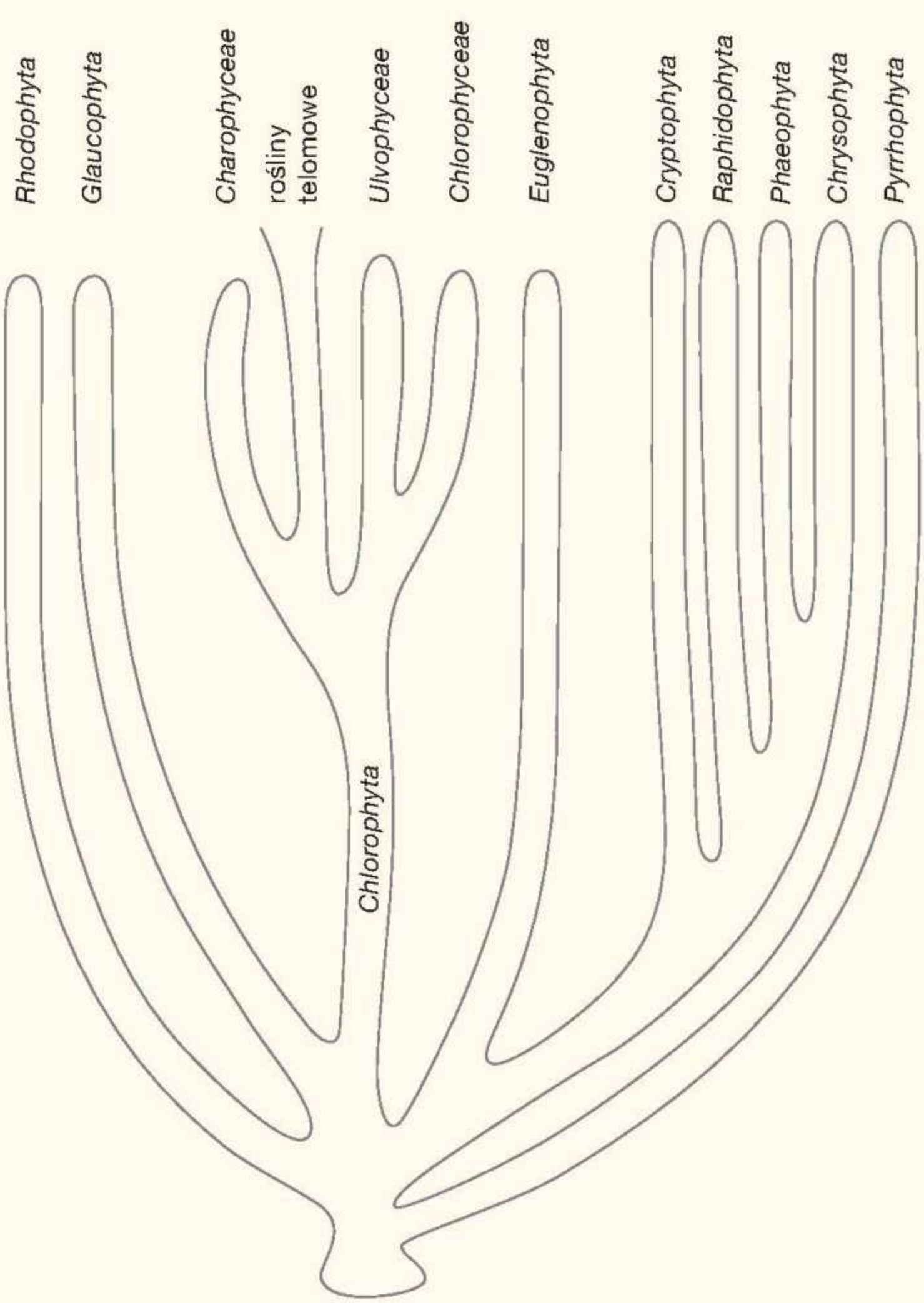
Podpunkt c)

1. Przypomnij sobie wiadomości dotyczące budowy zarodników skrzypu polnego. Zwróć szczególną uwagę na opis ich budowy morfologicznej, który znajduje się w podręczniku na s. 147.
2. Zastanów się, jaką funkcję mogą pełnić sprężyce – zewnętrzne struktury znajdujące się na zarodnikach.
3. Sformułuj odpowiedź.

Zadania powtórzeniowe

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Poniżej przedstawiono prawdopodobny przebieg filogenezy u prymitywnych wodnych organizmów eukariotycznych oraz pokrewieństwo tych organizmów z roślinami lądowymi (telomowymi). Wzajemne stosunki oparto na podobieństwie budowy komórek obu grup organizmów, w szczególności na rodzaju barwników fotosyntetycznych, liczbie błon otaczających chloroplasty oraz porównaniu sekwencji kwasów nukleinowych jądrowych i chloroplastowych.

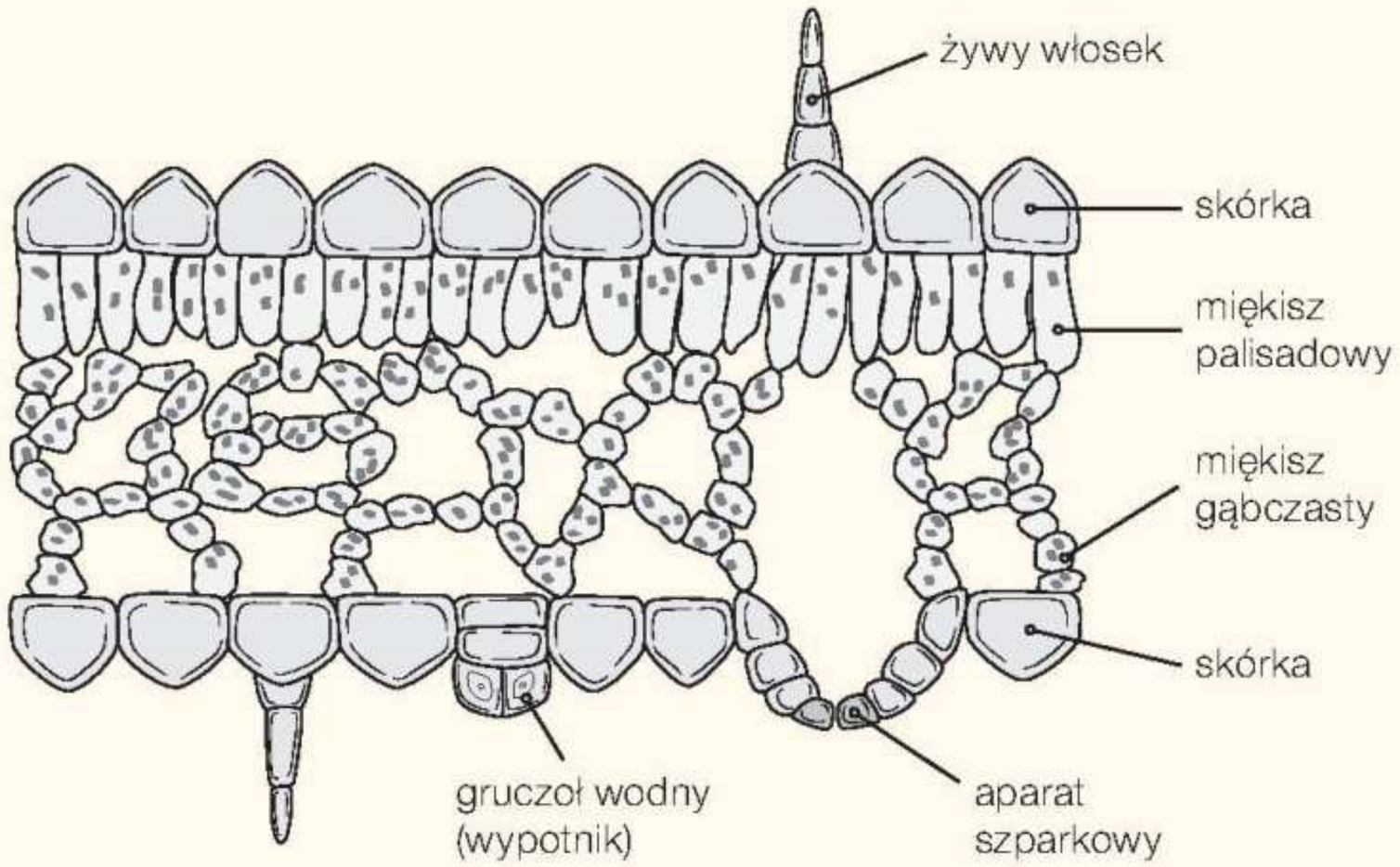


Źródło: A. Szweykowska, J. Szweykowski, *Botanika. Systematyka*, Warszawa 2009, s. 159.

a) Określ na podstawie drzewa filogenetycznego, która grupa organizmów jest najbliżej spokrewniona z roślinami lądowymi. Podaj dwie cechy budowy komórek, które upodabniają te organizmy do roślin lądowych.

b) Podaj liczbę błon otaczających chloroplasty roślin lądowych.

2 Schemat przedstawia przekrój poprzeczny przez liść *Ruellia portellae*.

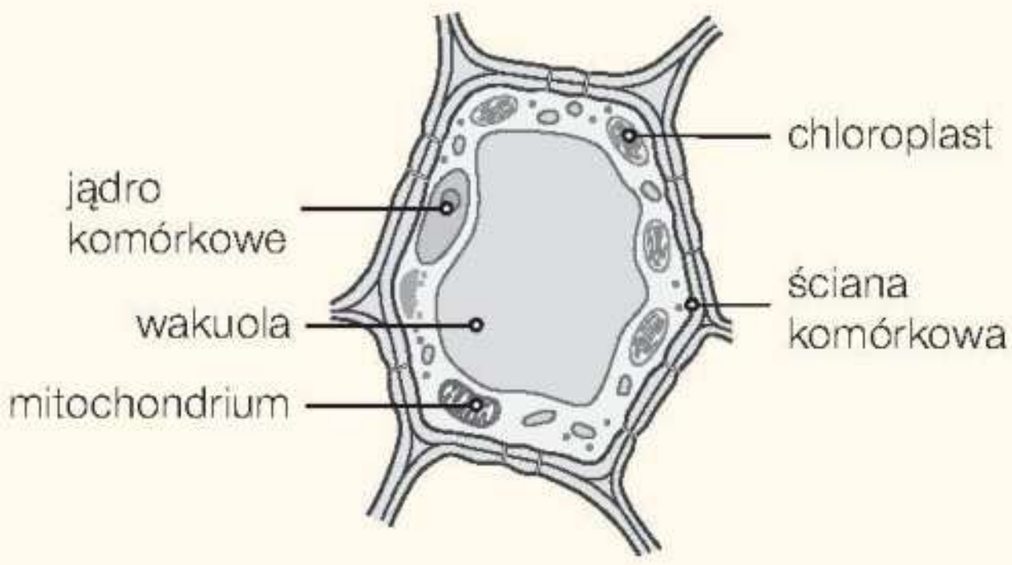


a) Określ, do jakiej grupy roślin – higrofitów czy kserofitów – należy *Ruellia portellae*. Uzasadnij odpowiedź, uwzględniając dwie przedstawione na schemacie cechy budowy liścia tej rośliny.

b) Uporządkuj stanowisko systematyczne *Ruellia portellae*. Uzupełnij tabelę numerami od 2 do 5, zaczynając od najwyższej rangi, czyli królestwa, a kończąc na najniższym taksonie.

Rząd: jasnotowce (Lamiales)	
Rodzaj: *Ruellia*	
Królestwo: rośliny (Plantae)	1
Gromada: okrytonasienne (Angiospermae)	
Rodzina: akantowate (Acanthaceae)	

3 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 oraz ich budowę.

4 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, natomiast na dnie drugiej kolby – suchy krążek bibuły. Po dwóch godzinach uczniowie sprawdzili wygląd torfowców oraz zważyli je. 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.

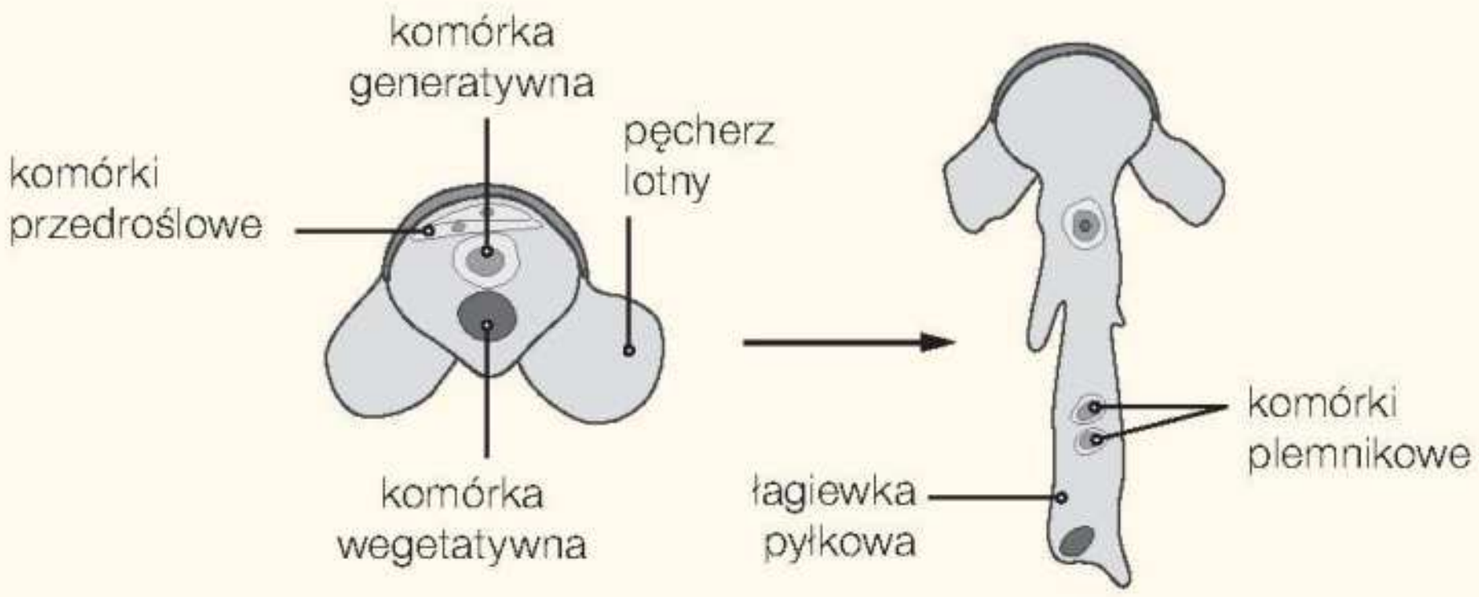
a) Sformułuj problem badawczy opisanego doświadczenia.

b) Określ, który zestaw doświadczalny stanowił próbę badawczą. Odpowiedź uzasadnij.

c) Oceń, czy poniższe informacje dotyczące torfowców są prawdziwe. Zaznacz P, jeśli informacja jest prawdziwa, albo F – jeśli jest fałszywa.

1.	Torfowce charakteryzują się zdolnością nieograniczonego wzrostu.	P	F
2.	Ploidalność pokolenia dominującego u torfowców wynosi 2n.	P	F
3.	Torfowce chłoną wodę dzięki martwym komórkom budującym ich łodyżki i listki.	P	F

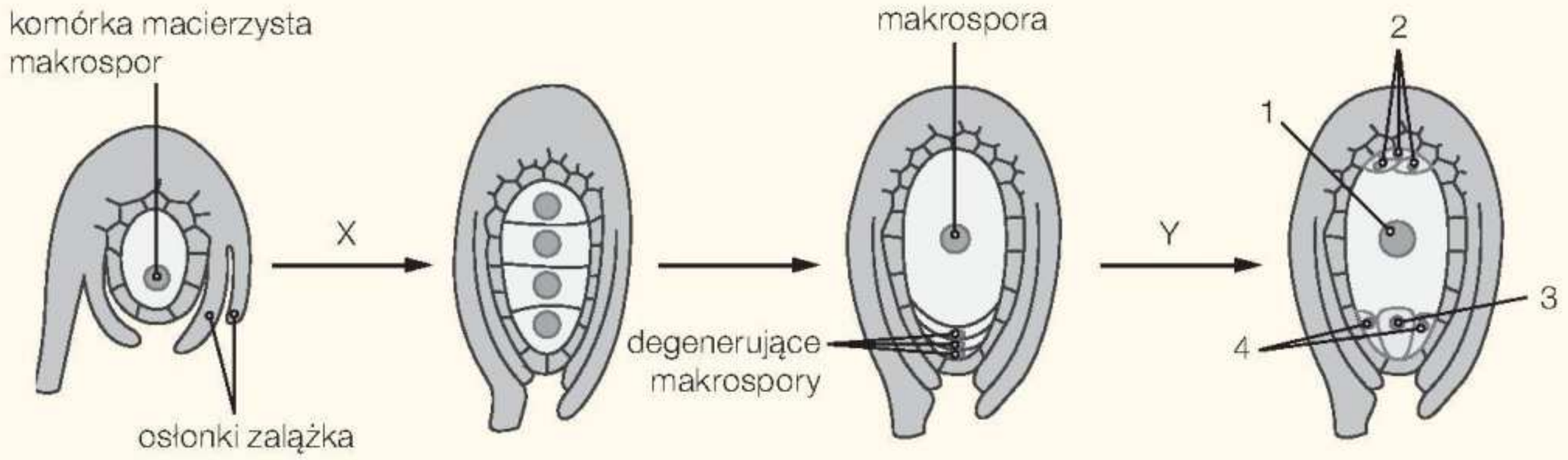
5 Schemat przedstawia budowę i rozwój ziarna pyłku sosny zwyczajnej.



a) Określ, czy przedstawione ziarno pyłku jest przenoszone przez zwierzęta czy przez wiatr. Uzasadnij odpowiedź, odwołując się do cechy jego budowy.

b) Wykaż związek między rozwojem ziarna pyłku u roślin nagozalążkowych a uniezależnieniem ich rozmnażania od udziału wody.

6 Schemat przedstawia rozwój makrospory i gametofitu żeńskiego u roślin okrytozalążkowych.

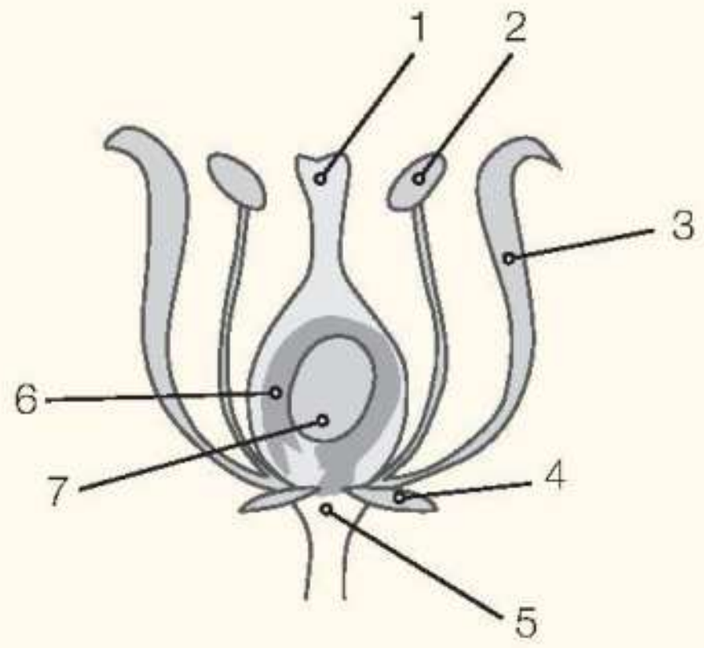


a) Podaj nazwy procesów, które oznaczono na schemacie literami X i Y. Wskaż proces, który jest źródłem zmienności genetycznej u osobników w obrębie gatunku.

b) Podaj numery (1–4) oraz nazwy komórek, które uczestniczą w podwójnym zapłodnieniu.

c) Określ, w jaką część nasienia przekształcają się osłonki zalążka po podwójnym zapłodnieniu.

7 Na schemacie przedstawiono budowę kwiatu.

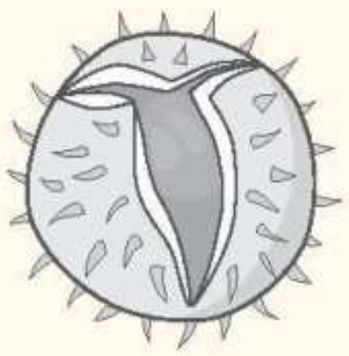


a) Podaj nazwy oraz numery zaznaczonych na schemacie części generatywnych kwiatu.

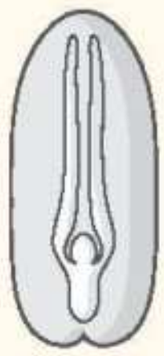
b) Określ, czy jest to kwiat charakterystyczny dla rośliny jedno- czy dwuliściennej. Odpowiedź uzasadnij.

8 Schematy przedstawiają owoc (A) i nasienie (B) rącznika pospolitego.

A.



B.



a) Zaznacz sposób rozprzestrzeniania się owoców rącznika pospolitego. Uzasadnij swój wybór, uwzględniając informacje przedstawione na schemacie.

A. Samosiewność.

B. Zwierzęcosiewność.

C. Wiatrosiewność.

D. Wodosiewność.

Uzasadnienie:

?

?

?

b) Określ, które z podanych w tabeli cech są charakterystyczne dla grupy roślin wytwarzających nasiona podobne do nasion rącznika pospolitego. Zaznacz T, jeśli dana cecha jest charakterystyczna, lub N – jeśli nie jest.

1.	Korzeń palowy.	T	N
2.	Okwiat niezróżnicowany na kielich i koronę.	T	N
3.	Siatkowe użyłkowanie liścia.	T	N

c) Podaj funkcję bielma w nasionach rącznika pospolitego.

4. Funkcjonowanie roślin

4.1. Gospodarka wodna roślin
4.2. Gospodarka mineralna roślin
4.3. Odżywianie się roślin. Fotosynteza
4.4. Czynniki wpływające na intensywność fotosyntezy
4.5. Transport asymilatów w roślinie
4.6. Hormony roślinne
4.7. Wzrost i rozwój roślin. Kiełkowanie nasion
4.8. Rozwój wegetatywny i generatywny roślin
4.9. Spoczynek i starzenie się roślin
4.10. Ruchy roślin

Fot. Mikrofotografia naczyń – elementów przewodzących drewna.

4.1. Gospodarka wodna roślin

Zwróć uwagę na:
- mechanizmy pobierania oraz transportu wody u roślin,
- wpływ czynników zewnętrznych na bilans wodny roślin.

Woda jest jednym z podstawowych składników każdej żywej komórki. Organizmy pobierają część potrzebnej im wody ze środowiska, a pozostałą część wytwarzają podczas różnych przemian metabolicznych, m.in. oddychania tlenowego.

Rośliny pierwotnie wodne chłoną wodę całą powierzchnią ciała w ilości odpowiadającej aktualnemu zapotrzebowaniu. Natomiast większość roślin lądowych wykształciła korzenie – organy wegetatywne przystosowane do pobierania wody z roztworu glebowego. Woda wchłaniana przez korzenie jest następnie transportowana do pozostałych organów rośliny za pośrednictwem wyspecjalizowanej tkanki przewodzącej – drewna. Roślina wykorzystuje część pobranej wody, a resztę usuwa do środowiska. Usuwanie wody zachodzi głównie przez liście na drodze transpiracji lub – rzadziej – gutacji. W pierwszym przypadku woda jest usuwana w stanie gazowym (jako para wodna), a w drugim – w stanie ciekłym.

Funkcje wody w roślinach

Zawartość wody w tkankach i organach roślinnych zależy m.in. od rodzaju tkanki lub organu, etapu rozwojowego rośliny i pory roku. Najmniejszą zawartością wody charakteryzują się nasiona (5–15%), a największą soczyste owoce (85–95%).

Woda pełni w roślinach wiele funkcji, m.in.:
- jest doskonałym rozpuszczalnikiem substancji hydrofilowych – dzięki temu jest też środowiskiem wielu reakcji biochemicznych,
- bierze udział w niektórych reakcjach biochemicznych, np. w fotosyntezie jest substratem fotolizy,
- odpowiada za utrzymanie turgoru komórek i tkanek,
- umożliwia szybki wzrost wydłużeniowy komórek,
- bierze udział w transporcie substancji mineralnych i organicznych w obrębie rośliny,
- chroni tkanki przed przegrzaniem w wyniku nadmiernego nasłonecznienia.

Transport wody w roślinie

Transport wody w roślinie zachodzi w trzech etapach:
- pierwszym etapem jest pobieranie wody z roztworu glebowego i jej poziomy transport w poprzek tkanek korzenia,
- drugim etapem jest pionowy transport wody z korzeni poprzez łodygę do liści, który zachodzi w elementach przewodzących drewna – cewkach lub naczyniach,
- trzecim etapem jest poziomy transport wody przez tkanki liścia zakończony transpiracją lub – rzadziej – gutacją.

Podczas przepływu wzdłuż rośliny woda przedostaje się do okolicznych tkanek, w których jest w różny sposób wykorzystywana.

Etap 1. Pobieranie wody i jej poziomy transport w poprzek tkanek korzenia

Organem roślinnym przystosowanym do pobierania wody z roztworu glebowego jest korzeń. Proces ten zachodzi najintensywniej w **strefie włośnikowej** korzenia, a w znacznie mniejszym stopniu – w strefie wydłużania i strefie podziałów komórkowych. Z ryzodermy – zewnętrznej tkanki korzenia – woda dostaje się do **kory pierwotnej**, a następnie – przez śródskórnię – do **walca osiowego**. Tam przechodzi do martwych elementów przewodzących drewna – cewek lub naczyń. Przepływ wody od komórek ryzodermy do elementów przewodzących walca osiowego zachodzi na

małą odległość i jest uwarunkowany procesami **dyfuzji** oraz **osmozy**. Wyróżnia się trzy sposoby transportu wody:

- **transport apoplastyczny**, który odbywa się wzdłuż ścian komórkowych w przestrzeniach między włóknami celulozy oraz w przestrzeniach międzykomórkowych,
- **transport symplastyczny**, który zachodzi przez protoplasty sąsiadujących komórek; woda przekracza błonę komórkową tylko raz, a dalej jest przenoszona za pomocą plazmodesm,
- **transport transmembranowy**, który odbywa się przez protoplasty sąsiadujących komórek; woda przekracza błonę komórkową (membranę) wielokrotnie – za każdym razem, gdy przechodzi z komórki do komórki.

W transportach symplastycznym oraz transmembranowym woda może przenikać przez błonę komórkową na drodze dyfuzji prostej (osmozy) lub przez kanały wodne – akwaporyny.

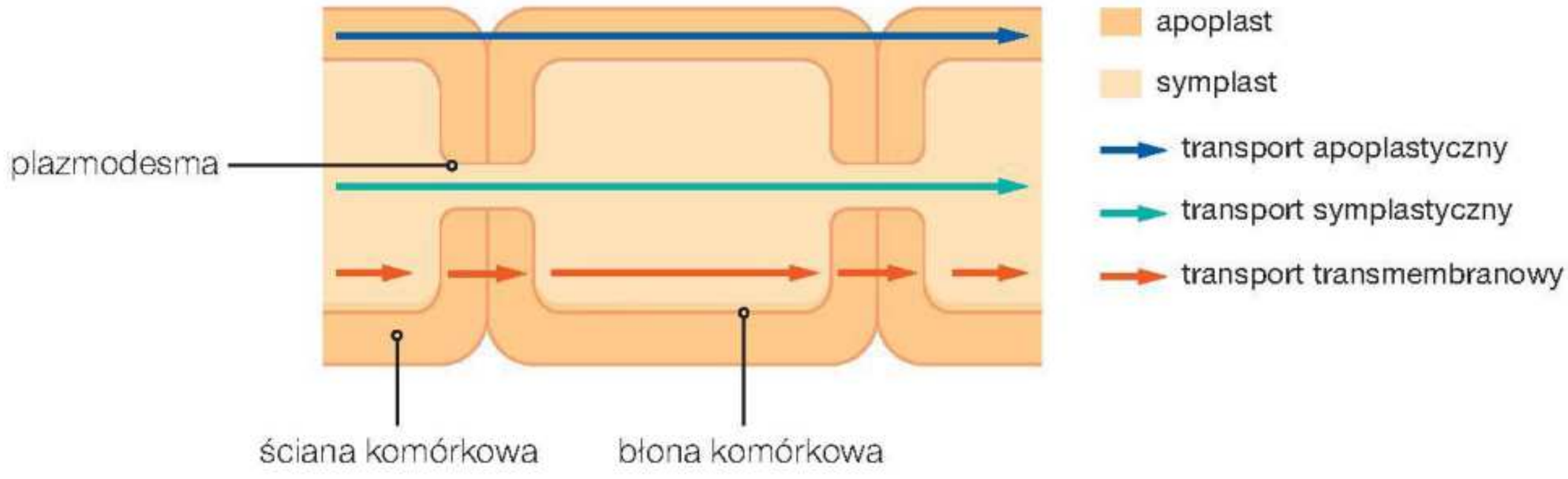
Etap 2. Pionowy transport wody w elementach przewodzących drewna

Woda przemieszcza się z korzeni do liści przez martwe elementy przewodzące drewna, zlokalizowane w wiązkach przewodzących łodygi. Transport ten jest transportem pionowym, który zachodzi wbrew sile grawitacji. Odbywa się on na dużą odległość – w przypadku niektórych roślin drzewiastych nawet na wysokość ponad 100 m. Martwe elementy przewodzące drewna – **naczynia** i **cewki** – są elementami **apoplastu**, określanymi jako **superapoplast**. Przepływ wody przez superapoplast jest uwarunkowany silnym ujemnym ładunkiem elektrycznym ligniny, który umożliwia dobrą adhezję wody do ściany komórkowej, oraz różnicą ciśnień na przeciwległych krańcach tkanki przewodzącej. Przepływ taki nosi nazwę **przepływu masowego** (ciśnieniowego).

Etap 3. Poziomy transport wody przez tkanki liścia

Kiedy woda dopłynie do liści, opuszcza wiązki przewodzące zlokalizowane w żyłkach liściowych i przemieszcza się **miękiszem asymilacyjnym** do powierzchni epidermy. Tam zachodzi **transpiracja**, czyli wyparowywanie wody do atmosfery. Transpiracja odbywa się głównie za pośrednictwem **aparatów szparkowych**, choć u niektórych roślin, zwłaszcza u hydrofitów i higrofitów, proces ten może zachodzić bezpośrednio przez **kutykulę**. W pewnych warunkach, m.in. przy dużej wilgotności powietrza, część wody jest usuwana do otoczenia na drodze gutacji przez hydatody.

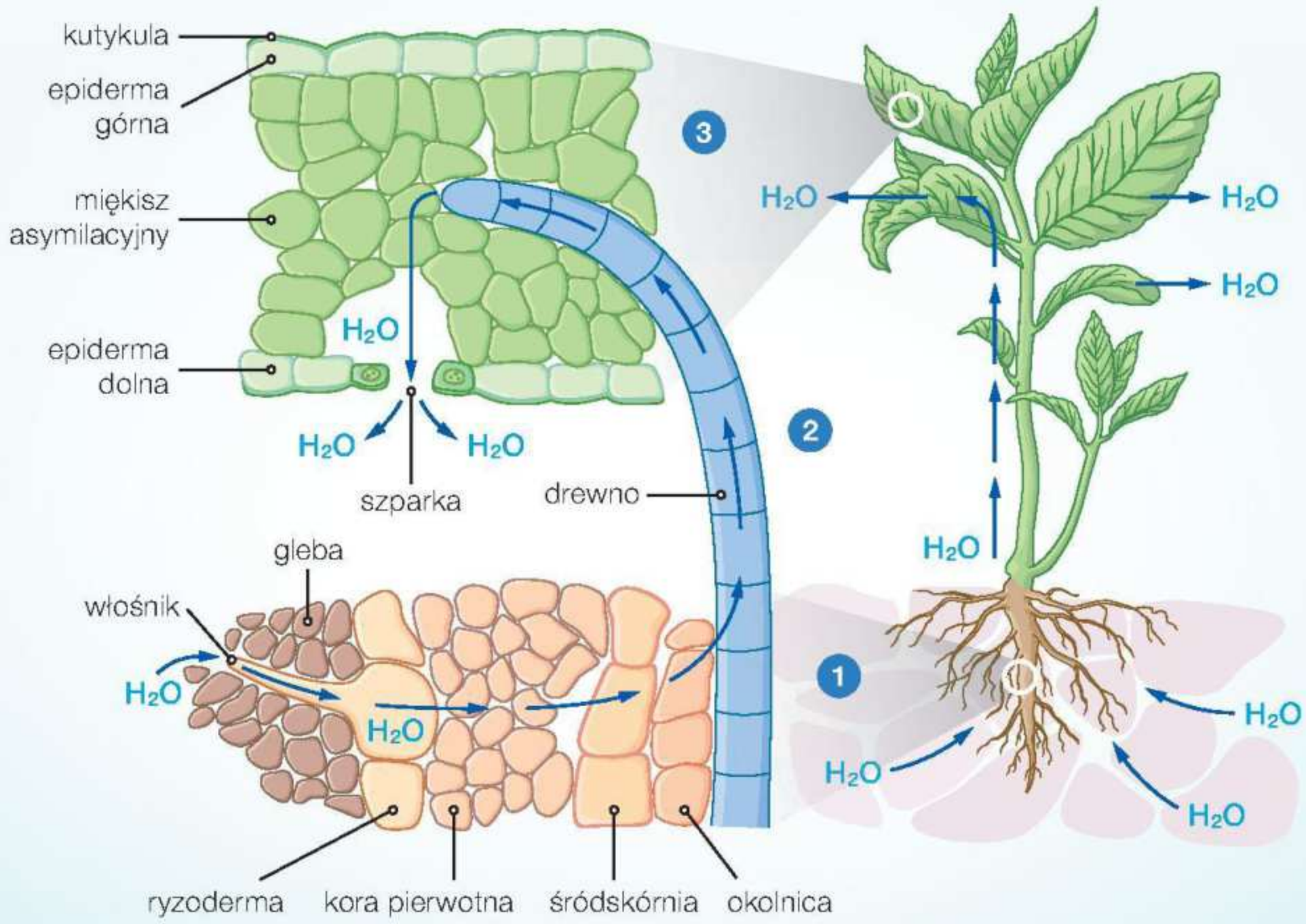
Transport wody w obrębie tkanek liścia jest transportem poziomym, zachodzącym na małą odległość. Podobnie jak w korzeniu ma on postać **transportu apoplastycznego, symplastycznego** lub **transmembranowego** i jest uwarunkowany procesami **dyfuzji** oraz **osmozy**.



Transport wody na małe odległości odbywa się apoplastem lub symplastem. Apoplast to system ścian komórkowych i przestworów międzykomórkowych. Natomiast symplast to system protoplastów komórek, połączonych ze sobą za pomocą plazmodesm.

Transport wody w roślinie

Transport wody w roślinie odbywa się od korzeni poprzez łodygę do liści. Tylko ok. 10% pobranej wody trafia do komórek rośliny, gdzie uczestniczy w ich funkcjonowaniu. Reszta jest usuwana przez liście w procesie transpiracji lub – rzadziej – gutacji.

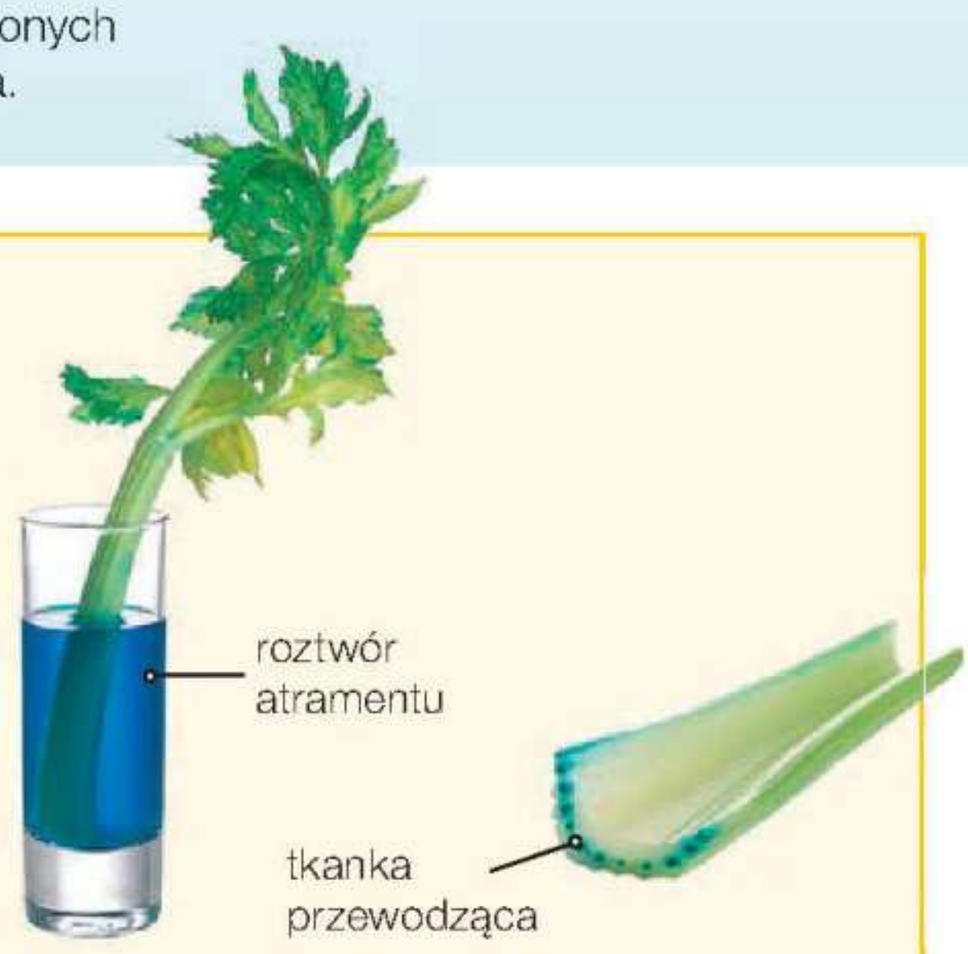


1. Pobieranie wody zachodzi najintensywniej w strefie włośnikowej korzenia. Z ryzodermy woda dostaje się do kory pierwotnej, a następnie – przez śródskórnię – do walca osiowego. Tam przechodzi do drewna.
2. Woda przepływa z korzeni do liści wiązkami przewodzącymi łodygi.
3. Woda opuszcza drewno i przemieszcza się komórkami miękiszu asymilacyjnego do przestworów międzykomórkowych położonych w sąsiedztwie aparatów szparkowych. Zachodzi transpiracja.

Obserwacja

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.



Potencjał wody w roślinie

Ruch wody w roślinie odbywa się dzięki różnicy potencjałów wody roztworu glebowego, roztworu w tkankach rośliny i atmosfery.

Potencjał wody – Ψ_W (psi) – wyrażany zazwyczaj w megapaskalach (MPa), jest miarą zdolności komórki do pobierania lub oddawania wody na drodze osmozy. Zależy on od **potencjału osmotycznego** roztworu – Ψ_S – oraz od **potencjału ciśnienia turgorowego** – Ψ_P. Zależność tę wyraża równanie:

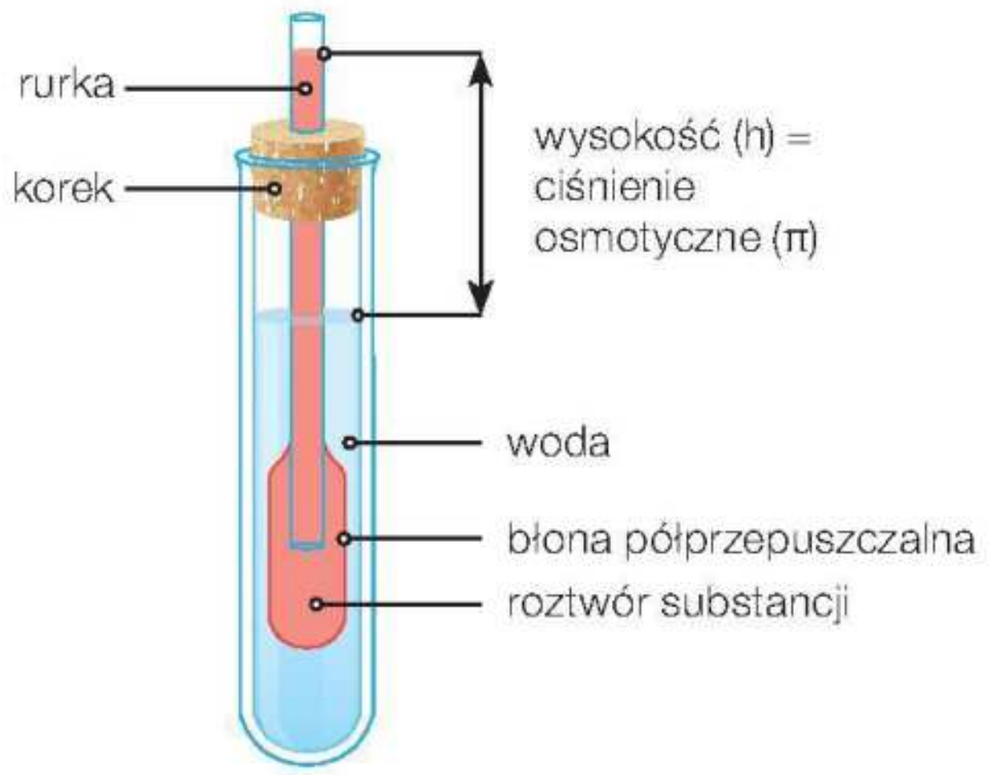
$\Psi_W = \Psi_S + \Psi_P$, gdzie

Ψ_W – potencjał wody,
Ψ_S – potencjał osmotyczny,
Ψ_P – potencjał ciśnienia turgorowego.

Potencjał osmotyczny

Osmoza polega na przenikaniu wody przez błonę półprzepuszczalną. Czysta woda przepływa do roztworów substancji w sposób ciągły, ale w miarę upływu czasu tempo osmozy maleje, ponieważ roztwór ulega rozcieńczeniu. W przypadku dwóch roztworów o różnym stężeniu woda przepływa z roztworu mniej stężonego – hipotonicznego – do bardziej stężonego – hipertonicznego.

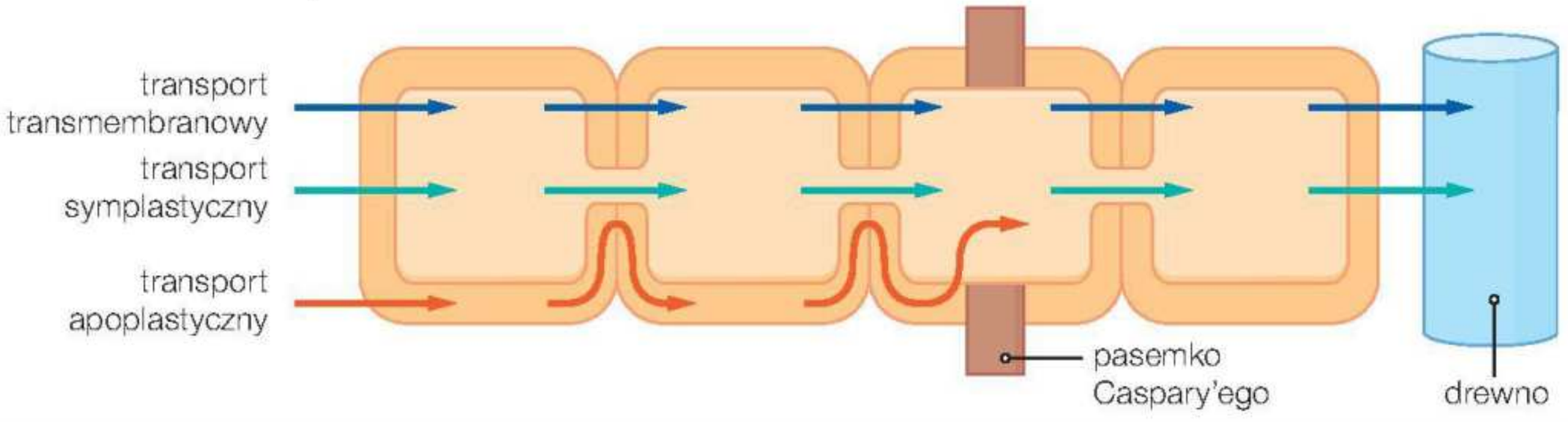
Jeśli roztwór znajduje się w zamkniętym naczyniu o stałej objętości, to proces samorzutnego przepływu wody przez błonę półprzepuszczalną powoduje w roztworze wzrost ciśnienia, zwanego **ciśnieniem osmotycznym** (π). Ciśnienie osmotyczne ma zawsze wartość dodatnią i rośnie wraz ze wzrostem stężenia roztworu. Jego miarą może być wysokość, do jakiej podniesie się roztwór w rurce osmometru, czyli urządzenia stosowanego do pomiaru ciśnienia osmotycznego.



Osmometr. Wysokość (h), do jakiej podniesie się roztwór substancji ponad poziom wody, jest równa ciśnieniu osmotycznemu.

Przewodzenie wody w tkankach korzenia

W korzeniu woda przemieszcza się od ryzodermy do granicy śródskórni głównie za pośrednictwem transportu apoplastycznego. W śródskórni przepływ apoplastyczny zostaje zablokowany, ponieważ komórki tej tkanki zawierają w poprzecznych ścianach komórkowych pasemka Caspary'ego [wym. kaspariego] zbudowane z ligniny i suberyny. Pasemka te tworzą nieprzepuszczalną barierę, która zapobiega cofaniu się wody z drewna do kory pierwotnej. Dlatego woda płynąca apoplastem wnika do protoplastów komórek śródskórni i dalej jest transportowana transportem symplastycznym lub transmembranowym.



Komórka umieszczona w czystej wodzie lub roztworze hipotonicznym zachowuje się podobnie jak osmometr. W miarę napływu wody ciśnienie osmotyczne w jej wnętrzu zwiększa się.

Zdolność cząsteczek wody do dyfuzji przez błonę półprzepuszczalną nosi nazwę **potencjału osmotycznego**. Potencjał ten 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. Ciśnienie to nosi nazwę **ciśnienia turgorowego** (P). Efektem turgoru jest stan jędrności tkanek roślinnych.

Wpływ napięć ściany komórkowej na potencjał wody jest określany jako **potencjał turgorowy**, zwany również **potencjałem ciśnienia turgorowego**. Przyjmuje on wartości dodatnie, wartości ujemne lub wartość równą zeru.

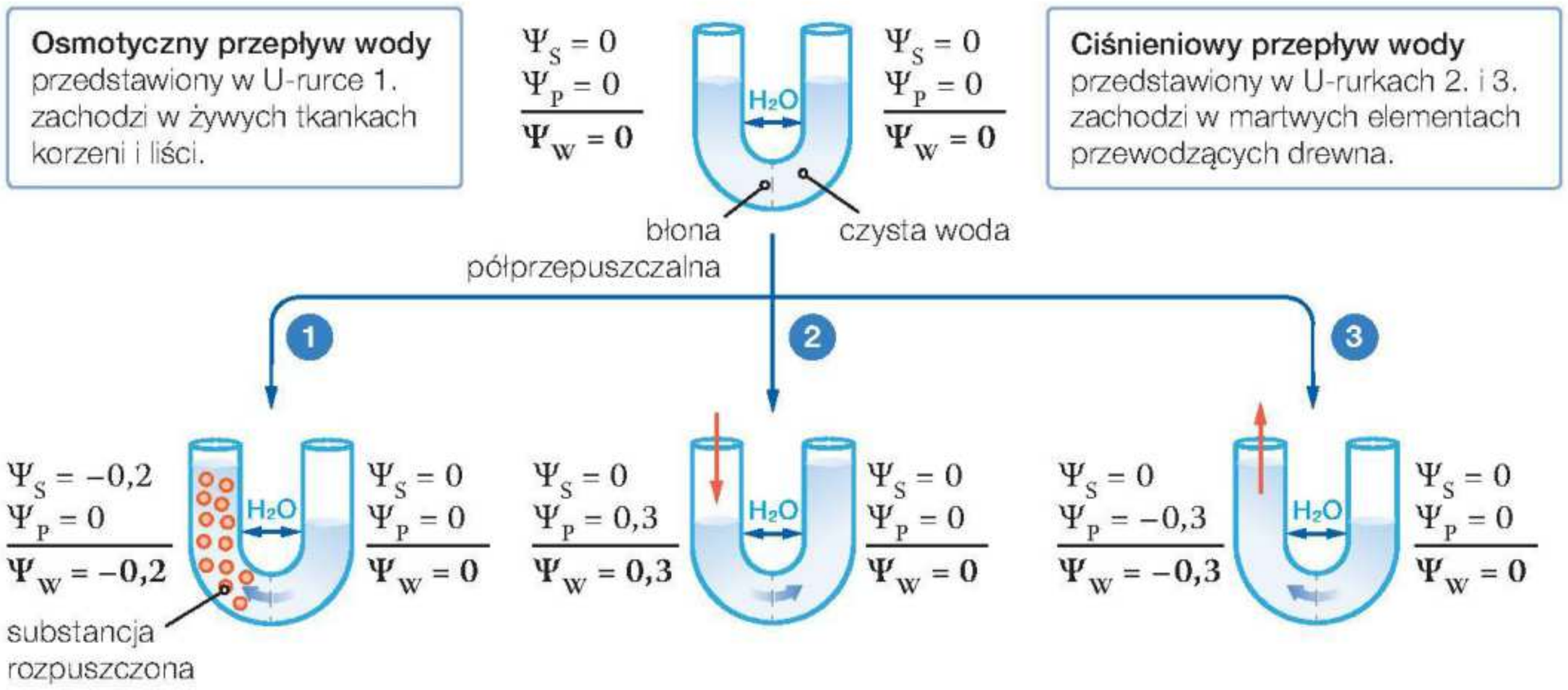
- Potencjał turgorowy przyjmuje wartości dodatnie w komórkach nasyconych wodą (znajdujących się w stanie jędrności) oraz w elementach przewodzących drewna przy braku transpiracji (parcie korzeniowe).
- Potencjał turgorowy wynosi zero w komórkach splazmolizowanych, których protoplasty odstają od ściany komórkowej na skutek osmotycznego wypływu wody z komórek do otoczenia.
- Potencjał turgorowy przyjmuje wartości ujemne w elementach przewodzących drewna rośliny transpirującej (siła ssąca).

Wpływ substancji rozpuszczonej i ciśnienia na potencjał wody

Na potencjał wody, a w konsekwencji na kierunek przepływu wody przez błonę półprzepuszczalną mają wpływ zarówno substancje rozpuszczone – osmotycznie czynne – jak i ciśnienie. Przyjmuje się, że potencjał wody dla czystej wody pod ciśnieniem atmosferycznym w temperaturze 25°C wynosi 0.

Osmotyczny przepływ wody przedstawiony w U-rurce 1. zachodzi w żywych tkankach korzeni i liści.

Ciśnieniowy przepływ wody przedstawiony w U-rurkach 2. i 3. zachodzi w martwych elementach przewodzących drewna.



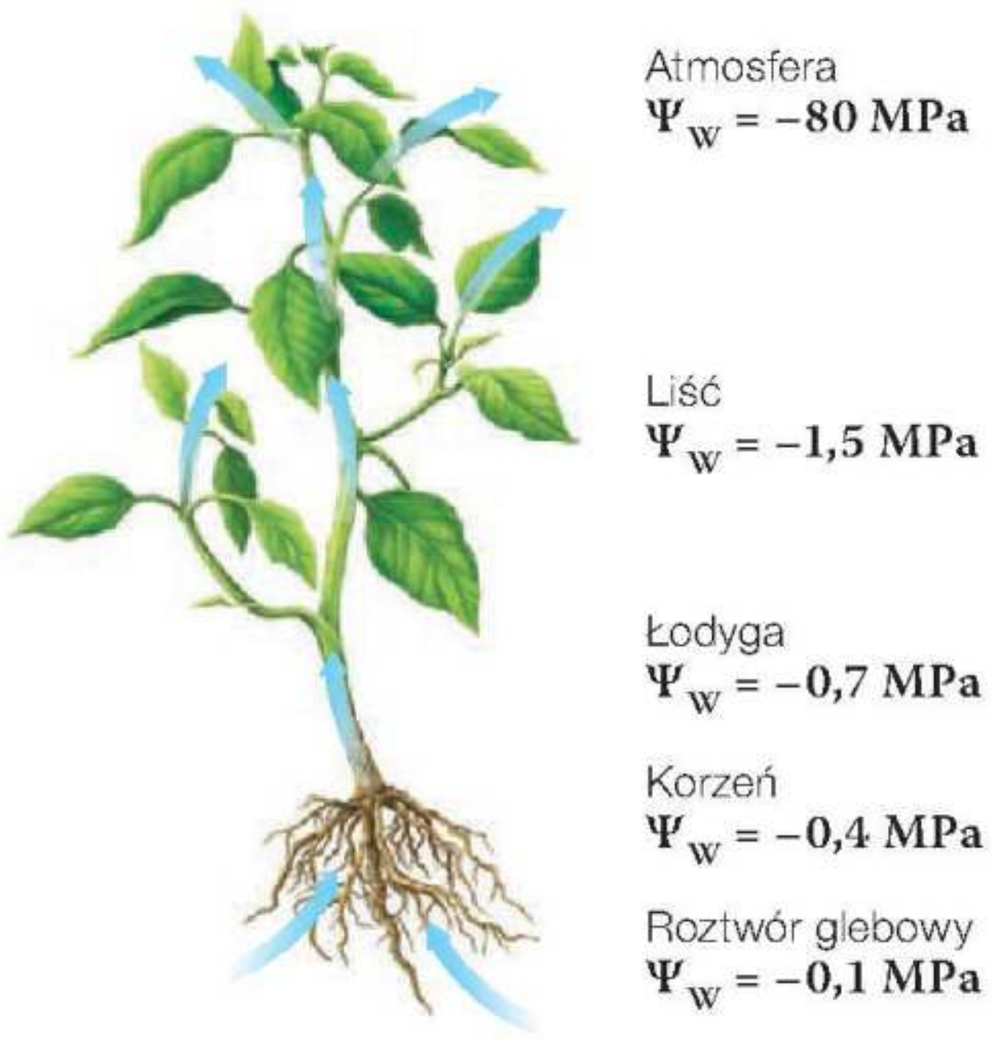
Rozpuszczenie w wodzie substancji osmotycznie czynnej obniża potencjał osmotyczny i potencjał wody w lewej części U-rurki. W rezultacie woda przepływa z prawej do lewej części U-rurki.

Zwiększenie ciśnienia w lewej części U-rurki, np. poprzez wciśnięcie gumowego tłoka, podwyższa potencjał wody. W rezultacie woda przepływa z lewej do prawej części U-rurki.

Zmniejszenie ciśnienia w lewej części U-rurki, np. poprzez wyciąganie gumowego tłoka, obniża potencjał wody. W rezultacie woda przepływa z prawej do lewej części U-rurki.

Przepływ wody w roślinie

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 – 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.



Potencjał wody przyjmuje najwyższe wartości w glebie, mniejsze w tkankach rośliny, a najmniejsze w atmosferze. Dzięki temu woda wnika z gleby do korzeni, przepływa przez łodygę i liście, a następnie wyparowuje do atmosfery.

Przepływ wody w elementach przewodzących drewna

Przepływ wody w naczyniach lub cewkach odbywa się dzięki sile ssącej lub dzięki parciu korzeniowemu.

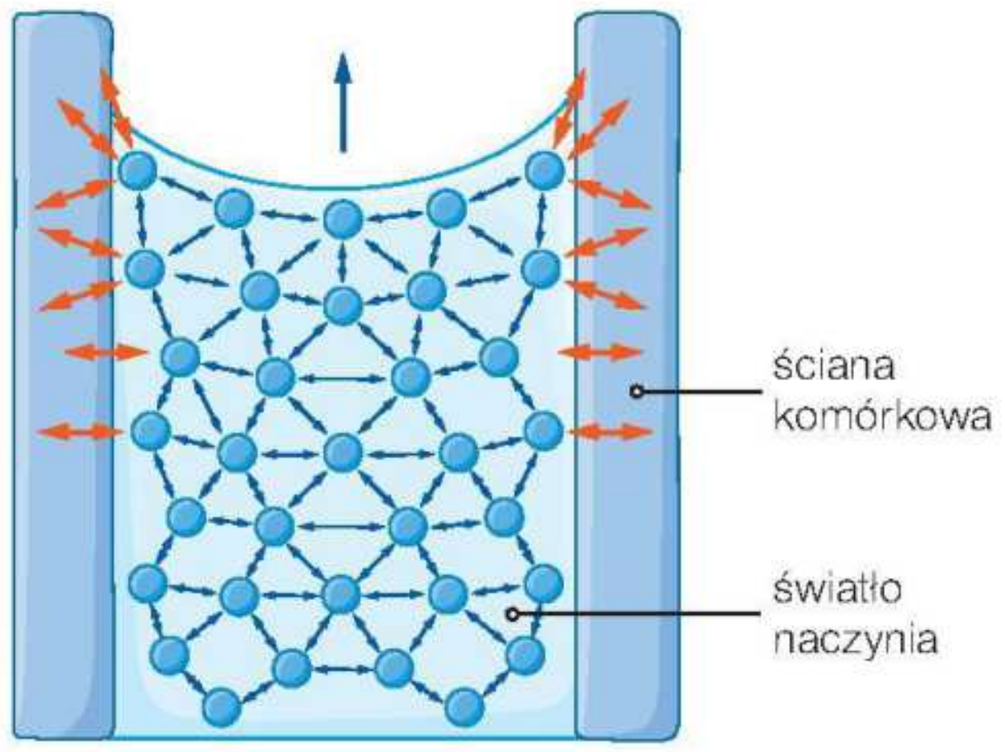
Siła ssąca

Siła ssąca to mechanizm, który wykorzystuje transpirację do podciągania wody w elementach przewodzących drewna wbrew sile grawitacji. Energia do tego procesu pochodzi ze Słońca, które ogrzewa blaszki liściowe i umożliwia w ten sposób ciągłe wyparowywanie wody z liści do atmosfery. **Dla rośliny jest to zatem mechanizm bierny, który nie wymaga wydatkowania energii metabolicznej.**

Parowanie wody z powierzchni rośliny wytwarza **ujemne ciśnienie hydrostatyczne** w słupie wody wypełniającej elementy przewodzące drewna (patrz: U-rurka 3., s. 206). Oznacza to, że słup wody zostaje rozciągnięty wskutek wydłużania i naprężania się wiązań wodorowych łączących cząsteczki wody. Ujemne ciśnienie hydrostatyczne obniża potencjał wody wewnątrz cewek lub naczyń i działa jak pompa ssąca – zasysa wodę z tkanek korzenia i z gleby. Dzięki temu umożliwia stały przepływ wody przez roślinę.

Warunkiem transportu wody w elementach przewodzących jest istnienie nieprzerwanego słupa wody. Utrzymywanie go jest możliwe dzięki:

- **kohezji**, czyli sile wzajemnego przyciągania się cząsteczek wody,
- **adhezji**, czyli sile przylegania cząsteczek wody do ścian cewek lub naczyń.



Siły kohezji i adhezji w elementach przewodzących drewna.

W warunkach fizjologicznych szybkość przewodzenia wody w roślinie jest taka sama jak szybkość transpiracji. Najszybszym przepływem wody cechują się drzewa liściaste.

Parcie korzeniowe

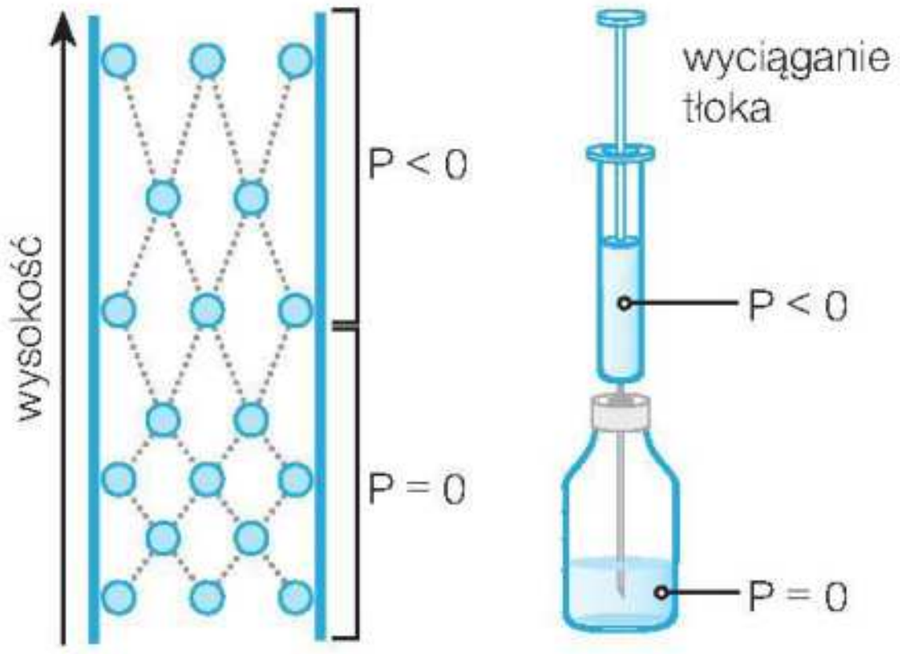
W przypadku braku lub ograniczenia transpiracji znaczenia nabiera **mechanizm czynny** pobierania wody. **Wymaga on dopływu energii metabolicznej uzyskiwanej w procesie oddychania komórkowego.** Dlatego jest blokowany m.in. niską temperaturą, niedoborem tlenu w podłożu oraz obecnością inhibitorów oddychania tlenowego.

Parcie korzeniowe polega na **aktywnym 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 (patrz: U-rurka 1., s. 206), a następnie jej tłoczenie w górę rośliny. Napływ wody jest przyczyną wytworzenia w elementach przewodzących drewna **dodatniego ciśnienia hydrostatycznego**, tzw. parcia korzeniowego, które działa jak pompa tłocząca wodę w górę (patrz: U-rurka 2., s. 206). Przejawem parcia korzeniowego jest **gutacja**, zachodząca przez hydatody, oraz tzw. **wiosenny płacz roślin**. Wiosenny płacz roślin polega na wypływaniu wodnistego płynu z pni drzew naciętych wczesną wiosną, kiedy nie działa jeszcze siła ssąca transpirujących liści.

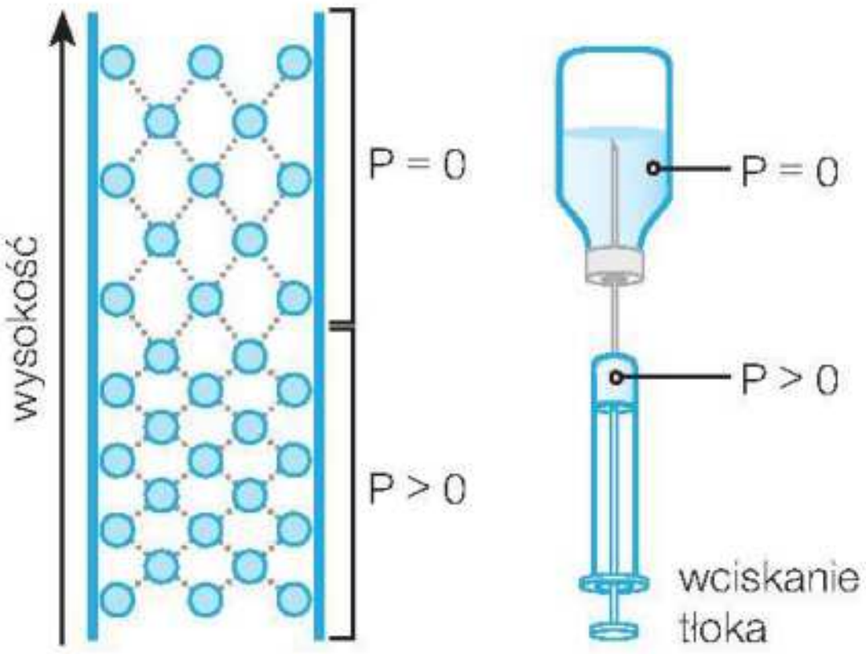
Gutacja zachodzi wtedy, gdy transpiracja jest niewielka, a zawartość wody w glebie duża. Często występuje w nocy, gdy aparaty szparkowe są zamknięte, a woda stale osmotycznie napływa do komórek korzeni.

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 z żywych komórek walca osiowego 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 natężenia światła na intensywność transpiracji

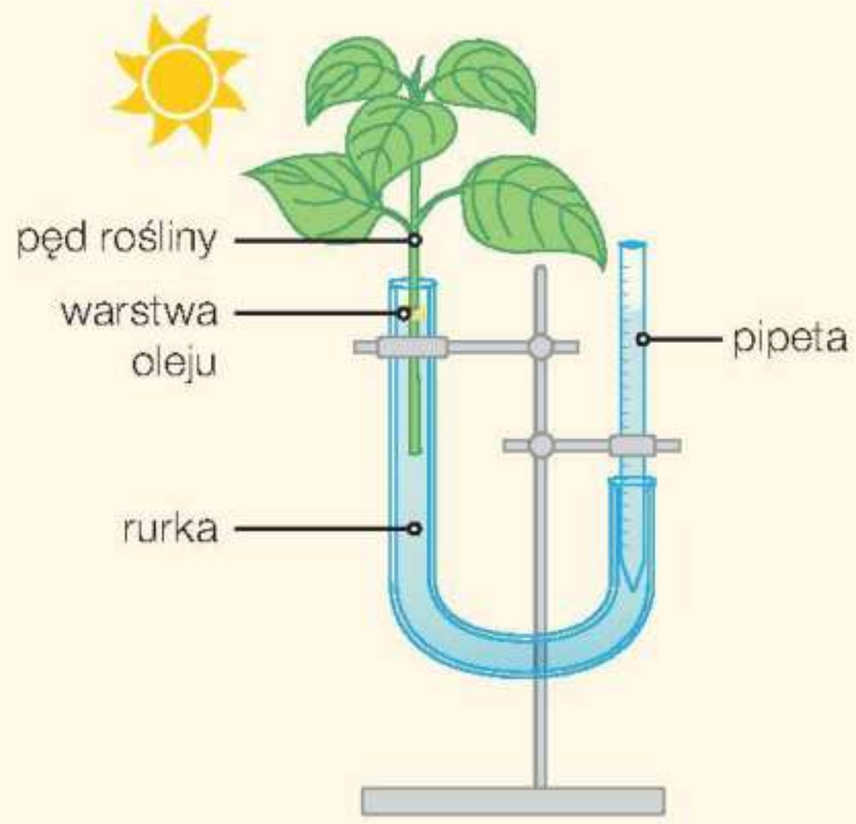
- **Problem badawczy:** Wpływ natężenia światła na intensywność transpiracji.
- **Hipoteza:** Transpiracja zachodzi intensywniej przy większym natężeniu światła.
- **Przebieg doświadczenia:**

Próba badawcza: Pęd rośliny z łodygą zanurzoną w rurce z wodą wodociągową, połączonej z pipetą miarową, umieszczony w miejscu oświetlonym.

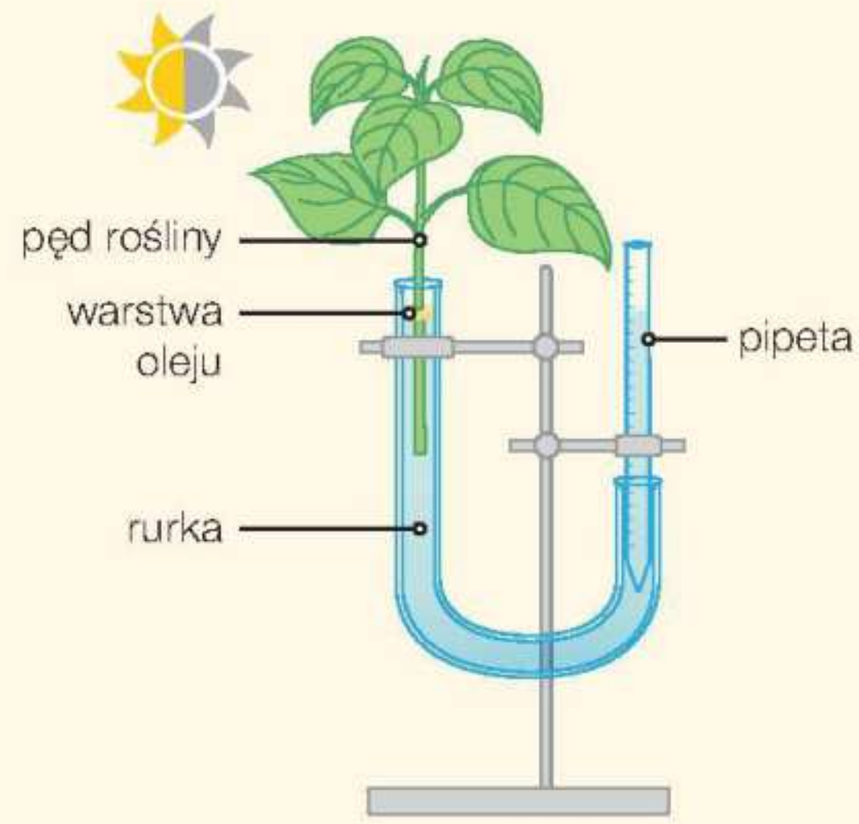
Próba kontrolna: Pęd rośliny z łodygą zanurzoną w rurce z wodą wodociągową, połączonej z pipetą miarową, umieszczony w miejscu zacienionym.

Przygotuj dwa pędy pelargonii z jednakową liczbą liści o podobnych rozmiarach. W dwóch statywach umocuj gumowe rurki wypełnione wodą wodociągową, zgodnie z przedstawionym rysunkiem. W wyżej położonych ramionach rurek umieść pędy roślin tak, by w wodzie były zanurzone jedynie dolne części łodyg. Na powierzchnię wody dookoła łodyg nanieś kilka kropli oleju roślinnego. W niżej położonych ramionach rurek umieść pipety miarowe. Następnie jeden ze statywów postaw w miejscu zacienionym, a drugi – w miejscu intensywnie oświetlonym.

Próba badawcza



Próba kontrolna



- **Wynik doświadczenia:** Zaobserwuj zmiany zachodzące w pipetach miarowych.
- **Wniosek:** Sformułuj wniosek.

- **Wyjaśnienie:** Światło powoduje zwiększenie intensywności transpiracji w dwojaki sposób: ogrzewa blaszki liściowe, dostarczając ciepła parowania, oraz powoduje wzrost intensywności fotosyntezy, wzmagając tym samym zapotrzebowanie roślin na dwutlenek węgla i wodę. To prowadzi do otwarcia aparatów szparkowych i zwiększenia wydajności transpiracji.

  Zastosowanie w doświadczeniu pędów z taką samą liczbą liści o podobnych rozmiarach wyklucza wpływ różnej powierzchni parowania na wynik doświadczenia. Natomiast naniesienie warstwy oleju zapobiega parowaniu wody z jej powierzchni w słoju, co mogłoby mieć wpływ na wynik doświadczenia.

Doświadczenie

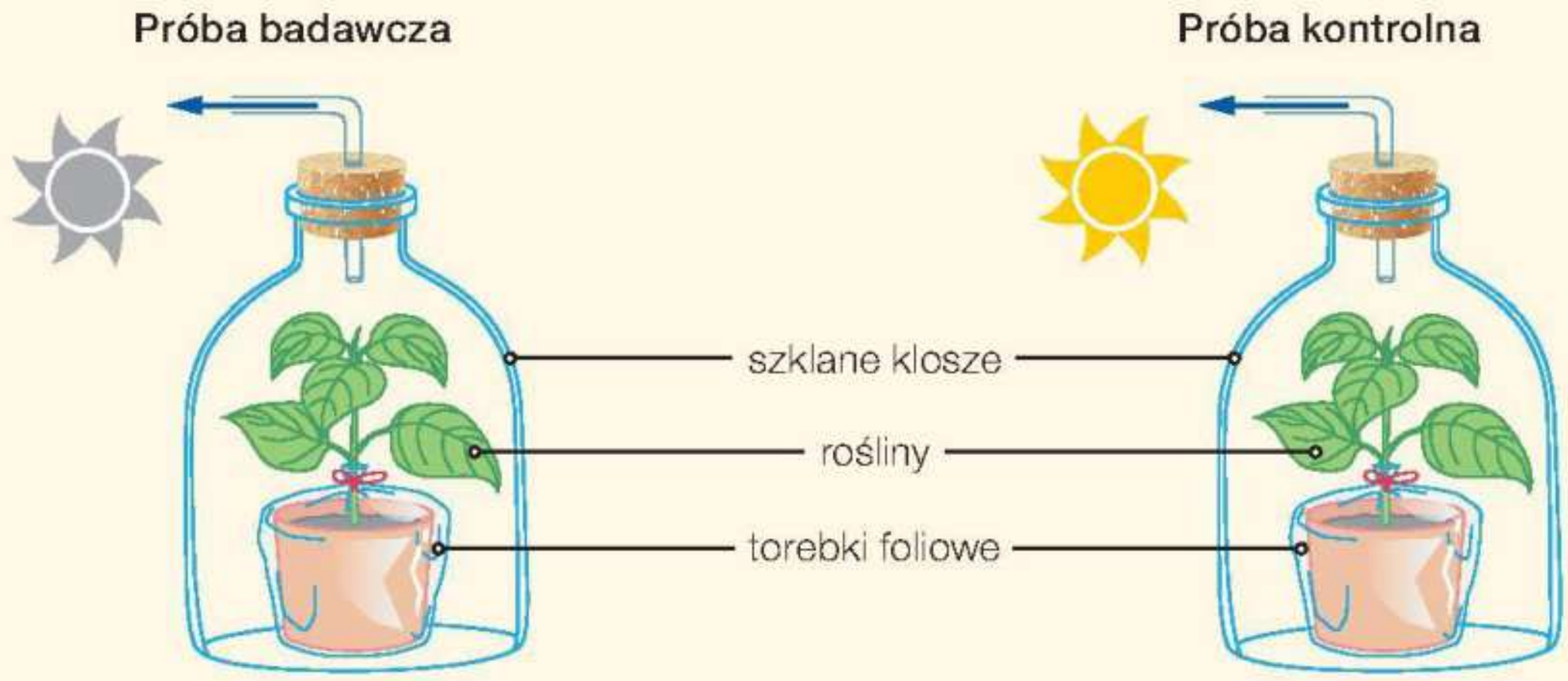
Badanie wpływu ograniczenia transpiracji na wystąpienie gutacji

- **Problem badawczy:** Czy ograniczenie transpiracji powoduje usuwanie wody z liści na drodze gutacji?
- **Hipoteza:** Ograniczenie transpiracji powoduje usuwanie wody z liści na drodze gutacji.
- **Przebieg doświadczenia:**

  Próba badawcza: Doniczka z podlaną nasturcją, przykryta szklanym kloszem połączonym z aspiratorem, umieszczona w ciemnym miejscu.

  Próba kontrolna: Doniczka z podlaną nasturcją, przykryta szklanym kloszem połączonym z aspiratorem, umieszczona w oświetlonym miejscu.

  Przygotuj dwie doniczki z nasturcjami. Rośliny mocno podlej, a następnie wstaw doniczki do plastikowych worków i szczelnie zawiąż worki dookoła dolnej części łodyg. Obie nasturcje przykryj szklanymi kloszami. Jeden klosz z doniczką wstaw do ciemnego pomieszczenia, a drugi postaw w silnie oświetlonym miejscu. Szczelnie zatkaj oba klosze korkami z otworami. Do otworów włóż gumowe lub szklane rurki i zainstaluj aspiratory – pompki do odsysania powietrza. Pozostaw obie rośliny na ok. 20 minut.



- **Wynik doświadczenia:** Zaobserwuj zmiany zachodzące w roślinach.
- **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). Woreczki plastikowe oraz aspiratory zastosowano, by wykluczyć wpływ wilgotności powietrza pod kloszem na wyniki doświadczenia.

Obserwacja

Obserwacja płaczu roślin

Przygotuj doniczkę z podlanym niecierpkiem. Roślinę zetnij ok. 2 cm nad ziemią, poniżej dolnych liści. Zaobserwuj wypływanie wody z miejsca przecięcia.

Regulacja ilości wody w roślinie

Najważniejszą rolę w regulacji ilości wody w roślinie odgrywa transpiracja, czyli utrata wody przez parowanie z nadziemnych części rośliny. Wpływa ona na pobieranie i transport wody, umożliwia wymianę gazową, a także chroni roślinę przed przegrzaniem. Wyróżnia się trzy rodzaje transpiracji: kutykularną, szparkową i przetchlinkową.

Transpiracja kutykularna zachodzi wprost przez zewnętrzną powierzchnię liścia, czyli przez epidermę pokrytą kutykulą. Jej intensywność zależy przede wszystkim od grubości warstwy kutykuli. Kutykula nie przepuszcza bowiem wody, ale może ją wchłaniać i dlatego pęcznieje. Jeśli ilość wody w kutykuli będzie odpowiednio duża, to zacznie ona wyparowywać z powierzchni rośliny. U mezofitów tylko ok. 1–3% wody paruje przez kutykulę. Z kolei higrofity mają cienką kutykulę, a transpiracja kutykularna odgrywa u nich ogromną rolę. U kserofitów pokrytych zwykle grubą kutykulą ten rodzaj transpiracji praktycznie nie występuje.

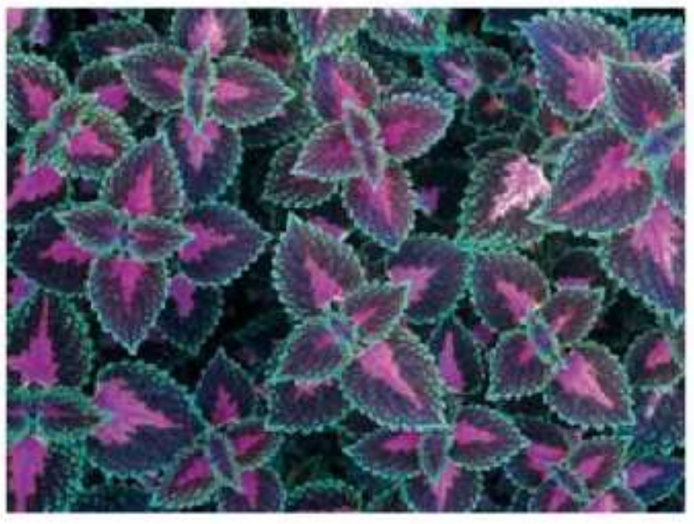
Rośliny tracą najwięcej wody w procesie **transpiracji szparkowej**. Intensywność tego procesu jest zmienna i zależy od wielu czynników. Czynniki wewnętrzne są związane z budową rośliny, m.in. z wielkością systemu korzeniowego oraz wielkością i strukturą anatomiczną liści, a zwłaszcza liczbą i rozmieszczeniem aparatów szparkowych. Czynniki zewnętrzne to m.in. temperatura, światło, wilgotność powietrza i dostępność wody glebowej. Wzrost temperatury (w granicach fizjologicznych) zwiększa intensywność transpiracji z dwóch powodów: wpływa na mechanizm otwierania aparatów szparkowych oraz zmniejsza wilgotność względną powietrza. Wiatr działa na wilgotność powietrza podobnie jak temperatura, ponieważ usuwa wilgotne powietrze z bliskiego otoczenia liści. Im mniejsza wilgotność powietrza, tym większa różnica potencjału wody między rośliną a atmosferą i tym intensywniej zachodzi transpiracja. Rola światła jako czynnika modyfikującego intensywność transpiracji wynika przede wszystkim z jego wpływu na otwieranie aparatów szparkowych oraz ogrzewanie blaszki liściowej. Na intensywność transpiracji wpływa również dostępność wody glebowej. Jej niedobór powoduje zmniejszenie zawartości wody w tkankach liści, a to z kolei prowadzi do zamykania aparatów szparkowych.

Transpiracja przetchlinkowa odbywa się przez przetchlinki korka pokrywającego łodygi roślin drzewiastych. Różni się ona od transpiracji szparkowej tym, że przetchlinki nie zmieniają (jak szparki) swojej szerokości, co uniemożliwia regulację intensywności tego rodzaju transpiracji.

Lokalizacja aparatów szparkowych w liściach

Lokalizacja aparatów szparkowych w liściach zależy głównie od formy ekologicznej rośliny.

U hydrofitów, których liście pływają po powierzchni wody, aparaty szparkowe znajdują się w górnej epidermie liści.



U higrofitów aparaty szparkowe znajdują się zarówno w górnej, jak i w dolnej epidermie liści.

U mezofitów i kserofitów aparaty szparkowe znajdują się głównie w dolnej epidermie liści.

Doświadczenie

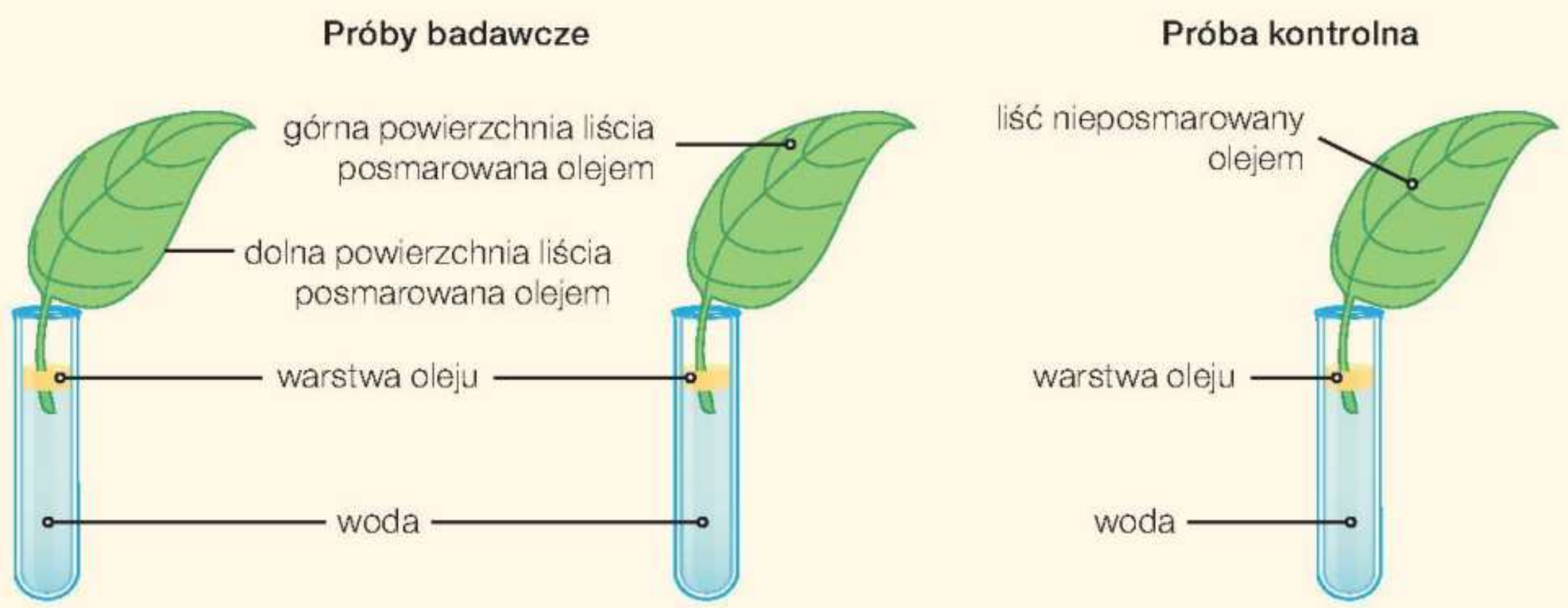
Badanie lokalizacji i zagęszczenia aparatów szparkowych u higrofitów, mezofitów i kserofitów

- **Problem badawczy:** Przez którą powierzchnię liścia higrofity, mezofity i kserofity tracą więcej wody w procesie transpiracji?
- **Hipoteza:** Higrofity tracą wodę przez obie powierzchnie liścia, a mezofity i kserofity – głównie przez dolną powierzchnię liścia.
- **Przebieg doświadczenia:**

  Próba badawcza: Liście higrofitów, mezofitów i kserofitów posmarowane olejem na dolnej lub górnej powierzchni i umieszczone w cylindrach miarowych z taką samą objętością wody.

  Próba kontrolna: Liście higrofitów, mezofitów i kserofitów umieszczone w cylindrach miarowych z z taką samą objętością wody.

  Przygotuj po trzy jednakowej wielkości liście: koleusa – higrofita, trzykrotki – mezofita, bilbergii – kserofita. Następnie sporządź trzy zestawy doświadczalne (po jednym dla każdego gatunku) zgodnie z poniższym schematem.



- **Wynik doświadczenia:** Zaobserwuj zmiany w poziomie wody w cylindrach.
- **Wniosek:** Sformułuj wniosek.
- **Wyjaśnienie:** Przez aparaty szparkowe zachodzi parowanie wody z powierzchni rośliny. Im większy ubytek wody w cylindrach miarowych, tym większa intensywność transpiracji, a tym samym – większe zagęszczenie aparatów szparkowych w dolnej lub górnej epidermie liścia. Naniesienie warstwy oleju zapobiega parowaniu wody z jej powierzchni w cylindrach, co mogłoby mieć wpływ na wynik doświadczenia.

Bilans wodny u roślin

Roślina powinna pobierać taką ilość wody, aby móc równoważyć jej zużycie na własne potrzeby z utratą w wyniku transpiracji. Na tym polega **zrównoważony bilans wodny**, zachodzący w warunkach optymalnych dla rośliny. Bilans wodny może być **dodatni**, kiedy ilość pobieranej wody przewyższa jej straty (np. zwiędnięte rośliny uzupełniające deficyt wody), lub **ujemny**, kiedy straty wody są większe od jej pobranej ilości. W miarę pogłębiania się deficytu wody liście i niezdrewniałe łodygi wiotczeją, co określa się mianem **więdnięcia**. Może być ono przejściowe – wtedy powrót rośliny do normalnego stanu następuje zwykle w nocy, ponieważ o tej porze zmniejsza się transpiracja.

W przypadku więdnięcia trwałego przywrócenie turgoru następuje wyłącznie wtedy, gdy zostanie dostarczona odpowiednio duża ilość wody. Jeśli do tego nie dojdzie, zachodzi więdnięcie nieodwracalne, kończące się śmiercią rośliny. Deficyt wody hamuje wiele procesów, m.in. fotosyntezę. Dlatego niedobór wody ogranicza lub nawet uniemożliwia np. kiełkowanie nasion czy wzrost organów. Zahamowaniu ulegają także procesy przewodzenia soli mineralnych oraz produktów fotosyntezy.

Okres życia rośliny, w którym jest ona najbardziej wrażliwa na niedobór wody, nazywa się okresem **krytycznym**. Dla większości roślin dwuliściennych jest nim faza kwitnienia, a np. dla uprawnych roślin jednoliściennych (m.in. zbóż) – faza strzelania w źdźbło (wydłużania się łodygi po wytworzeniu pierwszego międzywęźla) i kłoszenia, czyli wytwarzania kwiatostanów.

Wpływ suszy fizjologicznej na rośliny

Susza fizjologiczna występuje wtedy, gdy **w podłożu znajduje się woda, ale jest ona niedostępna lub słabo dostępna dla roślin**. Do takiej sytuacji dochodzi podczas surowych zim, kiedy woda w glebie zamarza i nie może zostać pobrana przez rośliny, a także w przypadku silnego zasolenia gleby, które znacznie obniża potencjał wody roztworu glebowego, przez co uniemożliwia lub utrudnia pobieranie wody przez korzenie roślin.

Do suszy fizjologicznej spowodowanej zamarzaniem wody w glebie najlepiej zaadaptowały się rośliny szpilkowe. Liście tych roślin – szpilki – mają **budowę kseromoficzną**, przystosowaną do maksymalnego ograniczania transpiracji.

Przystosowaniami roślin okrytozalążkowych do warunków suszy fizjologicznej spowodowanej zamarzaniem wody w glebie są przede wszystkim: zrzucanie liści na zimę (gatunki drzewiaste) oraz wytwarzanie organów przetrwalnikowych, np. kłączy, cebul lub korzeni spichrzowych (byliny i rośliny dwuletnie).

Do suszy fizjologicznej spowodowanej silnym zasoleniem gleby przystosowały się **rośliny słonolubne**, zwane również **słonoroślami** lub **halofitami**. Występują one m.in. na bagnistych obszarach położonych w strefie pływów morskich oraz na wydmach przybrzeżnych. W zależności od gatunku halofity wykształciły różne mechanizmy regulujące zawartość soli w organizmie. Należą do nich m.in.:

- **magazynowanie soli w wakuolach**. Większość halofitów pobiera sole z podłoża i gromadzi je w wakuolach w dużych stężeniach. Dzięki temu dochodzi do znacznego zmniejszenia potencjału wody w komórkach pobierających wodę, co umożliwia jej osmotyczny napływ z otoczenia;
- **rozcieńczanie**. Wiele gatunków halofitów, np. soliród (*Salicornia*), ma miękisz wodny. W jego komórkach zostaje zmagazynowana woda, która silnie rozcieńcza roztwór soli;
- **usuwanie nadmiaru soli**. Niektóre gatunki namorzynów i słonolubnych traw usuwają nadmiar soli przez specjalne gruczoły solne. Inne, np. łoboda (*Atriplex*), wytwarzają szybko obumierające włoski, które gromadzą duże ilości soli.

Liście łobody są pokryte włoskami gromadzącymi sole. Włoski szybko obumierają i odpadają, przez co eliminują nadmiar soli z organizmu.

U roślin nieprzystosowanych do warunków suszy fizjologicznej zbyt duże stężenie soli w podłożu skutkuje ujemnym bilansem wodnym, a w konsekwencji śmiercią rośliny. Do takiej sytuacji dochodzi np. w wyniku posypywania solą oblodzonych dróg lub nadmiernego nawożenia roślin.

Doświadczenie

Badanie wpływu stężenia roztworu glebowego na pobieranie wody przez rośliny

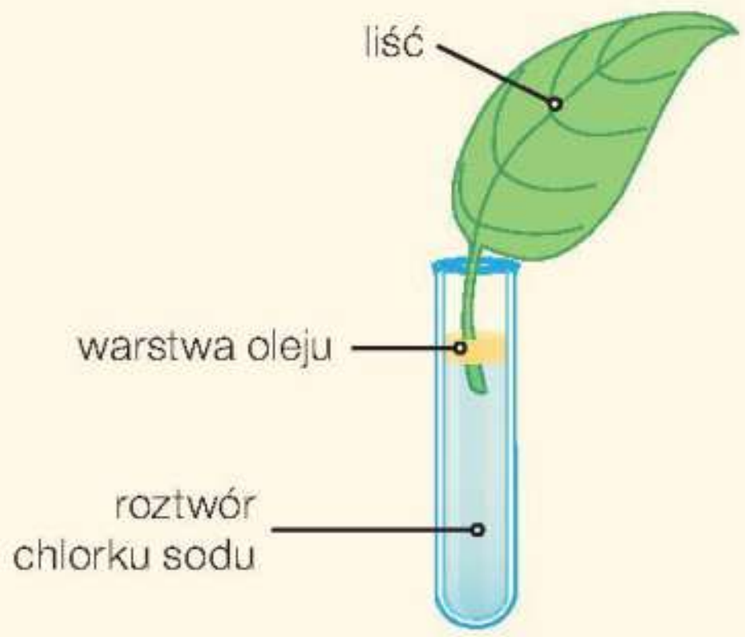
- **Problem badawczy:** Wpływ zasolenia podłoża na pobieranie wody przez rośliny.
- **Hipoteza:** Zasolenie podłoża ogranicza pobieranie wody przez rośliny.
- **Przebieg doświadczenia:**

  Próba badawcza: Probówka z 0,5% roztworem chlorku sodu (NaCl) i liściem pelargonii.

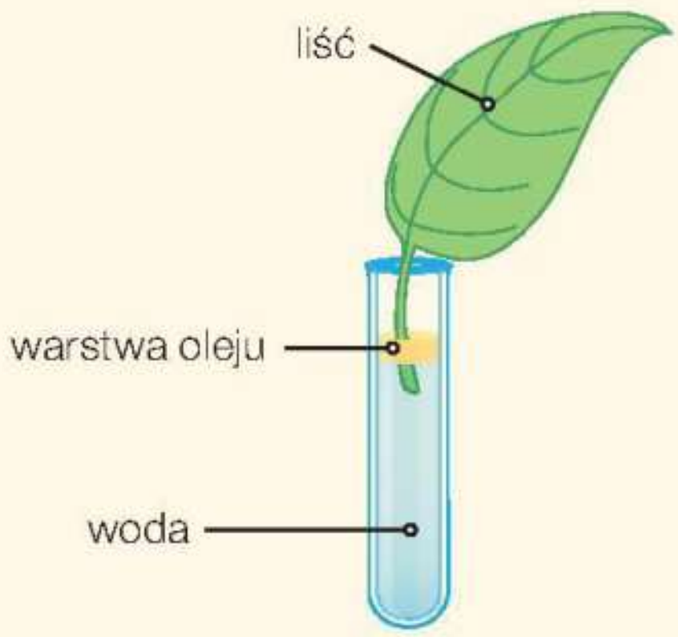
  Próba kontrolna: Probówka z wodą wodociągową i liściem pelargonii.

  Przygotuj dwa liście pelargonii o podobnej wielkości, dwie probówki, 0,5% roztwór chlorku sodu oraz olej roślinny. Jedną probówkę napełnij roztworem chlorku sodu, drugą – wodą wodociągową, a następnie umieść w nich liście tak, by ogonki liściowe były zanurzone. Następnie na powierzchnię roztworu i wody nanieś kilka kropli oleju. Tak przygotowane próby pozostaw na jeden dzień w oświetlonym pomieszczeniu.

Próba badawcza



Próba kontrolna



- **Wynik doświadczenia:** Zaobserwuj zmiany w obu liściach.
- **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 zmniejsza się. Ograniczone pobieranie wody powoduje obniżenie turgoru komórek i więdnięcie liścia.

Polecenia kontrolne

1. Określ znaczenie wody w życiu roślin. Podaj skutki jej niedoboru.
2. Na rysunkach przedstawiono dwie komórki roślinne – A i B – w których zmierzono Ψ_s oraz Ψ_p. Określ kierunek przepływu wody między przedstawionymi komórkami roślinnymi. Odpowiedź uzasadnij za pomocą odpowiednich obliczeń.

A.	B.
$\Psi_s = -1{,}8$ $\Psi_p = 0{,}7$	$\Psi_s = -1{,}4$ $\Psi_p = 0{,}8$

3. Wyjaśnij rolę różnicy potencjału wody w układzie gleba–roślina–atmosfera w procesie pobierania i przewodzenia wody.
4. Wymień i omów trzy etapy transportu wody w roślinie.
5. Omów różne rodzaje transpiracji.

4.2. Gospodarka mineralna roślin

Zwróć uwagę na:
- znaczenie wybranych makro- i mikroelementów 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 z rozpuszczonymi w niej składnikami mineralnymi.

Zawartość składników mineralnych w roślinach jest zróżnicowana i zmienna. Zależy przede wszystkim od gatunku rośliny, jej wieku, fazy rozwojowej i stopnia rozwoju systemu korzeniowego. Mają na nią wpływ także czynniki zewnętrzne, np. zawartość składników mineralnych w glebie. Największą zawartością składników mineralnych cechują się liście i organy spichrzowe (8–19%), a najmniejszą soczyste owoce i nasiona (2–3%).

Podstawowe makro- i mikroelementy roślin

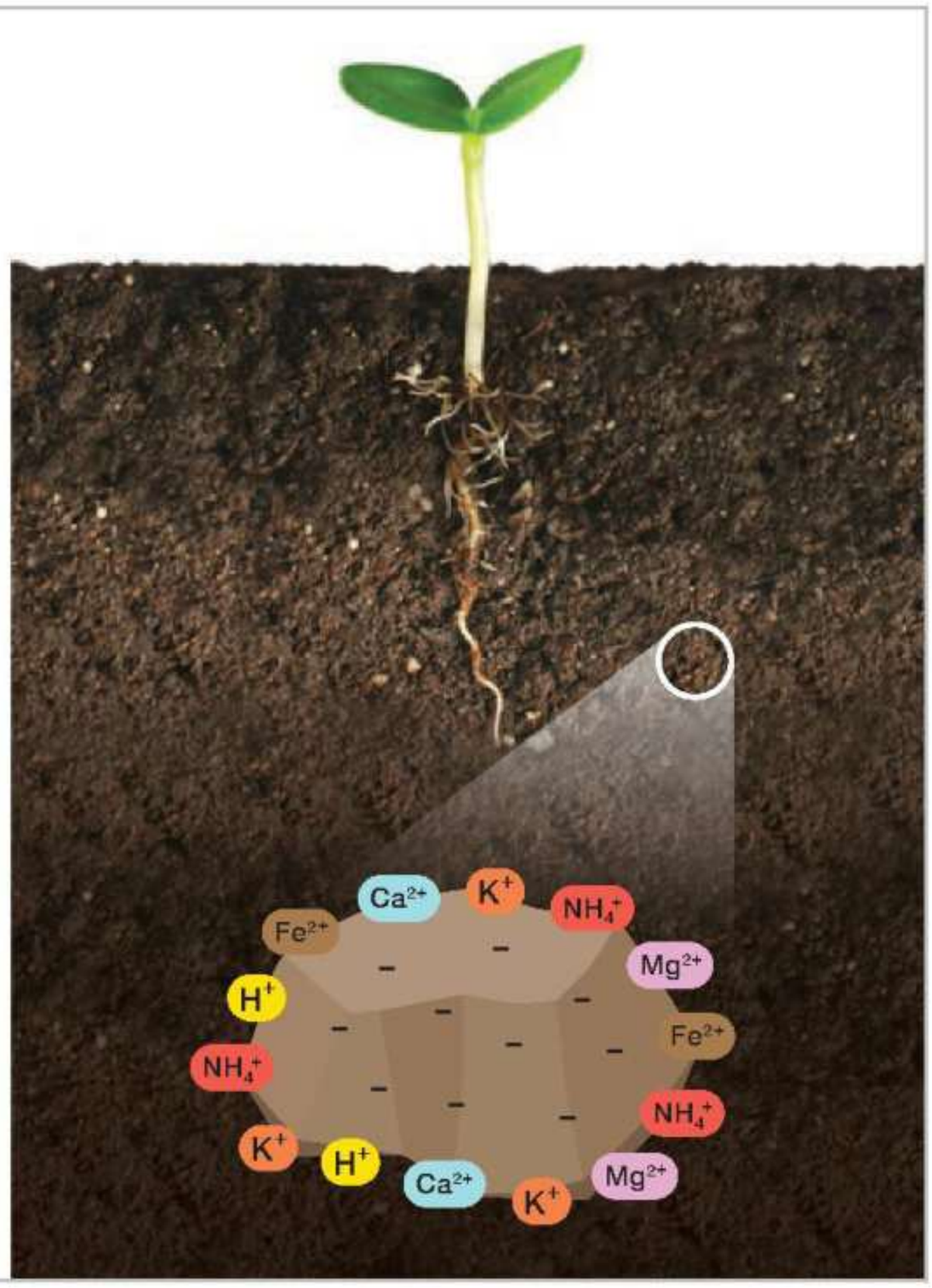
Głównymi makroelementami pobieranymi przez rośliny z roztworu glebowego są azot, siarka, magnez, potas, fosfor i wapń. Pierwiastki te są wykorzystywane m.in. do budowy związków organicznych niezbędnych roślinom lub biorą udział w osmoregulacji komórek. Wśród mikroelementów największe znaczenie ma żelazo, które jest kofaktorem wielu enzymów.

Znaczenie wybranych makro- i mikroelementów dla roślin

Nazwa i symbol pierwiastka	Wybrane funkcje pierwiastka w organizmie rośliny
Azot (N)	• Wchodzi w skład większości związków organicznych, m.in.: aminokwasów, białek, wolnych nukleotydów, kwasów nukleinowych, wielu fosfolipidów, chlorofilu. • Powoduje intensywny wzrost organów roślinnych, 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 w ruchach turgorowych organów roślinnych, np. w otwieraniu i zamykaniu się aparatów szparkowych.
Fosfor (P)	• Wchodzi w skład wolnych nukleotydów oraz kwasów nukleinowych. • Pula nieorganicznego fosforanu (P_i) jest wykorzystywana do reakcji fosforylacji w oddychaniu komórkowym i fotosyntezie.
Wapń (Ca)	• Jest kofaktorem wielu enzymów. • Bierze udział w budowie ścian komórkowych. • Jest pośrednikiem w mechanizmie działania niektórych hormonów roślinnych.
Żelazo (Fe)	• Jest niezbędne do syntezy chlorofilu. • Wchodzi w skład wielu enzymów i przenośników elektronów uczestniczących w oddychaniu tlenowym i fotosyntezie.

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, głównie kationów, niezbędnych roślinom. W skład **roztworu glebowego** wchodzą woda, aniony oraz kationy oderwane od kompleksu sorpcyjnego. **Faza gazowa** gleby, zwana powietrzem glebowym, wypełnia wolne przestrzenie w glebie. Wpływa ona na prawidłowe zaopatrzenie korzeni w tlen oraz aktywność organizmów glebowych, np. bakterii lub grzybów.



Kompleks sorpcyjny składa się z koloidów glebowych. Mają one silny ładunek ujemny, dlatego wiążą kationy obecne w glebie, m.in. K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}, NH_4^+. Jony te w określonych warunkach mogą jednak przechodzić do fazy ciekłej gleby, czyli do roztworu glebowego.

Dostępne dla roślin formy azotu i siarki

Największe zapotrzebowanie roślin na azot występuje w okresie intensywnego rozwoju części zielonych, przede wszystkim liści. Rośliny nie mają zdolności korzystania z azotu atmosferycznego, pobierają go więc w postaci jonów z roztworu glebowego. Głównymi formami azotu dostępnymi dla roślin 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.

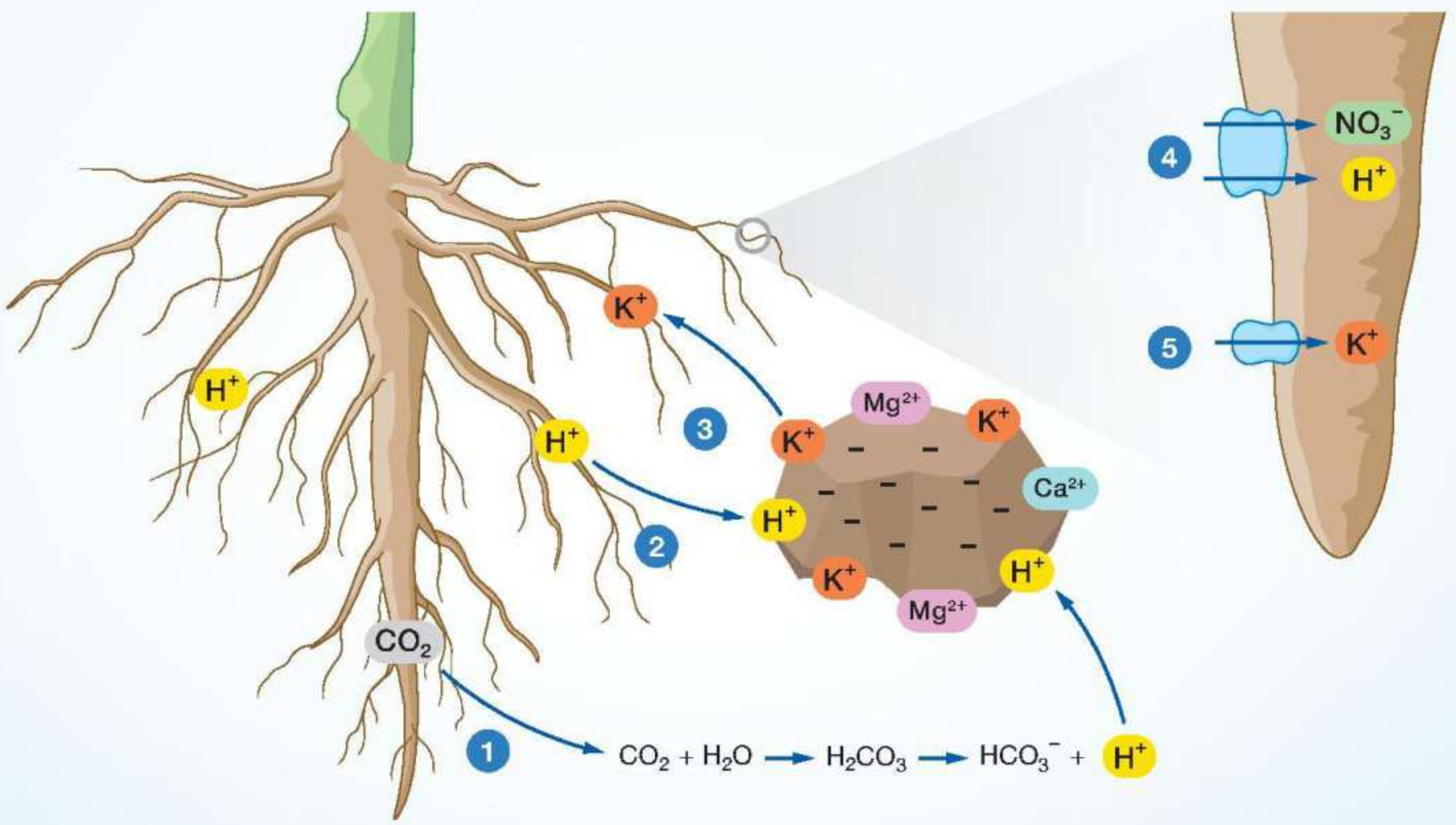
Największe zapotrzebowanie roślin na siarkę występuje w stadium kwitnienia. Formą siarki dostępną dla roślin są **jony siarczanowe(VI) – SO_4^{2-}** – które występują w roztworze glebowym. Pierwiastek ten w formie tlenku siarki(IV) – SO_2 – może być również pochłaniany z atmosfery przez liście.

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 wspólnie z pobraną wodą i ma postać transportu apoplastycznego, symplastycznego lub transmembranowego. 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 w formie gazowej są pobierane z atmosfery przez aparaty szparkowe liści.

Pobieranie jonów z roztworu glebowego

Rośliny powodują wzrost kwasowości gleb. Ich korzenie uwalniają do roztworu glebowego dwutlenek węgla oraz protony. Protony obecne w roztworze glebowym mają zdolność łączenia się z koloidami kompleksu sorpcyjnego, przez co wypierają z niego kationy innych pierwiastków aktualnie potrzebnych roślinom. Umożliwiają one także 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.
2. Pompy protonowe aktywnie transportują protony z komórek korzenia do roztworu glebowego.
3. Protony obecne w roztworze glebowym łączą się z koloidami kompleksu sorpcyjnego, odłączając od nich kationy innych pierwiastków niezbędnych roślinom.
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. Określ znaczenie azotu, siarki i magnezu w życiu roślin.
2. Wyjaśnij, dlaczego 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.

4.3. Odżywianie się roślin. Fotosynteza

Zwróć uwagę na:

- drogi transportu substratów i produktów fotosyntezy w roślinach,
- przebieg fotosyntezy u roślin,
- rośliny typu C3, C4 i CAM,
- udział bakterii i grzybów w pozyskiwaniu pokarmu przez rośliny.

Większość roślin należy do organizmów autotroficznych, które odżywiają się dzięki fotosyntezie oksygenicznej. Nieliczne gatunki są heterotroficzne. Pasożytują one na innych organizmach, głównie roślinach, czerpiąc z nich niezbędne do życia związki organiczne.

Fotosynteza oksygeniczna

Fotosynteza oksygeniczna to fotosynteza zachodząca z uwolnieniem tlenu. Proces ten polega na wytwarzaniu związków organicznych z prostych związków nieorganicznych – **dwutlenku węgla i wody** – z udziałem **energii świetlnej**.

Sumarycznie proces fotosyntezy oksygenicznej można przedstawić następującym równaniem reakcji chemicznej:

$$6\,CO_2 + 6\,H_2O \xrightarrow{\text{energia świetlna}} C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2$$

Fotosynteza składa się z dwóch faz:

- fazy zależnej od światła (jasnej), która polega na wytworzeniu siły asymilacyjnej, czyli ATP i NADPH, potrzebnej do redukcji CO_2,
- fazy niezależnej od światła (ciemnej), która polega na asymilacji CO_2, czyli jego redukcji do związków organicznych.

Przystosowania w budowie roślin do przeprowadzania fotosyntezy

Fotosynteza u roślin zachodzi głównie w **liściach** – organach przystosowanych do przeprowadzania tego procesu. Większość liści składa się z blaszki liściowej, ogonka liściowego i nasady liścia. Ogonek liściowy ustawia blaszkę liściową w taki sposób, aby dotarło do niej jak najwięcej światła. Blaszka liściowa ma dużą powierzchnię i jest pokryta epidermą, w której znajdują się aparaty szparkowe. Umożliwiają one wymianę gazową między wnętrzem liścia a atmosferą. Przez aparaty szparkowe do tkanek liścia dostaje się **dwutlenek węgla** – główny substrat fotosyntezy, a na zewnątrz jest usuwany **tlen** – produkt uboczny tego procesu. Rośliny wodne o liściach zanurzonych nie mają aparatów szparkowych. Pobierają one dwutlenek węgla głównie w postaci rozpuszczonych w wodzie **jonów wodorowęglanowych** (HCO_3^-) bezpośrednio przez epidermę. Tą samą drogą usuwają na zewnątrz tlen.

W liściach przebiegają wiązki przewodzące, które rozgałęziają się w blaszce liściowej. Są one zbudowane z drewna i łyka. Drewno doprowadza z korzeni do liści **wodę**, natomiast łyko odprowadza z liści do pozostałych organów rośliny **związki organiczne** powstałe w wyniku fotosyntezy. Rośliny żyjące w środowisku wodnym pobierają wodę całą powierzchnią ciała.

Wnętrze liści jest prawie w całości wypełnione miękiszem asymilacyjnym, którego komórki zawierają liczne **chloroplasty**. To w nich odbywają się ciągi reakcji chemicznych, które składają się na proces fotosyntezy.

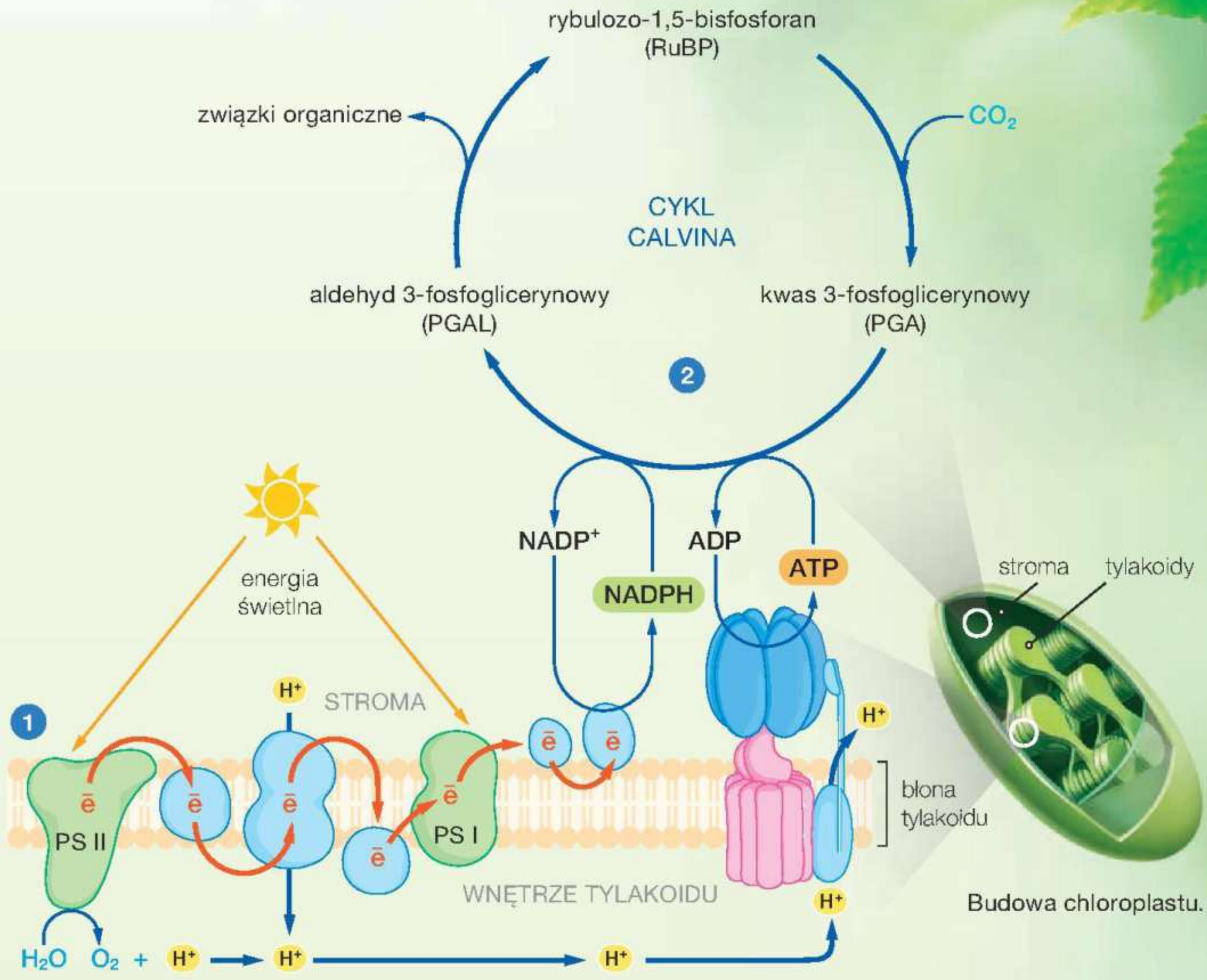
W tylakoidach chloroplastów zachodzi **faza fotosyntezy zależna od światła**, która wymaga obecności wody i dopływu energii świetlnej. Energia świetlna jest pochłaniana przez barwniki fotosyntetyczne zlokalizowane w błonach tylakoidów. Produktami tej fazy są ATP i NADPH, które tworzą siłę asymilacyjną, oraz tlen.

W stromie chloroplastów odbywa się **faza niezależna od światła**, która wymaga obecności dwutlenku węgla oraz siły asymilacyjnej, wytworzonej w fazie zależnej od światła. Produktami fazy ciemnej są związki organiczne.

Fotosynteza u roślin

Przypomnij sobie

U roślin występuje fotosynteza oksygeniczna. Zachodzi ona w chloroplastach i polega na wytwarzaniu związków organicznych z dwutlenku węgla i wody z udziałem energii świetlnej. Produktem ubocznym fotosyntezy oksygenicznej jest tlen.



Budowa chloroplastu.

Fazy fotosyntezy:

1. W tylakoidach chloroplastów odbywa się faza fotosyntezy zależna od światła, która wymaga obecności wody i dopływu energii świetlnej. Polega ona na liniowym przepływie elektronów od cząsteczki wody przez fotosystemy PS II i PS I oraz przenośniki elektronów na $NADP^+$. W rezultacie powstaje NADPH. Jednocześnie dzięki wytworzeniu gradientu protonowego w poprzek błony tylakoidu powstaje ATP. NADPH i ATP są nazywane siłą asymilacyjną.
2. W stromie chloroplastów odbywa się faza niezależna od światła (cykl Calvina), która wymaga obecności dwutlenku węgla oraz siły asymilacyjnej wytworzonej w fazie zależnej od światła. Faza ta polega na wykorzystaniu siły asymilacyjnej do wytworzenia związków organicznych z dwutlenku węgla.

Rośliny typu C3, C4 i CAM

Większość roślin to rośliny typu C3, u których wiązanie CO_2 zachodzi jednoetapowo – tylko w cyklu Calvina. U niektórych gatunków, określanych jako rośliny typu C4 i CAM, powstał dwuetapowy mechanizm wiązania CO_2.

Do roślin typu C3 należą niemal wszystkie gatunki umiarkowanej strefy klimatycznej. Liście roślin typu C3 mają miękisz asymilacyjny zróżnicowany na palisadowy i gąbczasty. Ich aparaty szparkowe są zamknięte w nocy, a otwarte w ciągu dnia. Dzięki temu CO_2 niezbędny do przeprowadzenia cyklu Calvina jest dostarczany z atmosfery w tym samym czasie, w którym zachodzi faza zależna od światła fotosyntezy. Akceptorem CO_2 jest rybulozo-1,5-bisfosforan (RuBP), a karboksylację przeprowadza karboksylaza 1,5-bisfosforybulozy (rubisco). Pierwszy produkt karboksylacji stanowi trójwęglowa cząsteczka 3-fosfoglicerynianu (PGA), stąd nazwa grupy roślin.

Do roślin typu C4 należą gatunki pochodzące z okołorównikowej i zwrotnikowej strefy klimatycznej, m.in. kukurydza. Rośliny te rosną w klimacie gorącym, dlatego w ciągu dnia ograniczają transpirację przez przymykanie aparatów szparkowych. W konsekwencji oszczędnej gospodarki wodnej dopływ CO_2 do wnętrza liścia jest słaby. Przystosowaniem roślin C4 do małego stężenia CO_2 jest dwuetapowy mechanizm jego wiązania przebiegający w dwóch różnych typach komórek.

Liście roślin typu C4 mają tylko jeden rodzaj miękiszu asymilacyjnego, a ich wiązki przewodzące są otoczone specjalnymi komórkami tworzącymi **pochwę okołowiązkową**. W komórkach miękiszu asymilacyjnego zachodzi przyłączanie CO_2 do **fosfoenolopirogronianu** (PEP), katalizowane przez **karboksylazę fosfoenolopirogronianową** (karboksylazę PEP). Enzym ten ma znacznie większe powinowactwo do CO_2 niż rubisco, dlatego przeprowadza karboksylację już przy niewielkim stężeniu CO_2. Pierwszym produktem karboksylacji jest czterowęglowa cząsteczka **szczawiooctanu** – stąd nazwa grupy roślin. Powstały szczawiooctan ulega redukcji do jabłczanu, który jest transportowany do komórek pochwy okołowiązkowej. Tam staje się źródłem CO_2, który jest wykorzystywany w cyklu Calvina.

Rośliny typu CAM (ang. *crassulacean acid metabolism*), zwane również roślinami kwasowymi, to organizmy pochodzące głównie z obszarów pustynnych i półpustynnych, np. kaktusy. W ciągu dnia ich aparaty szparkowe są zamknięte, a w nocy – otwarte. Asymilowany nocą CO_2 jest przyłączany w komórkach miękiszu asymilacyjnego do **fosfoenolopirogronianu** z wytworzeniem szczawiooctanu, a następnie jabłczanu. W odróżnieniu od roślin typu C4 **jabłczan jest magazynowany w wakuolach**. W dzień następuje dekarboksylacja jabłczanu, a odłączony CO_2 podlega przemianom w cyklu Calvina.

Budowa anatomiczna liścia rośliny typu C3. U roślin typu C3 miękisz asymilacyjny jest zróżnicowany na miękisz palisadowy i miękisz gąbczasty.

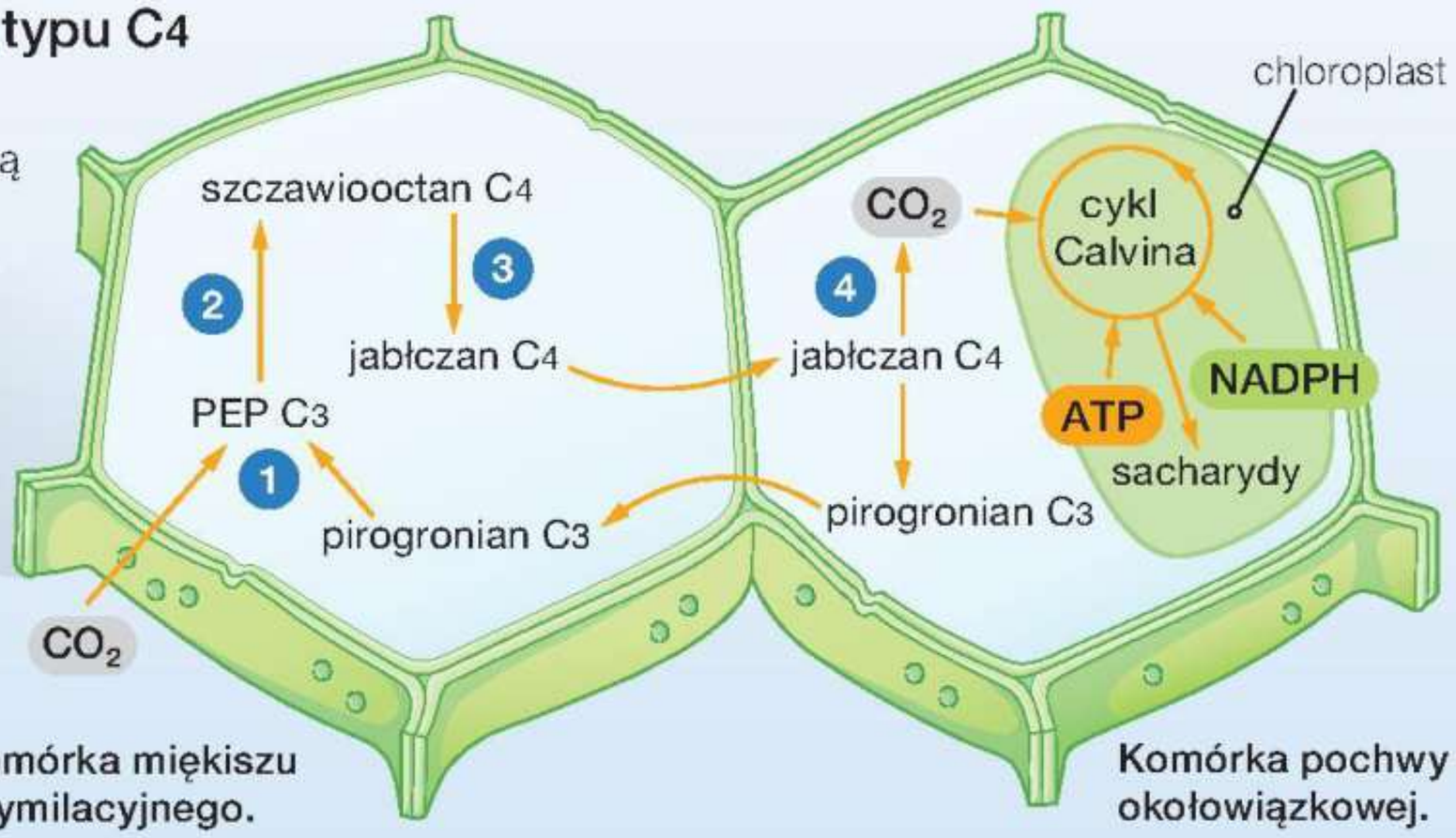
Budowa anatomiczna liścia rośliny typu C4. U roślin typu C4 miękisz asymilacyjny nie jest zróżnicowany, a wokół wiązek przewodzących występuje pochwa okołowiązkowa.

Rośliny typu C4 i CAM

U roślin typu typu C4 i CAM zachodzi dwuetapowy mechanizm wiązania dwutlenku węgla. Pierwszym akceptorem tego związku jest fosfoenolopirogronian (PEP), a drugim – rybulozo-1,5-bisfosforan (RuBP).

Fotosynteza u roślin typu C4

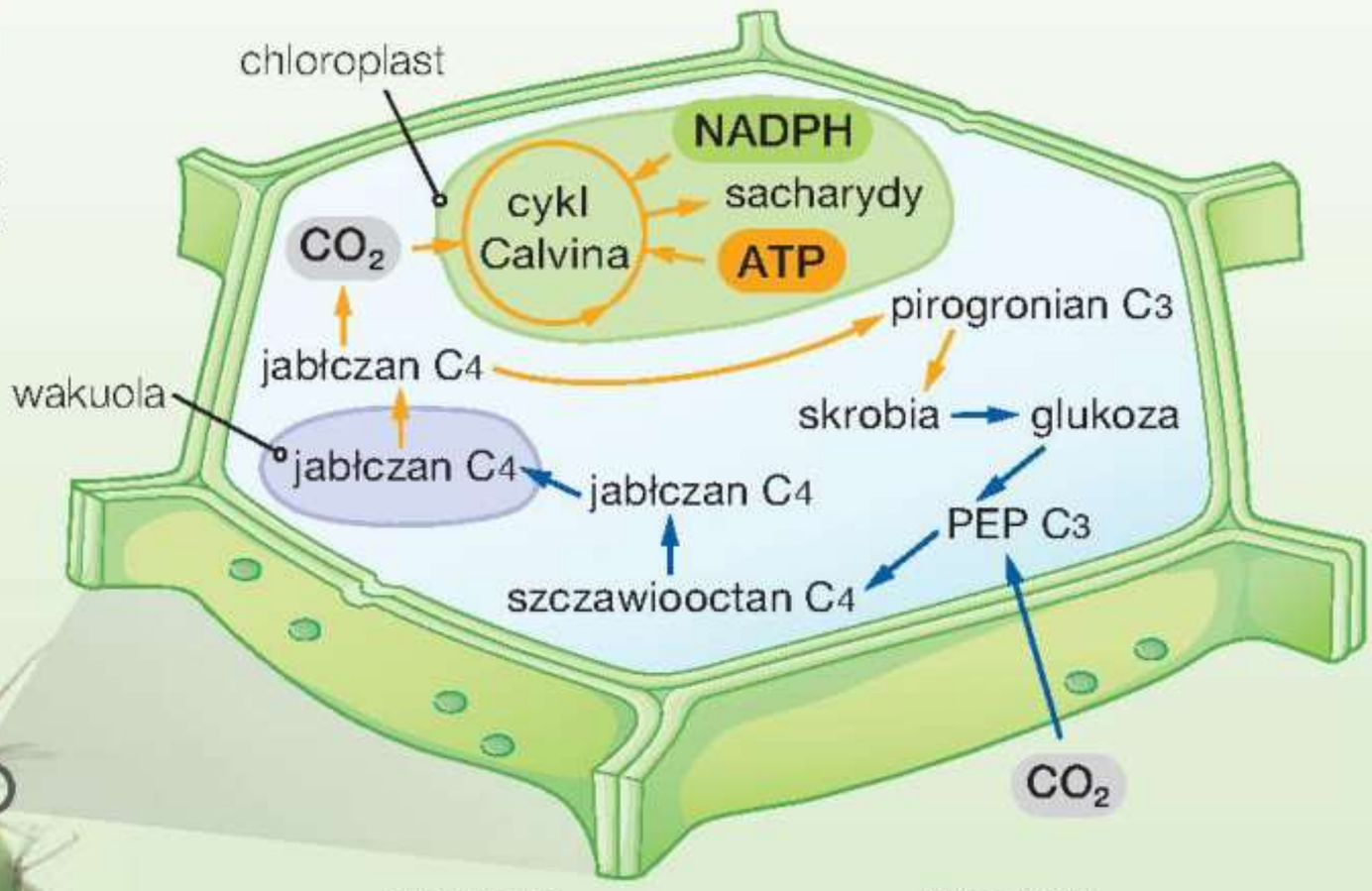
U roślin typu C4 oba etapy wiązania dwutlenku węgla zachodzą w dzień, ale w dwóch różnych typach komórek.



1. W komórkach miękiszu asymilacyjnego fosfoenolopirogronian ulega karboksylacji z udziałem karboksylazy fosfoenolopirogronianowej. Enzym ten ma znacznie większe powinowactwo do CO_2 niż rubisco, dlatego przeprowadza karboksylację już przy niewielkim stężeniu CO_2.
2. Efektem karboksylacji fosfoenolopirogronianu jest czterowęglowy szczawiooctan.
3. Szczawiooctan ulega redukcji do jabłczanu, który wnika plazmodesmami do komórek pochwy okołowiązkowej.
4. Tam następuje dekarboksylacja jabłczanu, a odłączony CO_2 wchodzi w cykl Calvina.

Fotosynteza u roślin typu CAM

Pod względem biochemicznym fotosynteza u roślin typu CAM przebiega bardzo podobnie jak u roślin typu C4. Główna różnica polega na tym, że karboksylacja PEP i dekarboksylacja jabłczanu odbywają się w tej samej komórce, ale są rozdzielone w czasie.



Rośliny typu CAM, dzięki zamykaniu aparatów szparkowych w dzień, prowadzą bardzo oszczędną gospodarkę wodną. Rezultatem jest jednak ich bardzo powolny wzrost.

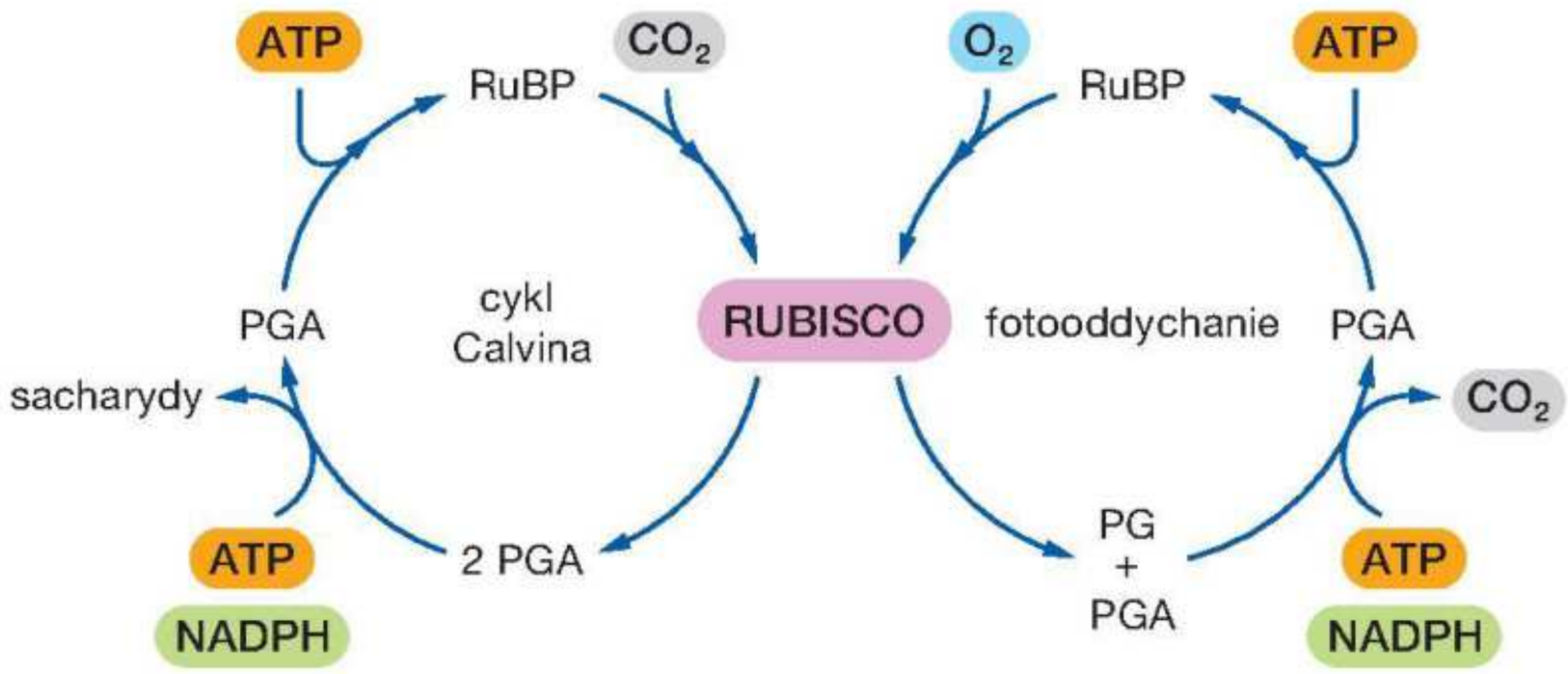
Dowiedz się więcej

Fotooddychanie

Karboksylaza 1,5-bisfosforybulozy – rubisco – może katalizować dwa typy reakcji:

- **karboksylację RuBP**, która polega na przyłączeniu do niego CO_2. W wyniku tej reakcji powstają dwie cząsteczki 3-fosfoglicerynianu, które w następnym etapie cyklu Calvina ulegają redukcji do dwóch cząsteczek aldehydu 3-fosfoglicerynowego;
- **oksygenację RuBP**, która polega na rozbiciu cząsteczki RuBP za pomocą tlenu.

To, która z dwóch reakcji zachodzi z większą wydajnością, zależy od proporcji stężeń CO_2 i O_2 w miękiszu asymilacyjnym liścia. Gazy te współzawodniczą ze sobą, ponieważ oba wiążą się z centrum aktywnym rubisco. Jeśli na skutek intensywnej fotosyntezy stężenie O_2 w miękiszu znacznie przewyższa stężenie CO_2, zachodzi stymulowane światłem wydzielanie CO_2, zwane **fotooddychaniem** (fotorespiracją). W wyniku oksygenacji RuBP ulega rozkładowi do jednej cząsteczki 3-fosfoglicerynianu (PGA) i jednej cząsteczki 2-fosfoglikolanu (PG). 3-fosfoglicerynian podlega przemianom w cyklu Calvina, natomiast 2-fosfoglikolan zostaje przekształcony w bardzo toksyczny dla roślin glikolan. Związek ten jest usuwany z chloroplastów i stopniowo rozkładany do związków nietoksycznych. Cykl przemian glikolanu zachodzi w mitochondriach i peroksysomach. Jest on kosztowny energetycznie, a jednym z jego produktów jest CO_2.



A. Przebieg karboksylacji RuBP podczas cyklu Calvina.

B. Przebieg oksygenacji RuBP podczas fotooddychania.

Fotooddychanie występuje tylko u roślin typu C3, ponieważ nie dysponują one mechanizmami zatężania lub magazynowania CO_2, które są charakterystyczne dla roślin typu C4 i CAM. Z tego powodu zmniejszenie wydajności karboksylacji RuBP powoduje u nich poważne ograniczenie wydajności fotosyntezy. W konsekwencji następuje zmniejszenie produktywności roślin typu C3, co ma istotne znaczenie dla gatunków uprawnych. Dodatkowym minusem fotoodychania jest zużywanie ATP podczas cyklu przemian glikolanu.

Dlaczego rośliny przeprowadzają fotooddychanie?

Enzym rubisco wykształcił się prawdopodobnie w okresie, kiedy atmosfera Ziemi była bardzo uboga w O_2. Oksygenacja RuBP zachodziła wówczas z tak małą wydajnością, że nie wpływała w istotny sposób na wydajność asymilacji CO_2. Obecnie stężenie O_2 w atmosferze znacznie przekracza stężenie CO_2, dlatego fotoodychanie zachodzi intensywnie. Mimo znacznych kosztów energetycznych cykl przemian glikolanu został jednak zachowany przez rośliny ze względu na dużą toksyczność tego związku.

Porównanie przebiegu fotosyntezy u roślin typu C3, C4 i CAM

Cechy	Typ roślin		
	C3	C4	CAM
Miejsce zachodzenia fotosyntezy	miękisz asymilacyjny	miękisz asymilacyjny i komórki pochwy okołowiązkowej	miękisz asymilacyjny
Pora doby, w której zachodzi wiązanie CO_2	dzień	dzień	noc
Pierwszy akceptor CO_2	rybulozo-1,5-bisfosforan (RuBP)	fosfoenolopirogronian (PEP)	fosfoenolopirogronian (PEP)
Enzym przeprowadzający karboksylację	karboksylaza 1,5-bisfosforybulozy	karboksylaza fosfoenolopirogronianowa	karboksylaza fosfoenolopirogronianowa
Pierwotny produkt karboksylacji	3-fosfoglicerynian	szczawiooctan	szczawiooctan
Straty biomasy w wyniku fotoodychania	duże	brak	brak

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 niezbędne do budowy wielu związków organicznych. Podstawowym pierwiastkiem chemicznym pobieranym z gleby i zużywanym do syntezy związków organicznych jest azot. Rośliny wbudowują go np. w białka, kwasy nukleinowe czy chlorofil.

W udostępnianiu azotu roślinom ogromną rolę odgrywają wolno żyjące organizmy glebowe. Niektóre bakterie i grzyby glebowe rozkładają martwą materię organiczną do prostych związków nieorganicznych, m.in. do amoniaku – NH_3. Z kolei bakterie glebowe z rodzajów *Azotobacter* i *Clostridium* mają zdolność asymilacji azotu cząsteczkowego i przekształcania go w amoniak. Część powstałego amoniaku jest pobierana przez rośliny w postaci jonów amonowych – NH_4^+, a część zostaje utleniona do NO_3^- przez chemosyntetyzujące bakterie nitryfikacyjne z rodzajów *Nitrosomonas* i *Nitrobacter*. Jony NO_3^- są główną przyswajalną formą azotu dla roślin.

Źródłem związków azotowych dla roślin są również organizmy symbiotyczne. Należą do nich grzyby mikoryzowe oraz bakterie z rodzaju *Rhizobium*, które mają zdolność wiązania azotu atmosferycznego.

Polecenia kontrolne

1. Omów fazę fotosyntezy zależną od światła.
2. Wymień etapy cyklu Calvina oraz przedstaw znaczenie każdego z nich.
3. Przeanalizuj tekst, a następnie określ, jaki typ fotosyntezy w nim opisano.

   Ten typ fotosyntezy zachodzi u roślin, które żyją w warunkach długotrwałej suszy. Ich aparaty szparkowe są zamknięte w ciągu dnia, a otwarte w nocy. Z tego powodu CO_2 jest nocą magazynowany w postaci jabłczanu w wakuolach komórek mezofilu. W ciągu dnia zachodzi dekarboksylacja jabłczanu, a odłączony CO_2 zostaje zużyty w chloroplastach w cyklu Calvina.
4. Wyjaśnij, jaką rolę w odżywianiu rośliny odgrywają bakterie glebowe.

4.4. Czynniki wpływające na intensywność fotosyntezy

Zwróć uwagę na:
- wpływ czynników zewnętrznych na przebieg procesu fotosyntezy,
- wpływ czynników wewnętrznych na przebieg procesu fotosyntezy.

Na intensywność fotosyntezy mają wpływ czynniki zewnętrzne oraz wewnętrzne. Do czynników zewnętrznych należą wszystkie czynniki środowiska, które zmniejszają lub zwiększają intensywność fotosyntezy. Natomiast do czynników wewnętrznych zalicza się adaptacje morfologiczne, anatomiczne i metaboliczne organizmów fotosyntetyzujących. Adaptacje te powstały na drodze ewolucji w odpowiedzi na specyficzne warunki środowiska, a więc czynniki zewnętrzne. Oba rodzaje czynników wywierają istotny wpływ na intensywność fotosyntezy, a tym samym na produkcję materii organicznej oraz tlenu.

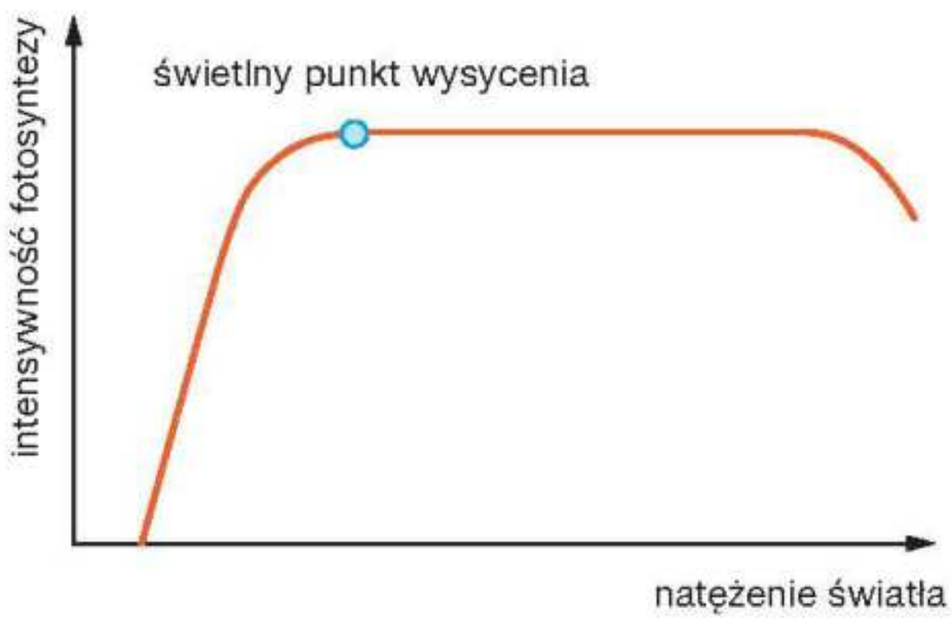
Czynniki zewnętrzne wpływające na intensywność fotosyntezy

Do czynników zewnętrznych wpływających na intensywność fotosyntezy należą głównie: światło, dwutlenek węgla, temperatura, woda i sole mineralne.

Światło

Światło jest podstawowym czynnikiem warunkującym przebieg fazy zależnej od światła fotosyntezy, przy czym istotne znaczenie ma zarówno jego barwa, jak i natężenie. Przy słabym oświetleniu intensywność fotosyntezy rośnie wraz ze wzrostem natężenia światła. Gdy natężenie światła osiągnie określoną wartość (zależną od gatunku rośliny), jego wpływ na intensywność fotosyntezy staje się coraz mniejszy. Następnie intensywność fotosyntezy uzyskuje wartość maksymalną, nazywaną **świetlnym puntem wysycenia**. Zwiększenie natężenia światła powyżej tej wartości powoduje zahamowanie wzrostu intensywności fotosyntezy, a następnie jej spadek. Przyczyniają się do tego dwa procesy:

- **fotooksydacja chlorofilu,** czyli wzbudzenie zbyt wielu cząsteczek chlorofilu, które sprawia, że barwnik ulega inaktywacji i przestaje spełniać swoją funkcję,
- **intensywna transpiracja**, która powoduje spadek turgoru, zamykanie aparatów szparkowych, a w efekcie brak dopływu dwutlenku węgla.



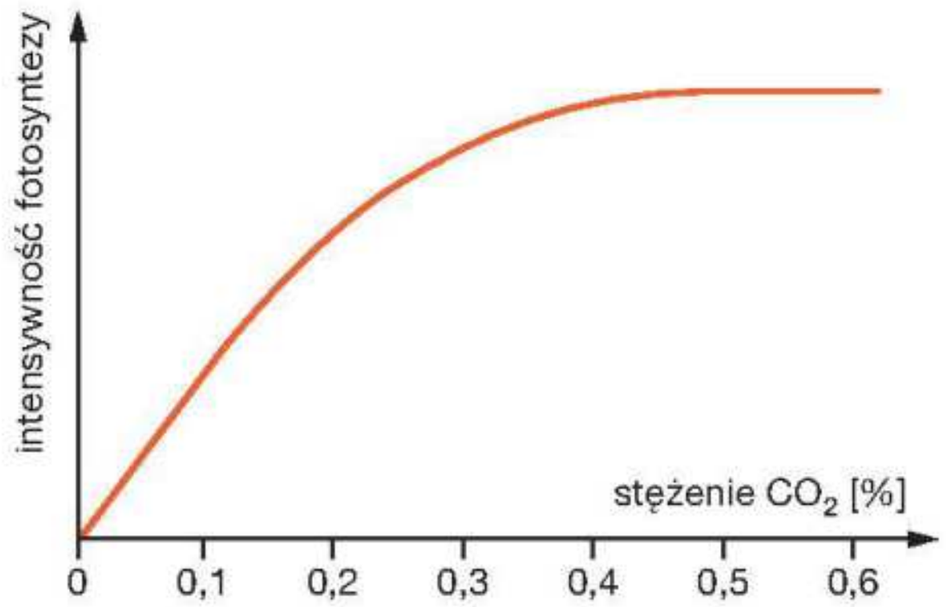
Zależność intensywności fotosyntezy od natężenia światła.

Światło wpływa na przebieg fotosyntezy również w sposób pośredni, ponieważ przyczynia się do rozwoju miękiszu asymilacyjnego liści, powstawania chloroplastów i chlorofilu. Bez dostępu do światła siewki roślin przyjmują żółtą barwę. Pochodzi ona od etioplastów, czyli plastydów zawierających żółty barwnik – protochlorofilid. Etioplasty przy dostatecznej ilości światła przekształcają się w chloroplasty.

Dwutlenek węgla

Dwutlenek węgla jest jednym z substratów fotosyntezy wykorzystywanych w fazie niezależnej od światła. Rośliny lądowe pobierają go w postaci gazowej, a rośliny wodne – w formie jonów wodorowęglanowych (HCO_3^-). Zawartość dwutlenku węgla w środowisku lądowym i wodnym jest znacznie mniejsza niż wartości optymalne, przy których fotosynteza osiąga

największą intensywność. Obecnie w atmosferze znajduje się ok. 0,03% tego gazu. Wraz ze zwiększaniem się jego stężenia – jednak tylko do określonych wartości (zwykle ok. 1%) – zwiększa się intensywność fotosyntezy. Zależność tę wykorzystuje się m.in. w szklarniowej uprawie niektórych roślin. W szklarniach umieszcza się bryły suchego lodu (zestalonego dwutlenku węgla), które są źródłem gazowego dwutlenku węgla wykorzystywanego do fotosyntezy.



Zależność intensywności fotosyntezy od stężenia dwutlenku węgla.

Doświadczenie

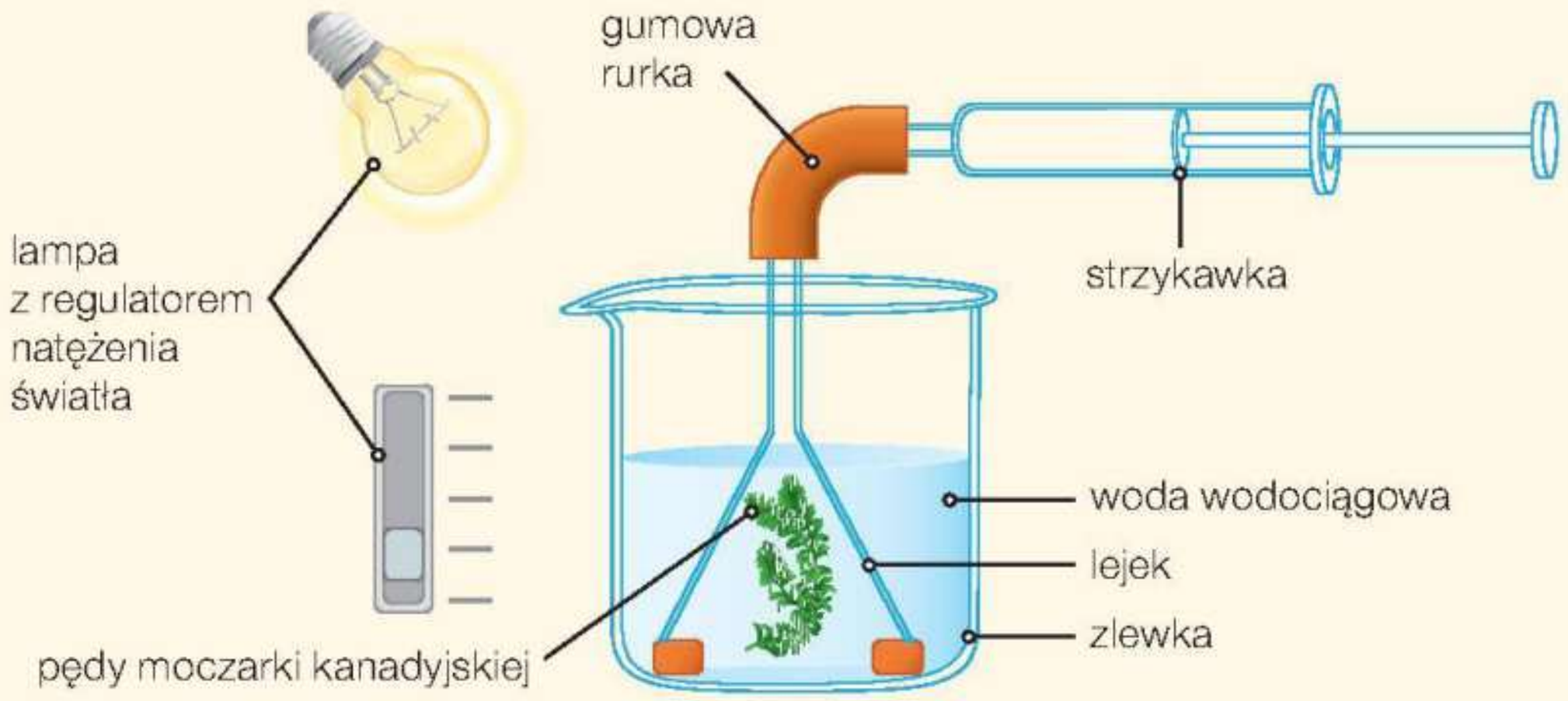
Badanie wpływu natężenia światła na intensywność fotosyntezy

- **Problem badawczy:** Wpływ natężenia światła na intensywność fotosyntezy u moczarki kanadyjskiej.
- **Hipoteza:** Wzrost natężenia światła powoduje wzrost intensywności fotosyntezy u moczarki kanadyjskiej.
- **Przebieg doświadczenia:**

  Próba badawcza: Zlewka z moczarką kanadyjską zanurzoną w wodzie wodociągowej o temperaturze 20°C, oświetlana światłem o różnym natężeniu.

  Próba kontrolna: Zlewka z moczarką kanadyjską zanurzoną w wodzie wodociągowej o temperaturze 20°C, oświetlana światłem o stałym, niskim natężeniu.

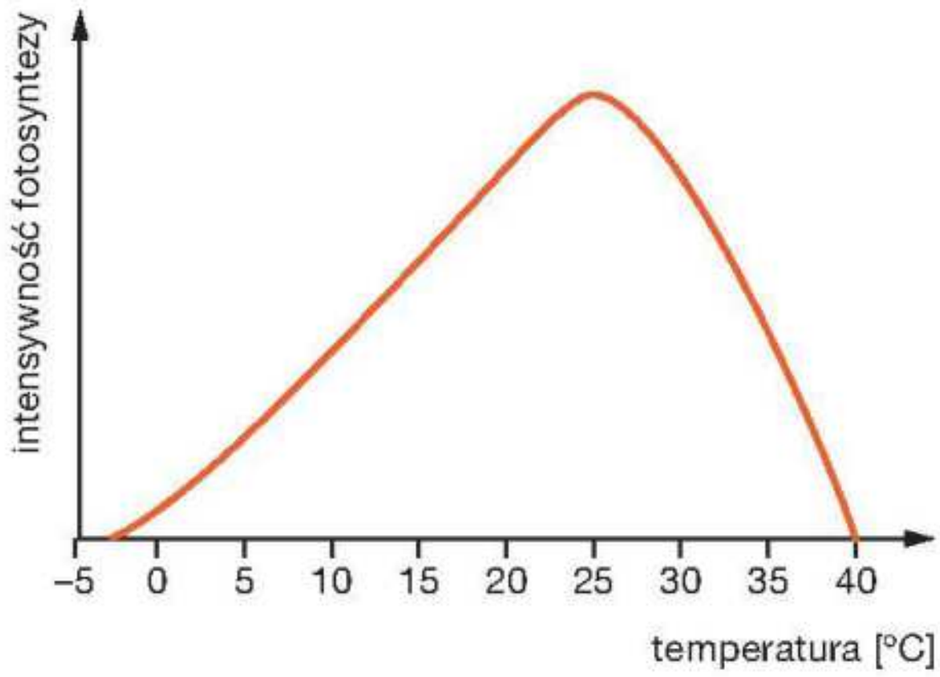
Przygotuj dwie zlewki z wodą wodociągową o temperaturze ok. 20°C. Następnie umieść w każdej z nich jednakowej wielkości pędy moczarki kanadyjskiej i przykryj je lejkami. Wyloty lejków połącz gumową rurką ze strzykawką, zgodnie z przedstawionym rysunkiem. Jedną próbę oświetlaj po pół godziny światłem o różnym natężeniu – od najmniejszego do największego. Drugą próbę oświetlaj przez taki sam czas światłem o stałym, najniższym natężeniu.



- **Wynik doświadczenia:** Obserwuj wydzielanie się pęcherzyków gazu z liści moczarki kanadyjskiej umieszczonej w obu zlewkach oraz objętość gazu w strzykawce.
- **Wniosek:** Sformułuj wniosek.
- **Wyjaśnienie:** Rośliny przeprowadzają fotosyntezę oksygeniczną, dlatego parametrami, które świadczą o intensywności fotosyntezy, są liczba ulatniających się pęcherzyków tlenu oraz objętość tlenu gromadzącego się w strzykawce.

Temperatura

Temperatura wpływa na aktywność enzymów biorących udział w procesie fotosyntezy. Wymagania roślin wobec temperatury warunkującej reakcje fotosyntezy są odmienne w różnych strefach klimatycznych. Na przykład u roślin strefy okołobiegunowej fotosynteza może zachodzić w temperaturze poniżej 0°C, a u roślin strefy okołorównikowej – w temperaturze bliskiej 50°C. Rośliny strefy umiarkowanej wykazują największą intensywność fotosyntezy w przedziale temperatur 20–30°C.



Zależność intensywności fotosyntezy od temperatury u roślin strefy umiarkowanej.

Doświadczenie

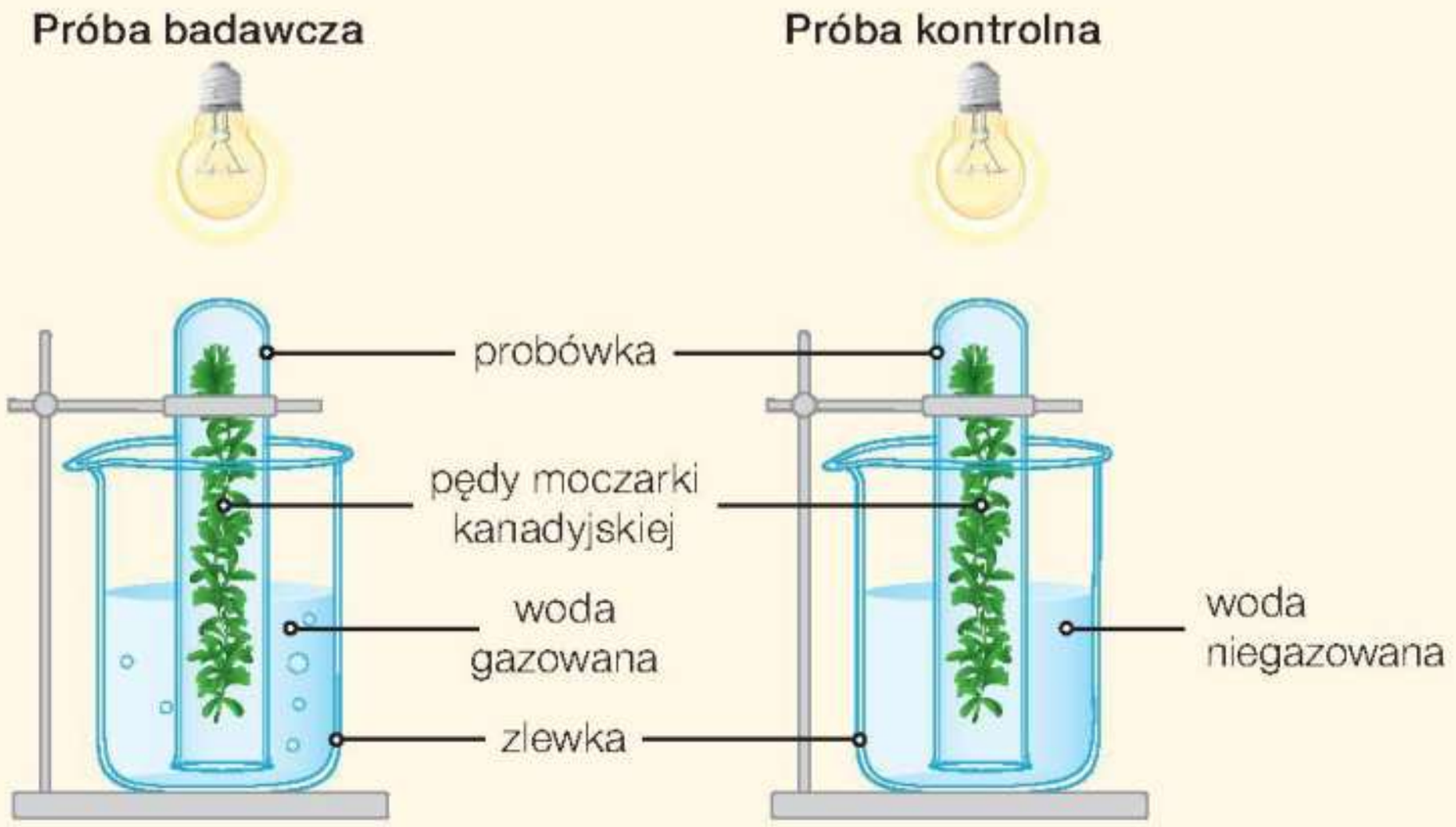
Badanie wpływu stężenia dwutlenku węgla na intensywność fotosyntezy

- **Problem badawczy:** Wpływ stężenia dwutlenku węgla na intensywność fotosyntezy u moczarki kanadyjskiej.
- **Hipoteza:** Podwyższone stężenie dwutlenku węgla powoduje wzrost intensywności fotosyntezy u moczarki kanadyjskiej.
- **Przebieg doświadczenia:**

  Próba badawcza: Probówka z moczarką kanadyjską zanurzoną w gazowanej wodzie mineralnej.

  Próba kontrolna: Probówka z moczarką kanadyjską zanurzoną w niegazowanej wodzie mineralnej.

  Przygotuj dwie zlewki: jedną z wodą gazowaną, a drugą z wodą niegazowaną (obie o jednakowej temperaturze i zawartości soli mineralnych). Następnie napełnij wodą o takich samych parametrach dwie probówki miarowe i umieść w nich podobnej wielkości pędy moczarki kanadyjskiej. Probówki włóż do odpowiednich zlewek i ustaw oba zestawy w oświetlonym miejscu.



- **Wynik doświadczenia:** Obserwuj wydzielanie się pęcherzyków gazu z liści moczarki kanadyjskiej umieszczonej w każdym z zestawów oraz objętość gazu w probówkach miarowych.
- **Wniosek:** Sformułuj wniosek.

Badanie wpływu temperatury na intensywność fotosyntezy

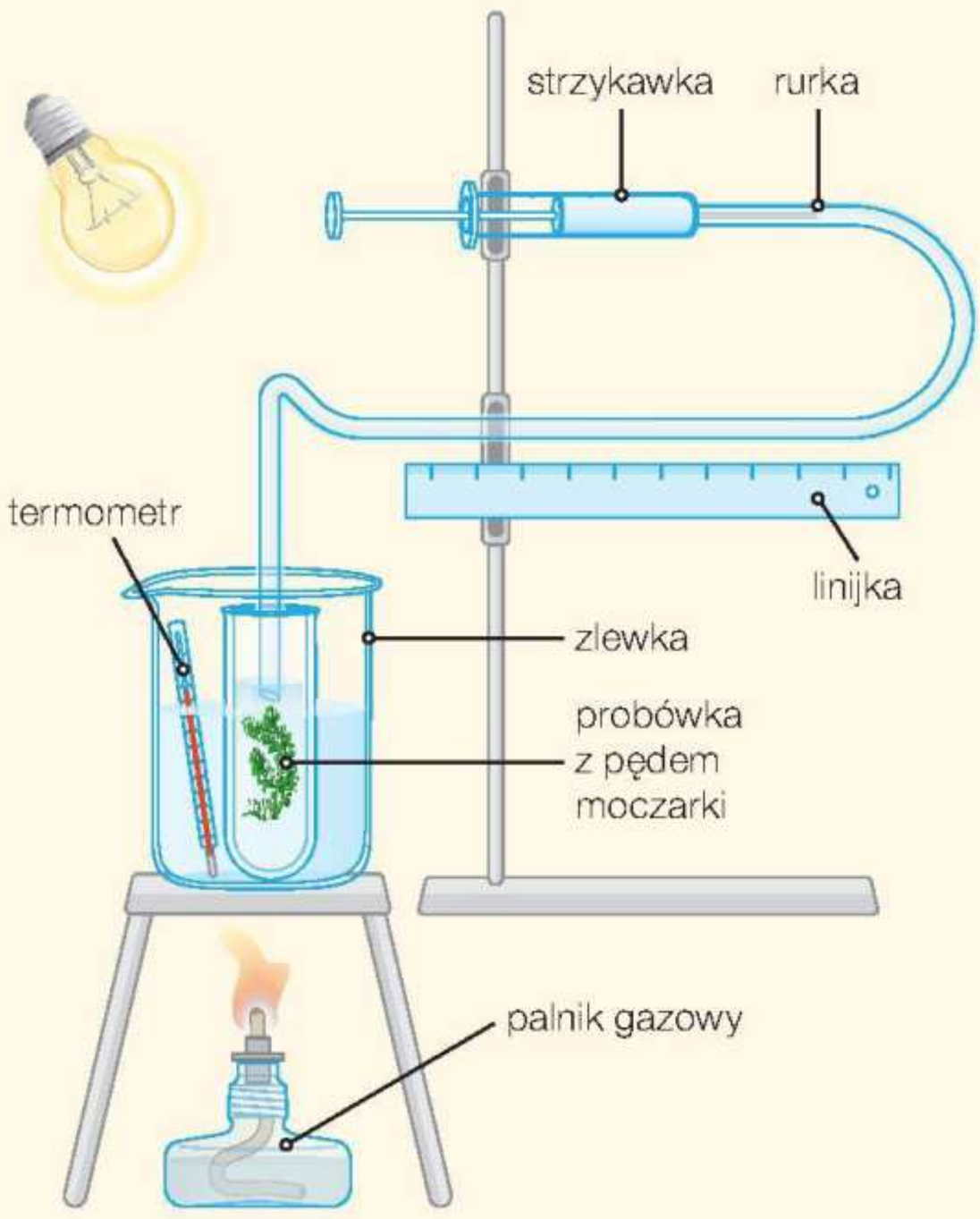
Doświadczenie

- **Problem badawczy:** Wpływ temperatury na intensywność fotosyntezy u moczarki kanadyjskiej.
- **Hipoteza:** Wraz ze wzrostem temperatury rośnie intensywność fotosyntezy u moczarki kanadyjskiej.
- **Przebieg doświadczenia:**

  Próba badawcza: Probówka z moczarką kanadyjską, zanurzoną w wodzie wodociągowej podgrzewanej stopniowo od temperatury 20°C do temperatury 50°C.

  Próba kontrolna: Probówka z moczarką kanadyjską, zanurzoną w wodzie wodociągowej o temperaturze 20°C.

  Przygotuj dwa zestawy. Jeden zgodnie z przedstawionym rysunkiem, a drugi – bez palnika gazowego. W probówkach z wodą wodociągową umieść podobnej wielkości pędy moczarki kanadyjskiej. Probówki włóż do zlewek wypełnionych wodą wodociągową o temperaturze 20°C. Probówki połącz gumowymi przezroczystymi rurkami ze strzykawkami. Pod rurkami umieść linijki, a w zlewkach z wodą – termometry. Zadbaj o umieszczenie obu zestawów w jednakowej odległości od źródła światła. Następnie jedną zlewkę z probówką podgrzewaj nad palnikiem gazowym do temperatur: 30, 40 i 50°C. Drugiej zlewki z probówką nie podgrzewaj.



- **Wynik doświadczenia:** Obserwuj szybkość przemieszczania się pęcherzyków gazu w gumowych rurkach oraz objętość gazu w strzykawkach.
- **Wniosek:** Sformułuj wniosek.

Woda

Woda jest niezbędna do zajścia fotosyntezy, ponieważ stanowi jeden z jej substratów – jest dawcą elektronów i protonów w fazie zależnej od światła. Ponadto woda wpływa na intensywność fotosyntezy w sposób pośredni, ponieważ zapewnia żywotność organów roślinnych oraz odpowiedni turgor komórek roślinnych. Wysoki turgor komórek szparkowych umożliwia otwieranie się aparatów szparkowych, przez które dokonuje się wymiana gazowa, czyli pobieranie dwutlenku węgla i uwalnianie tlenu.

Długotrwały brak wody powoduje obumieranie nadziemnych części roślin, co uniemożliwia zachodzenie fotosyntezy.

Sole mineralne

Do prawidłowego przebiegu fotosyntezy niezbędne są sole mineralne, m.in. sole magnezu, potasu, cynku czy manganu. Magnez wchodzi w skład pierścienia porfirynowego chlorofilu, jest więc potrzebny do syntezy tego barwnika. Jony potasu i cynku warunkują z kolei aktywność enzymów fotosyntetycznych, a mangan uczestniczy w fotolizie wody. Niedobór chociażby jednego z niezbędnych pierwiastków, mimo optymalnych ilości pozostałych, powoduje zmniejszenie intensywności fotosyntezy, a w skrajnych przypadkach – jej całkowite zahamowanie.

Objawy niedoboru magnezu w liściach pszenicy.

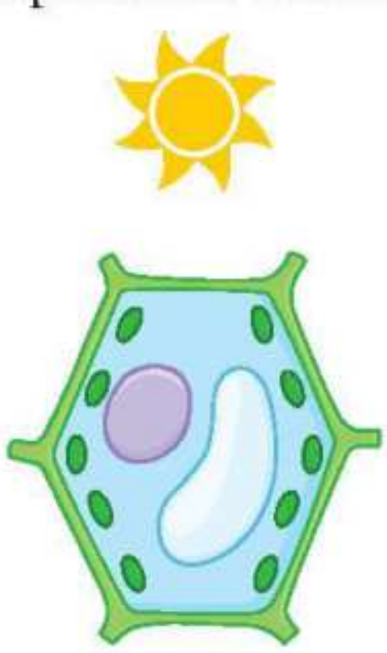
Czynniki wewnętrzne wpływające na intensywność fotosyntezy

Czynniki wewnętrzne wpływające na intensywność fotosyntezy to przystosowania morfologiczne, anatomiczne i metaboliczne organizmów fotosyntetyzujących do określonych warunków środowiska. Do czynników wewnętrznych należą:

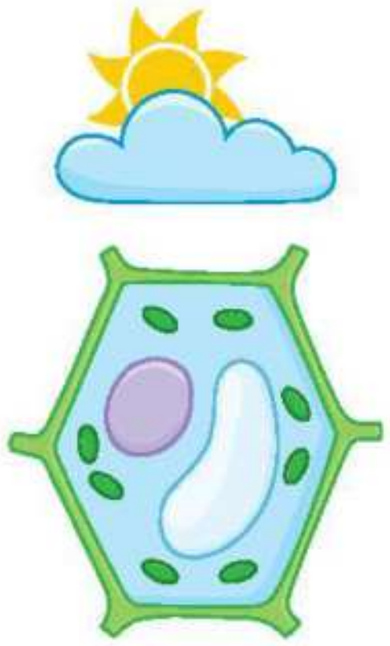
- wielkość blaszki liściowej,
- stosunek powierzchni liścia do jego objętości,
- liczba i rozmieszczenie aparatów szparkowych w skórce liścia,
- grubość kutykuli na powierzchni liścia,
- wielkość przestrzeni międzykomórkowych w miękiszu asymilacyjnym,
- rozmieszczenie chloroplastów w komórkach miękiszu asymilacyjnego,
- zawartość chlorofilu w chloroplastach.

Rozmieszczenie chloroplastów w zależności od warunków świetlnych

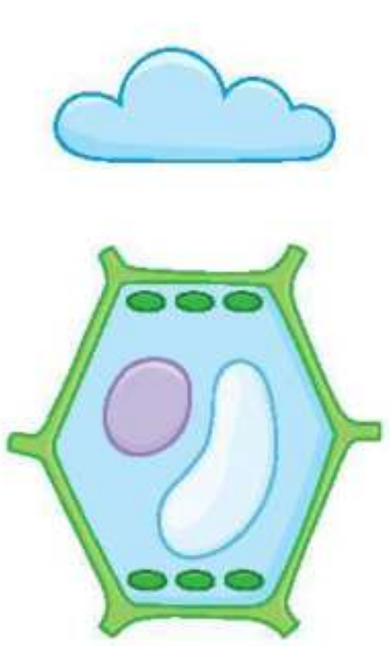
Dla organizmów fotosyntetyzujących niekorzystny jest zarówno niedobór, jak i nadmiar światła. Dlatego w komórkach wielu z nich, np. niektórych roślin i protistów roślinopodobnych, chloroplasty mogą się przemieszczać. Dzięki temu ustawiają się one w sposób zwiększający lub zmniejszający powierzchnię kontaktu ze światłem. Za ruch chloroplastów odpowiadają prawdopodobnie włókna cytoszkieletu.



Duże natężenie światła powoduje, że chloroplasty ustawiają się przy ścianach komórkowych równoległych do kierunku padania promieni świetlnych.



Umiarkowane natężenie światła powoduje, że chloroplasty rozkładają się w komórce równomiernie.



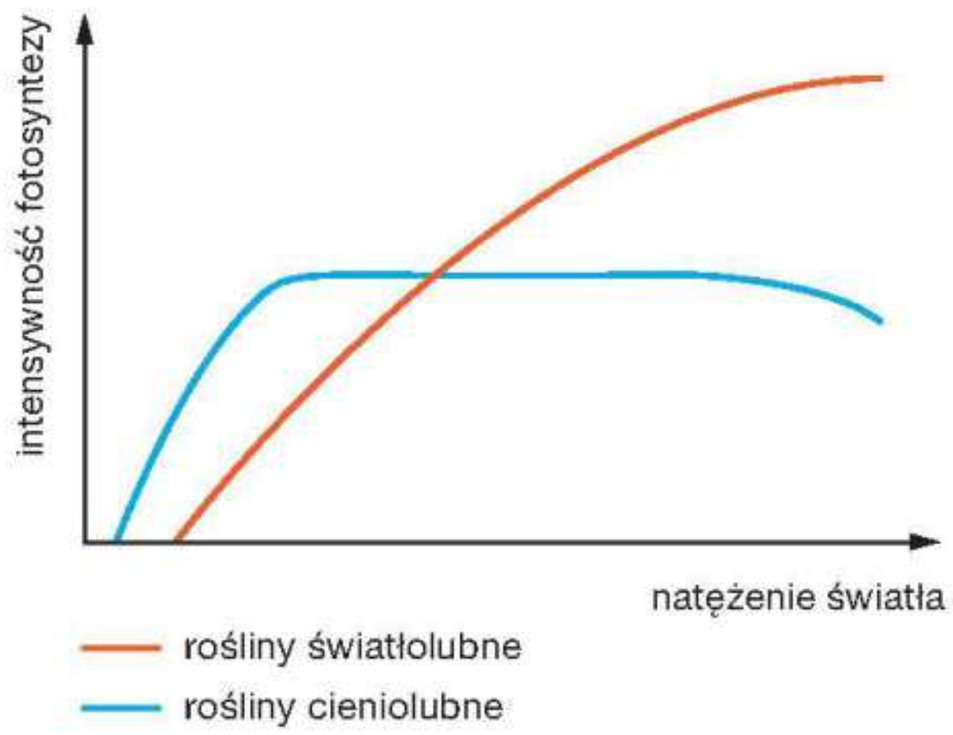
Słabe natężenie światła powoduje, że chloroplasty ustawiają się przy ścianach komórkowych prostopadłych do kierunku padania promieni świetlnych.

Przystosowania roślin światłolubnych i cieniolubnych do fotosyntezy

Rośliny światłolubne i cieniolubne wykorzystują podczas fotosyntezy światło o różnym natężeniu. Umożliwiają im to przystosowania w budowie liści lub łodyg, właściwości komórek miękiszu oraz struktura aparatu fotosyntetycznego[1].

Rośliny światłolubne są przystosowane do wykorzystywania dużej ilości światła i radzenia sobie z jego nadmiarem oraz z brakiem wody. Ich mięsiste liście lub łodygi, okryte grubą warstwą kutykuli, magazynują wodę. Miękisz palisadowy tych roślin jest silnie rozwinięty i często wielowarstwowy, a w miękiszu gąbczastym znajduje się niewiele przestworów międzykomórkowych.

Z kolei liście **roślin cieniolubnych** mają cienką blaszkę liściową, pokrytą cienką warstwą kutykuli. Komórki skórki tych roślin są często zaopatrzone w chloroplasty, a komórki miękiszu palisadowego są stosunkowo krótkie. Aparat fotosyntetyczny roślin cieniolubnych charakteryzuje się większą niż u roślin światłolubnych zawartością barwników antenowych, głównie chlorofilu b. Różnice w budowie aparatu fotosyntetycznego mogą występować też w obrębie tej samej rośliny, jeśli jej liście znajdują się w różnych warunkach świetlnych.



Zależność intensywności fotosyntezy od natężenia światła u roślin światłolubnych i cieniolubnych.

Agawa (*Agave*) jest rośliną światłolubną, która gromadzi wodę w liściach. Pokrywa je gruba warstwa kutykuli i wosku, zabezpieczająca roślinę przed nadmiernym parowaniem wody i przegrzaniem.

Przylaszczka pospolita (*Hepatica nobilis*) jest rośliną cieniolubną. Jej młode liście z czasem stają się ciemnozielone ze względu na dużą zawartość chlorofilu.

[1] **Aparat fotosyntetyczny** – zespół wszystkich elementów uczestniczących w fotosyntezie.

Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij, jak natężenie światła wpływa na intensywność fotosyntezy.
2. Wyjaśnij, jakie znaczenie dla ogrodnictwa ma znajomość czynników wpływających na intensywność fotosyntezy.
3. Zaproponuj przebieg doświadczenia, w którym zbadasz:
   a. jaki gaz jest wydzielany podczas fotosyntezy,
   b. wpływ barwy światła na intensywność fotosyntezy.
4. Określ, w jaki sposób zmienia się rozmieszczenie chloroplastów w komórkach roślin w zależności od warunków świetlnych. Wyjaśnij, dlaczego tak się dzieje.

4.5. Transport asymilatów w roślinie

Zwróć uwagę na:
- drogi transportu asymilatów w roślinie,
- mechanizm transportu 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. 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 natomiast dużą aktywnością osmotyczną.

Transport sacharozy w roślinie

Transport sacharozy w roślinie zachodzi w trzech etapach:

- pierwszym etapem jest **załadunek łyka**, czyli przemieszczanie się sacharozy z komórek **donora** do elementów przewodzących łyka; donorami są przede wszystkim dojrzałe liście,
- drugim etapem jest **pionowy transport sacharozy** w górę i w dół rośliny, który zachodzi w elementach przewodzących łyka,
- 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).

Etap 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.

Etap 2. Pionowy transport sacharozy w elementach przewodzących łyka

Pionowy transport sacharozy odbywa się w elementach przewodzących łyka, które stanowią część symplastu. U roślin okrytozalążkowych 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). W czasie załadunku łyka we wnętrzu rurek sitowych następuje zwiększenie stężenia sacharozy i obniżenie potencjału wody. To pociąga za sobą osmotyczny napływ wody z naczyń do rurek sitowych. Dzięki temu powstaje dodatnie ciśnienie hydrostatyczne, które tłoczy roztwór cukru w rurce sitowej.

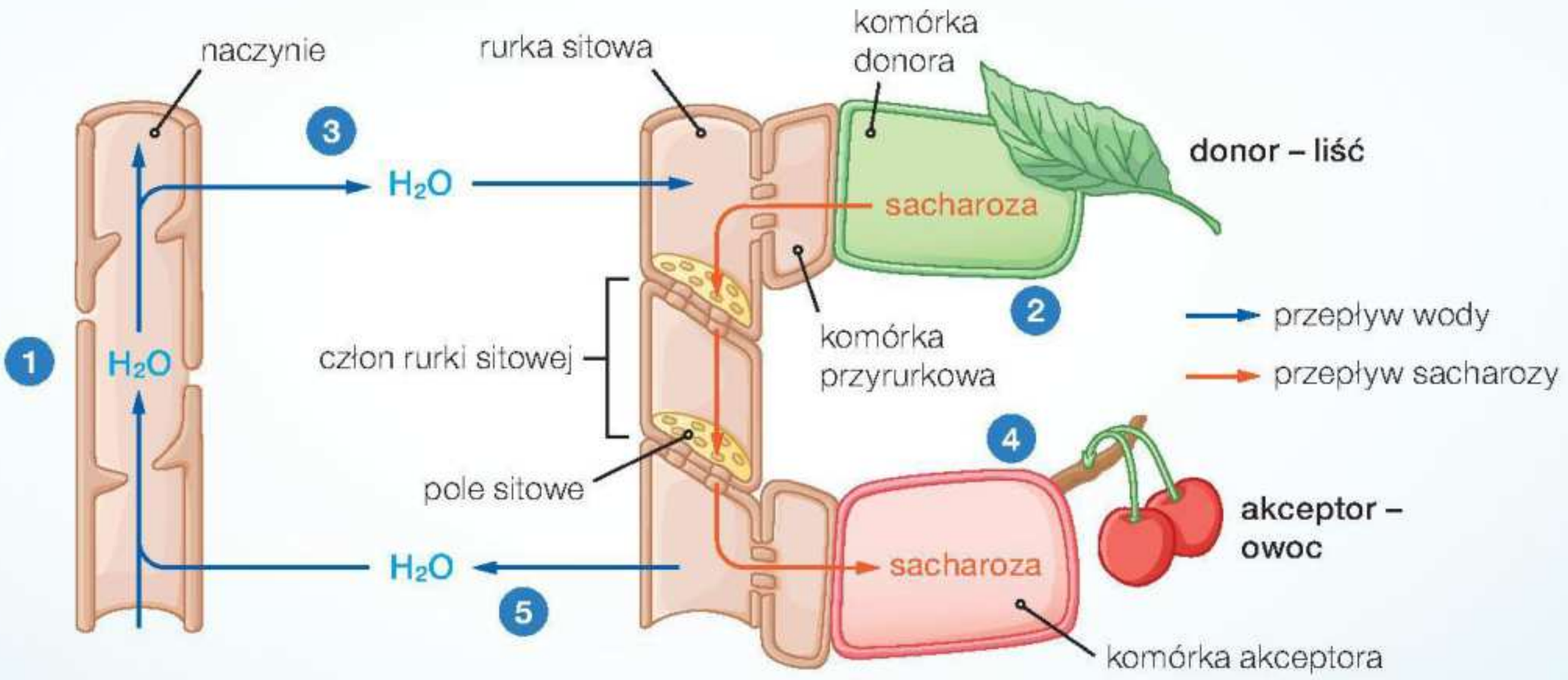
Etap 3. Rozładunek łyka

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, transport ten przebiega wbrew gradientowi stężeń, wymaga więc nakładu energii. Natomiast w przypadku, gdy akceptorami są młode, rosnące liście, transport ten przebiega zgodnie z gradientem stężeń, nie wymaga więc nakładu energii.

Transport sacharozy w roślinie

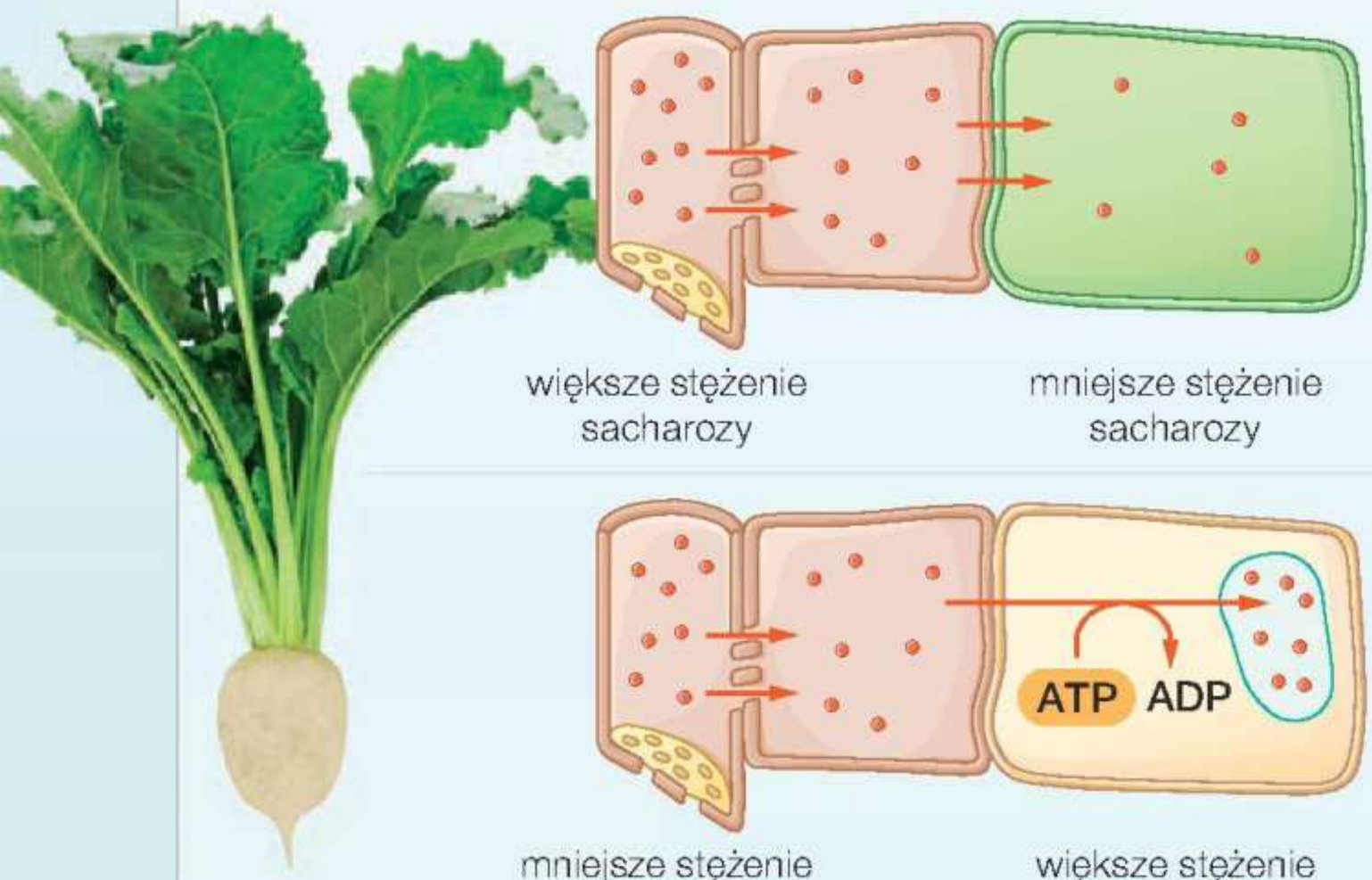
Transport sacharozy w roślinie zachodzi od donorów, poprzez komórki przewodzące łyka, do akceptorów. Uczestniczy w nim woda, która przepływa do rurek sitowych z sąsadujących naczyń.



1. Transpiracja powoduje podciąganie wody w naczyniach wiązki przewodzącej.
2. Odbywa się załadunek łyka. Sacharoza wyprodukowana w donorach – liściach – zostaje przetransporowana do rurek sitowych wiązki przewodzącej.
3. Sacharoza obniża potencjał wody w rurkach sitowych, co pociąga za sobą osmotyczny przepływ wody z naczyń do rurek sitowych. Dzięki temu powstaje ciśnienie hydrostatyczne, które tłoczy roztwór cukru w rurce sitowej.
4. Odbywa się rozładunek łyka. Sacharoza zostaje przetransportowana do komórek akceptora.
5. Ubytek sacharozy podwyższa potencjał wody w rurkach sitowych, co pociąga za sobą osmotyczny przepływ wody z rurek sitowych do naczyń.

Rozładunek łyka u buraka cukrowego

Burak cukrowy (*Beta vulgaris*) jest rośliną dwuletnią, która w pierwszym roku życia wytwarza korzeń spichrzowy. W wakuolach komórek korzenia jest magazynowana sacharoza.



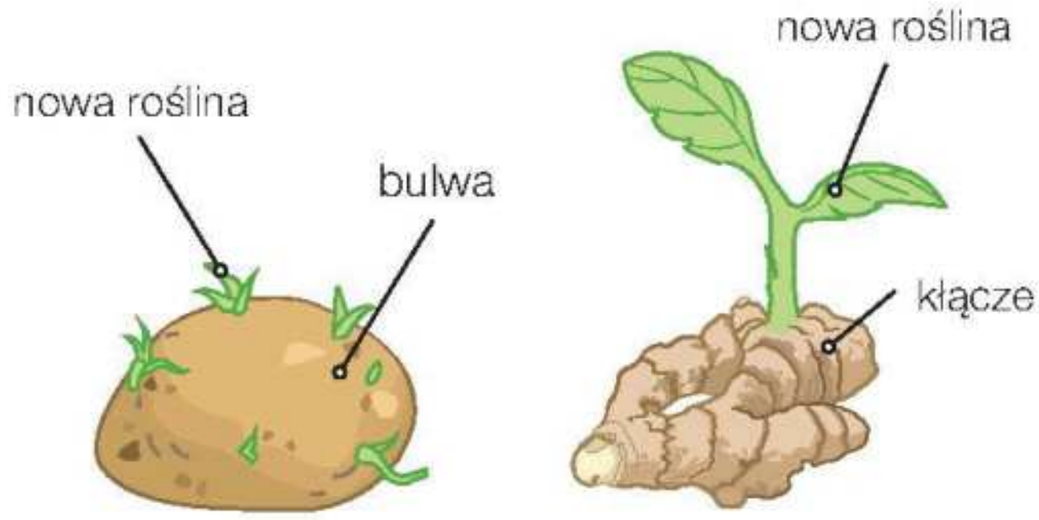
W przypadku, gdy akceptorami sacharozy są młode, rosnące liście, rozładunek łyka nie wymaga nakładu energii. Stężenie sacharozy w komórkach miękiszu liści jest małe, dlatego jej transport z komórek łyka odbywa się zgodnie z gradientem stężeń.

W przypadku, 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.

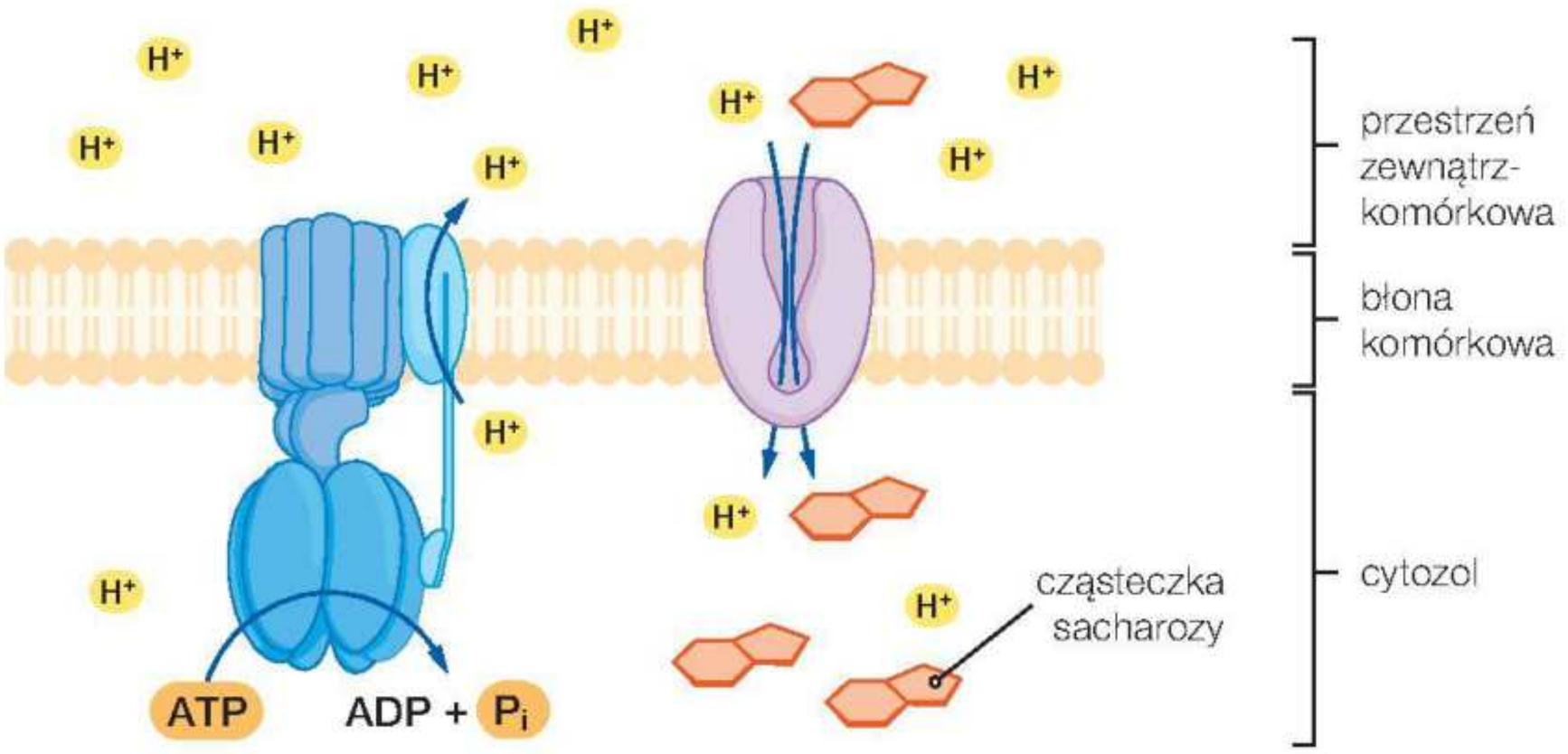


Bulwa ziemniaka oraz kłącze imbiru są zarówno akceptorami, jak i donorami asymilatów. Funkcję akceptora pełnią wtedy, gdy magazynują substancje zapasowe dopływające z liści, a funkcję donora – wtedy, gdy wyrastają z nich nowe rośliny.

Czynny transport sacharozy w roślinie

Przypomnij sobie

Czynny transport sacharozy w roślinie zachodzi przez białka nośnikowe błon komórkowych. Jest to transport sprzężony z transportem jonów H^+, które są dostarczane przez pompę protonową.



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

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

Polecenia kontrolne

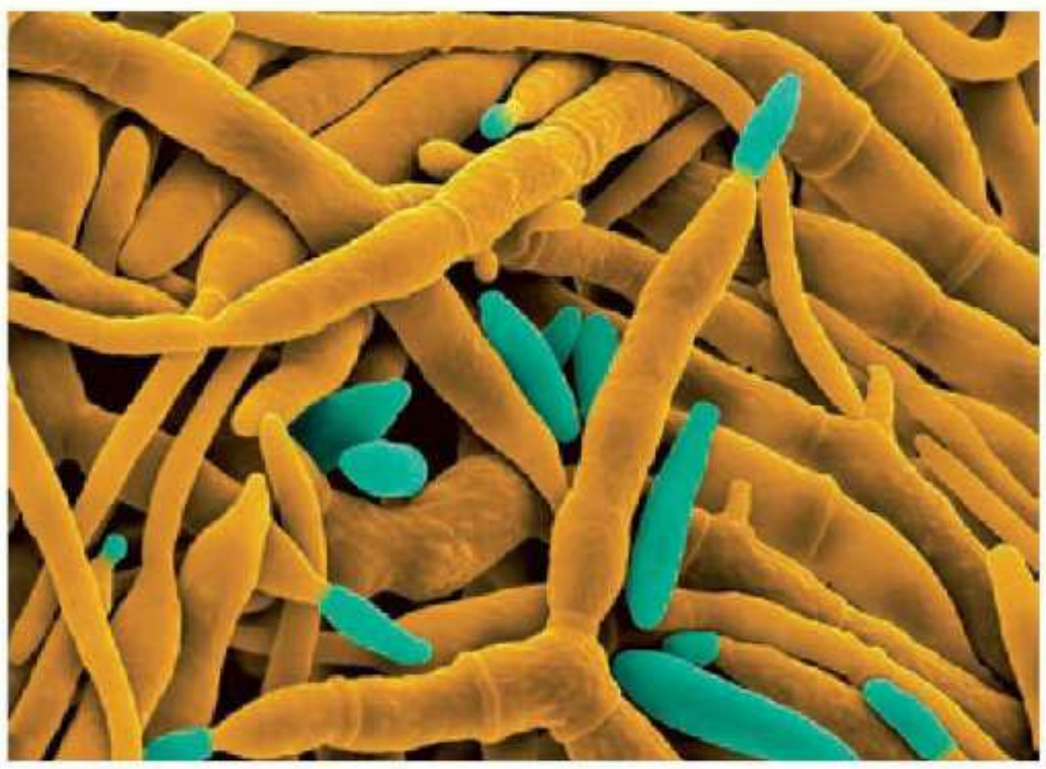
1. Omów kolejne etapy transportu sacharozy w roślinie.
2. Wyjaśnij pojęcia: *donor asymilatów* i *akceptor asymilatów*.
3. Określ, w jakiej sytuacji bulwa ziemniaka jest akceptorem asymilatów, a w jakiej – ich donorem.

4.6. Hormony roślinne

Zwróć uwagę na:
- cechy hormonów roślinnych,
- rolę auksyn, giberelin, cytokinin, kwasu abscysynowego i etylenu w procesach wzrostu i rozwoju roślin.

Rośliny w ciągu życia rosną i rozwijają się. Rozwój roślin polega na kiełkowaniu nasion, wykształcaniu organów wegetatywnych, a następnie organów generatywnych. 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.

Do fitohormonów zalicza się kilka klas związków, m.in. auksyny, gibereliny, cytokininy, kwas abscysynowy (ABA) i etylen. Pierwszym odkrytym fitohormonem był kwas indolilo-3-octowy (IAA), należący do klasy auksyn.



Niektóre związki pełniące funkcję fitormonów spotyka się także u innych organizmów. Na przykład kwas giberelowy (GA_3), należący do klasy giberelin, został odkryty u grzyba *Gibberella fujikuroi*.

Budowa chemiczna fitohormonów

Hormony roślinne są **substancjami drobnocząsteczkowymi** o różnorodnej budowie chemicznej. Większość z nich to związki pierścieniowe, np. pochodne zasady azotowej – adeniny. 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 innych częściach rośliny, do których są transportowane za pomocą drewna lub łyka. Związki te kontrolują wzrost i rozwój roślin, wpływając m.in. na podziały komórkowe oraz wzrost wydłużeniowy i różnicowanie się komórek. Skutki ich aktywności zależą głównie od stężenia, gatunku rośliny oraz jej stadium rozwojowego.

Cechy hormonów roślinnych:

- działają w bardzo małych stężeniach, rzędu 10^{-6} mol/dm^3 lub nawet mniejszych,
- działają plejotropowo – każdy z nich wpływa na wiele różnych procesów zachodzących w roślinie,
- działają wspólnie – przebieg jednego procesu jest regulowany za pomocą kilku różnych hormonów,
- działają pobudzająco lub hamująco – w danym procesie fizjologicznym uczestniczą zarówno hormony, które go pobudzają, jak i hormony, które go hamują; ostateczna reakcja rośliny zależy od proporcji obu grup hormonów; ponadto dany hormon może stymulować jeden proces i jednocześnie hamować inny albo, w zależności od stężenia, może stymulować lub hamować ten sam proces.
- działają tylko na te komórki, które zawierają odpowiednie receptory; dzięki temu zachodzi wytworzenie komleksu hormon–receptor i zapoczątkowanie reakcji fizjologicznej.

Fitohormony

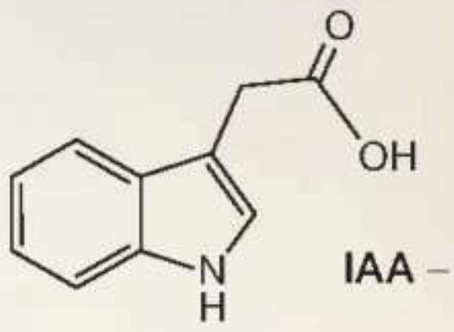
Fitohormony to drobnocząsteczkowe związki organiczne o różnorodnej budowie chemicznej. Regulują one wzrost i rozwój roślin poprzez pobudzanie lub hamowanie różnych procesów fizjologicznych.

Auksyny

Auksyny są wytwarzane w wierzchołkach wzrostu pędów, młodych liściach, pąkach, kwiatach i owocach.

Działanie auksyn:

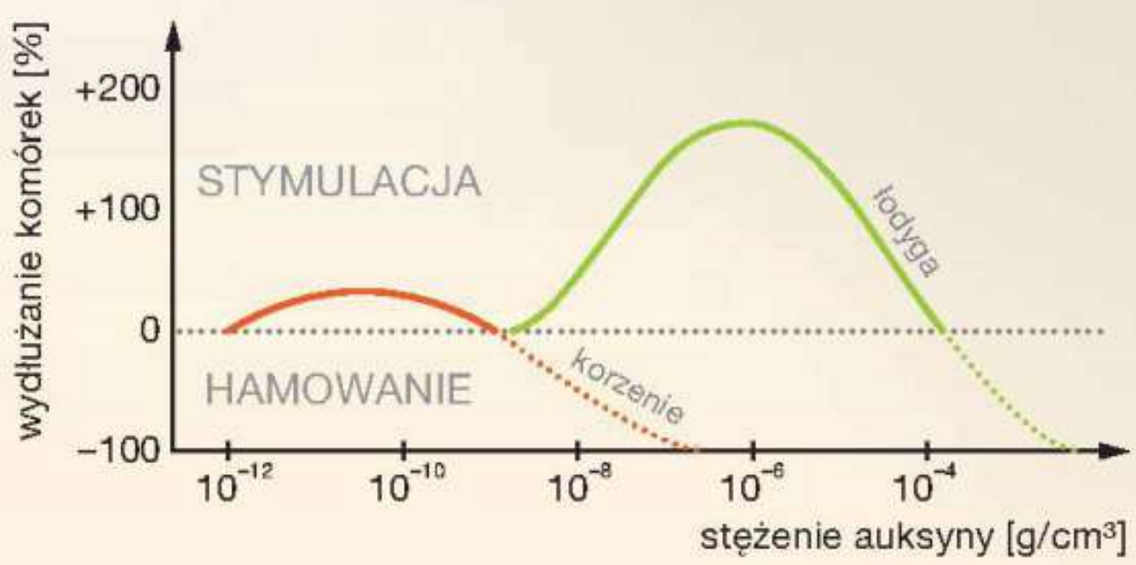
- pobudzają wzrost wydłużeniowy komórek, co umożliwia m.in. wzrost i ruchy organów roślinnych,
- stymulują podziały komórek kambium, co skutkuje przyrostem łodyg i korzeni na grubość,
- hamują rozwój pąków bocznych pędu,
- stymulują powstawanie zawiązków korzeni bocznych i przybyszowych,
- powodują powstawanie 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. Dlatego małe stężenie tych hormonów (10^{-12}–10^{-9} g/cm^3) pobudza wzrost korzeni, a większe działa hamująco. Inaczej jest w przypadku łodygi – jej wzrost stymuluje stosunkowo duże stężenie auksyn (10^{-8}–10^{-4} g/cm^3).

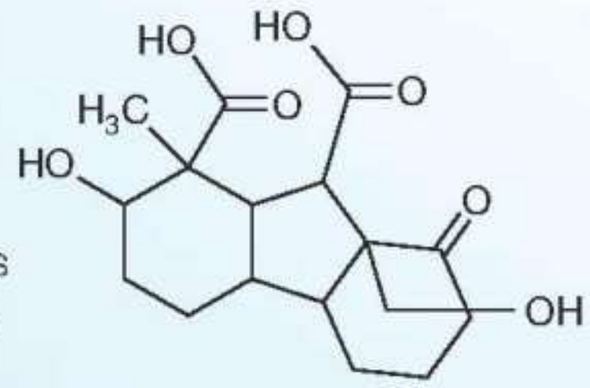


Gibereliny

Gibereliny są wytwarzane w wierzchołkach wzrostu, młodych liściach, kwiatach, owocach i kiełkujących nasionach.

Działanie giberelin:

- pobudzają wzrost wydłużeniowy komórek,
- stymulują podziały komórek kambium, co skutkuje przyrostem łodyg i korzeni na grubość,
- stymulują zakwitanie niektórych gatunków roślin,
- odpowiadają za powstawanie owoców,
- uczestniczą w przerywaniu spoczynku nasion i pobudzają ich kiełkowanie.



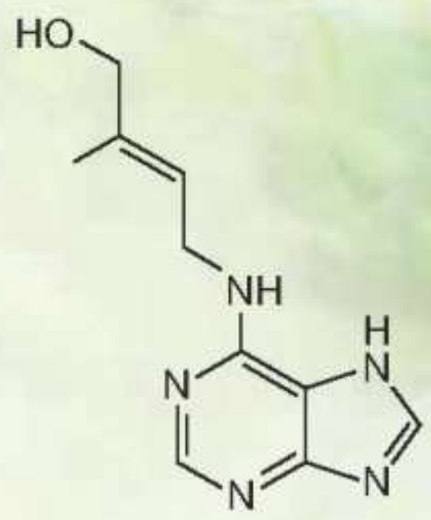
GA_3 – kwas giberelowy.

Cytokininy

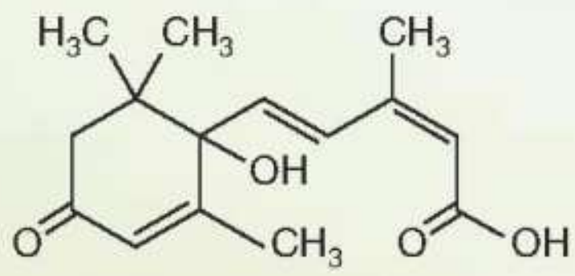
Cytokininy są wytwarzane w korzeniach, młodych liściach, kiełkujących nasionach i owocach.

Działanie cytokinin:

- pobudzają podziały komórkowe,
- odpowiadają za prawidłowy rozwój chloroplastów,
- stymulują wzrost wydłużeniowy oraz różnicowanie się komórek,
- współdziałają z auksynami w procesie różnicowania się tkanek i organów,
- przerywają spoczynek nasion i stymulują ich kiełkowanie,
- pobudzają rozwój pąków bocznych,
- opóźniają procesy starzenia się tkanek i organów roślinnych.



Zeatyna.



ABA – kwas abscysynowy.

Kwas abscysynowy

Kwas abscysynowy jest wytwarzany w korzeniach, dojrzałych liściach i owocach, pąkach oraz nasionach.

Działanie kwasu abscysynowego:

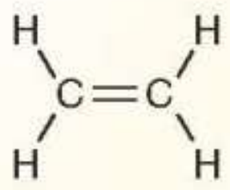
- odpowiada za spoczynek pąków i nasion,
- hamuje wzrost pędów, przyspiesza opadanie liści i owoców,
- powoduje starzenie się tkanek i organów roślinnych,
- odpowiada za reakcje roślin na stres, np. w sytuacji niedostatku wody stymuluje zamykanie aparatów szparkowych.

Etylen

Etylen jest wytwarzany we wszystkich organach rośliny. Największym jego stężeniem cechują się dojrzewające owoce oraz starzejące się tkanki roślinne.

Działanie etylenu:

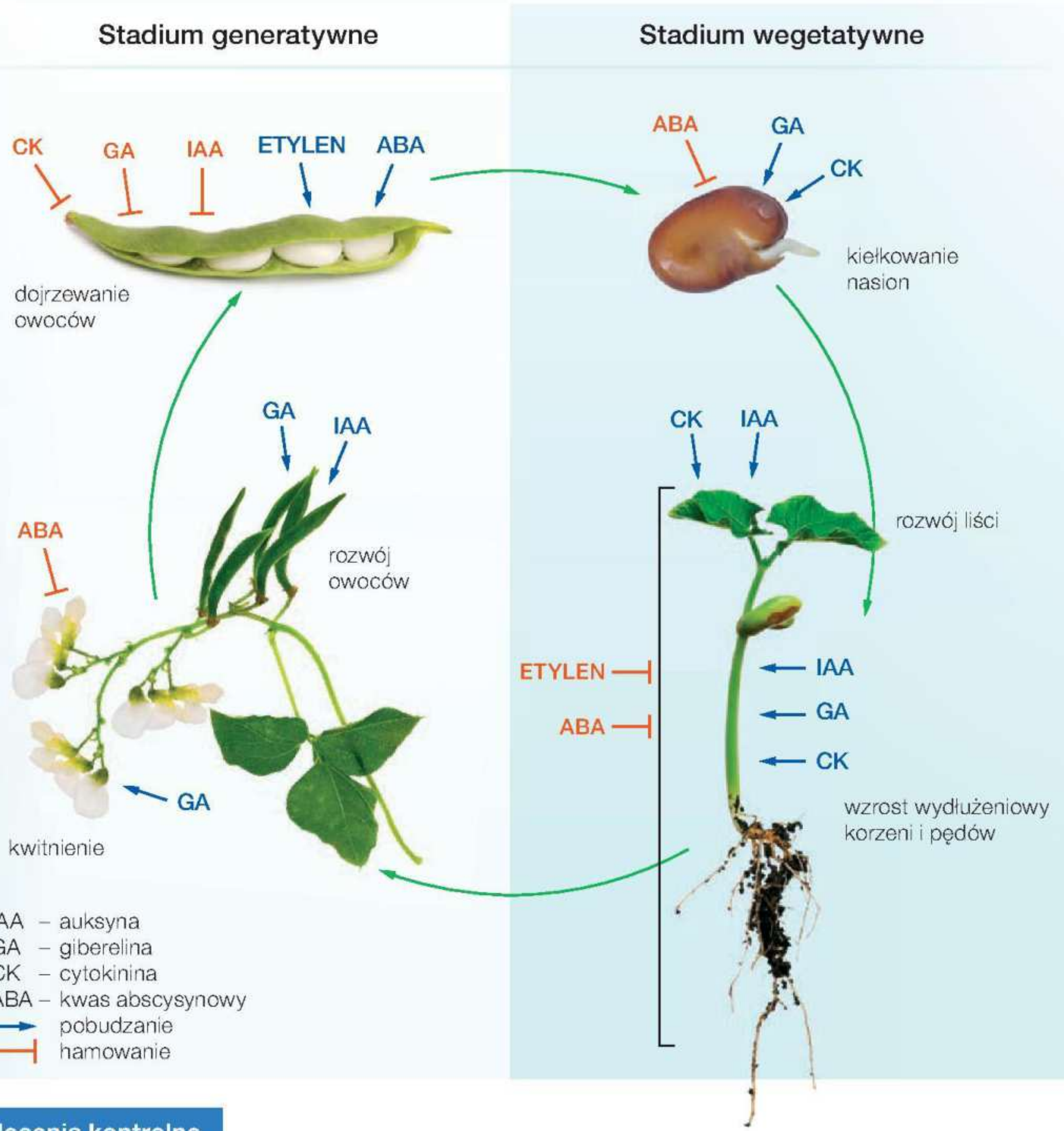
- stymuluje dojrzewanie owoców,
- powoduje opadanie owoców i liści,
- odpowiada za reakcje roślin na stres wywołany np. niedostatkiem wody, uszkodzeniami mechanicznymi, infekcją, chłodem lub przegrzaniem.



Etylen.

Synergistyczne i antagonistyczne działanie fitohormonów

Hormony roślinne działają wspólnie i mogą stymulować dany proces fizjologiczny lub go hamować. Synergistyczne działanie hormonów polega na ich współpracy w uruchomieniu określonej reakcji fizjologicznej. Z kolei antagonistyczne działanie hormonów wpływa odwrotnie. Zachodzi ono wtedy, gdy jeden hormon stymuluje określoną reakcję fizjologiczną, a drugi jest jej inhibitorem.



Polecenia kontrolne

1. Podaj główną różnicę między fitohormonami a pozostałymi regulatorami wzrostu i rozwoju roślin.
2. Wymień podstawowe klasy hormonów roślinnych.
3. Określ, na czym polega plejotropowe działanie hormonów roślinnych.
4. Wyjaśnij, na czym polega synergistyczne i antagonistyczne działanie fitohormonów.

4.7. Wzrost i rozwój roślin. Kiełkowanie nasion

Zwróć uwagę na:
- wpływ czynników zewnętrznych i wewnętrznych na kiełkowanie nasion,
- rolę fitohormonów w kiełkowaniu roślin.

Wzrost rośliny jest procesem polegającym na nieodwracalnym zwiększaniu się jej rozmiarów. Jego podstawą są intensywne podziały komórek (wzrost podziałowy) oraz powiększanie się ich objętości (wzrost wydłużeniowy – elongacyjny). Zwiększanie się liczby komórek zachodzi dzięki podziałom mitotycznym tkanek merystematycznych.

Rozwój rośliny to zmiany jakościowe, do których dochodzi w trakcie jej życia. Zmiany te polegają na różnicowaniu się komórek i tkanek oraz na powstawaniu organów. Wzrost i rozwój są ze sobą nierozerwalnie związane: roślina, która rośnie, jednocześnie rozwija się, a rozwojowi rośliny zawsze towarzyszy wzrost. Oba procesy są uwarunkowane genetycznie, podlegają jednak wpływom czynników środowiska. Rozwój osobniczy (ontogeneza) rośliny okrytozalążkowej obejmuje trzy główne etapy.

Etapy ontogenezy rośliny okrytozalążkowej

STADIUM WEGETATYWNE
rozwój zarodkowy (embriogeneza)
kiełkowanie nasion
rozwój wegetatywny
STADIUM GENERATATYWNE
kwitnienie
owocowanie
STARZENIE SIĘ I OBUMIERANIE

Rozwój zarodkowy

Życie rośliny rozpoczyna się w momencie **zapłodnienia** komórki jajowej komórką plemnikową. Proces zapłodnienia prowadzi do powstania **zygoty**, z której – w wyniku podziałów mitotycznych – rozwija się **zarodek**. Rozwój zarodkowy, zwany również rozwojem embrionalnym, prowadzi do wykształcenia się zawiązka korzenia oraz zawiązka pędu. Zawiązek pędu jest zbudowany z łodygi zarodkowej oraz jednego lub dwóch liścieni. Jednocześnie wraz z formowaniem się zarodka powstają pozostałe elementy nasienia: tkanka spichrzowa, którą jest zwykle triploidalne bielmo, i łupina nasienna.

Rozwijający się zarodek wypełnia przestrzeń ograniczoną przez łupinę nasienną, a następnie u większości roślin przechodzi w **stan spoczynku**. Ustają wówczas wzrost i rozwój 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 procesu 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 wynika z niekorzystnych dla kiełkowania warunków środowiska zewnętrznego, głównie z niedostatku wody, nieodpowiedniej temperatury lub – w przypadku niektórych roślin – niewystarczającej ilości światła. Przerwanie spoczynku względnego zachodzi w optymalnych warunkach środowiska.

Spoczynek bezwzględny (głęboki) wynika z braku gotowości nasienia do kiełkowania. Może być on spowodowany m.in.:
- nieprzepuszczalnością łupiny nasiennej dla wody i gazów,
- niedojrzałością (morfologiczną lub fizjologiczną) zarodka,
- wpływem inhibitorów wzrostu i rozwoju roślin.

O przerwaniu spoczynku bezwzględnego decydują czynniki specyficzne dla danego gatunku i uzależnione od przyczyny spoczynku.

Kiełkowanie nasion

Kiełkowanie to zespół procesów fizjologicznych zachodzących w nasieniu. Powodują one aktywację zarodka, która prowadzi do wzrostu i rozwoju siewki. W kiełkowaniu wyróżnia się trzy fazy: pęcznienie, fazę kataboliczną oraz fazę anaboliczną.

- **W fazie pęcznienia** białka zawarte w nasieniu intensywnie pochłaniają wodę. W rezultacie nasienie pęcznieje, łupina nasienna pęka, a do wnętrza nasienia dostaje się tlen. Dzięki temu zachodzi zmiana sposobu oddychania z fermentacji alkoholowej na oddychanie tlenowe, co skutkuje wzmożoną produkcją ATP. Niektóre nasiona, zwane nasionami twardymi, nie pęcznieją, dopóki ich łupina nasienna nie zostanie uszkodzona. W warunkach naturalnych łupinę mogą uszkadzać np. organizmy glebowe.
- **W fazie katabolicznej** zachodzi hydroliza substancji zapasowych tkanki spichrzowej nasienia, które stają się rozpuszczalne w wodzie i przyswajalne dla zarodka. Jednocześnie odbywa się intensywne oddychanie tlenowe.
- **W fazie anabolicznej** następuje synteza nowych składników komórki przy udziale energii zmagazynowanej w ATP. Składniki te umożliwiają dalszy wzrost i rozwój zarodka, a następnie siewki.

Rodzaje kiełkowania

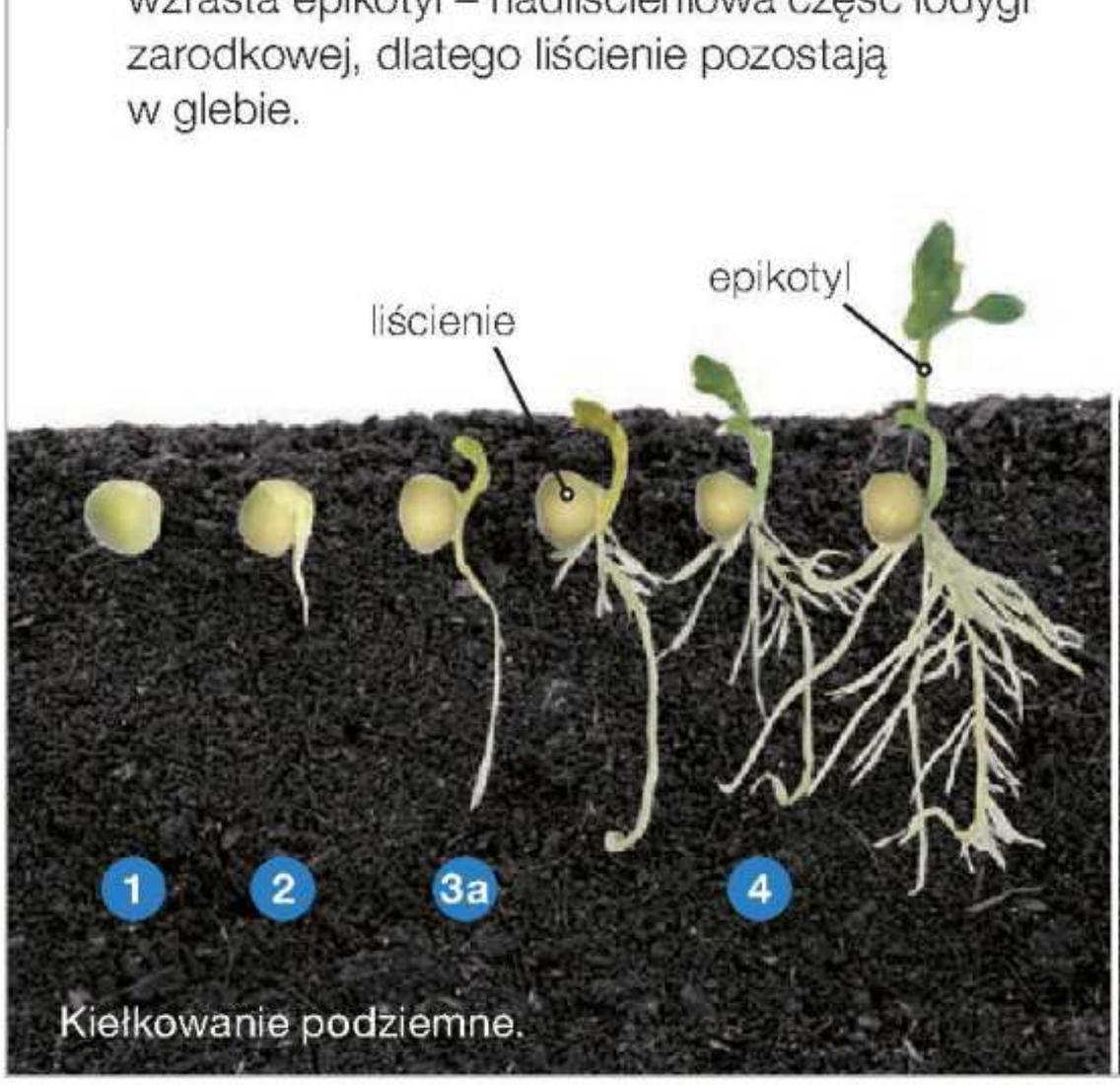
Gotowe do kiełkowania nasienie pochłania wodę i pęcznieje. W wyniku pęcznienia pęka łupina nasienna i wydostaje się korzeń zarodkowy. W zależności od gatunku rośliny dalszy rozwój siewki może przebiegać na dwa sposoby. **Kiełkowanie podziemne** – hipogeiczne – zachodzi np. u grochu, leszczyny lub kukurydzy. **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 podłożu i pobiera z niego wodę z solami mineralnymi. W tym czasie roślina jest całkowicie uzależniona od substancji zapasowych nasienia.

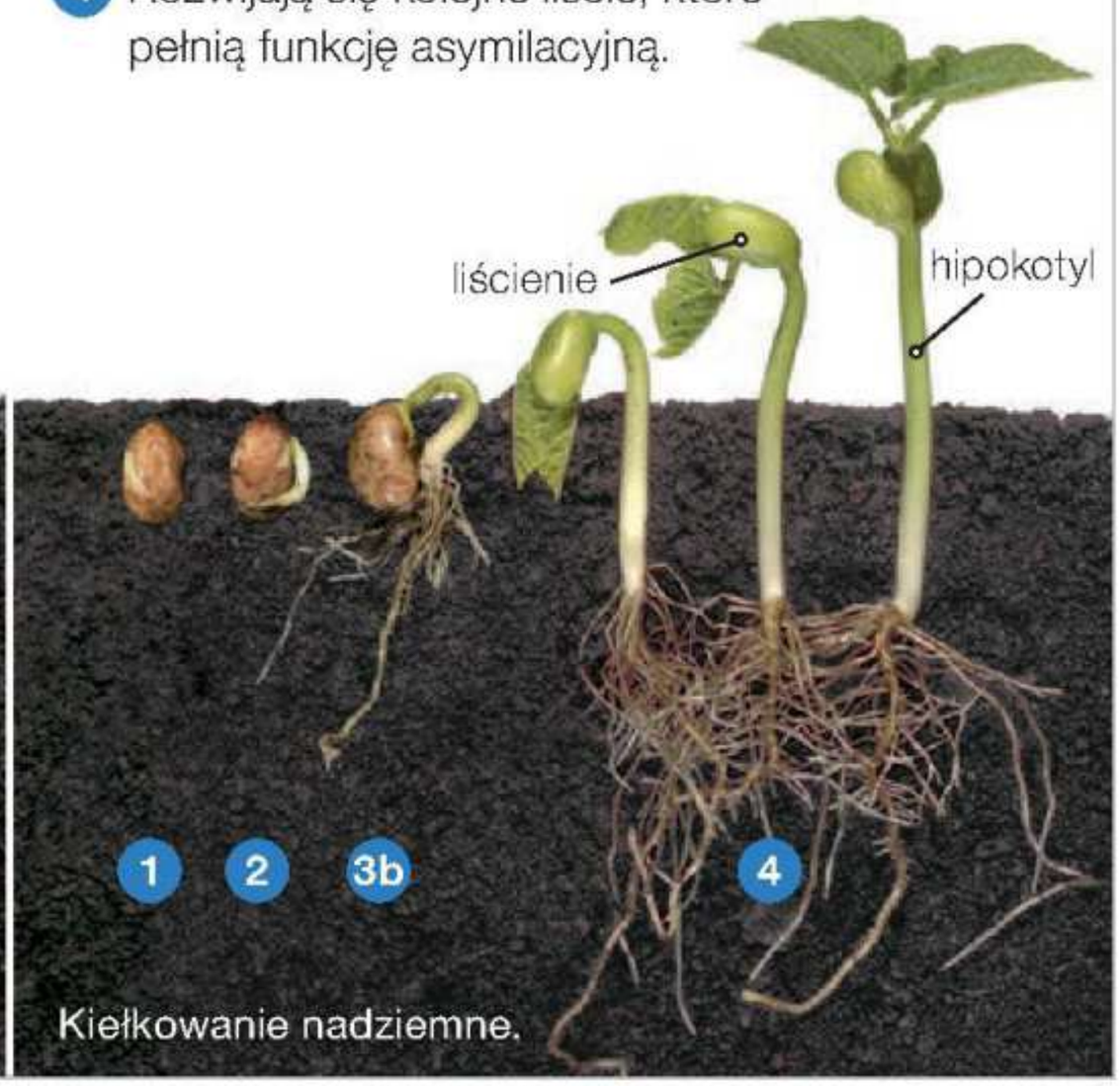
3a. W **kiełkowaniu podziemnym** intensywnie wzrasta epikotyl – nadliścieniowa część łodygi zarodkowej, dlatego liścienie pozostają w glebie.

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.



Kiełkowanie nadziemne.

Wpływ fitohormonów na spoczynek i kiełkowanie nasion

Spoczynek bezwzględny nasion jest uwarunkowany m.in. działaniem **inhibitorów kiełkowania**. Podstawowym inhibitorem tego procesu jest kwas abscysynowy (ABA), który znajduje się w nasionach oraz w owocniach. Hormon ten hamuje wytwarzanie enzymów, które katalizują hydrolizę substancji zapasowych nasienia, głównie amylazy rozkładającej skrobię.

Antagonistami kwasu abscysynowego są **fitohormony stymulujące kiełkowanie nasion** – gibereliny i cytokininy. Gibereliny powstają w napęczniałych nasionach. Pobudzają one wytwarzanie enzymów, które katalizują hydrolizę substancji zapasowych nasienia, głównie amylazy rozkładającej skrobię. Ponadto gibereliny i cytokininy aktywują wiele enzymów uczestniczących w kiełkowaniu nasion, m.in. lipaz rozkładających tłuszcze w nasionach roślin oleistych.

Kwas abscysynowy zawarty w nasionach uniemożliwia ich kiełkowanie w niesprzyjających warunkach środowiska. Na przykład nasiona roślin pustynnych nie wykiełkują po jednorazowym deszczu. Dopiero długotrwałe opady wypłukują inhibitor z nasion, co umożliwia proces kiełkowania.

Kwas abscysynowy obecny w owocniach hamuje kiełkowanie nasion przed zjedzeniem owoców przez roślinożerców. Zabezpiecza to przed wykiełkowaniem nowej rośliny w pobliżu rośliny macierzystej, stanowi więc przystosowanie do rozprzestrzeniania się gatunku.

Nasiona w owocu opuncji.

Wpływ światła na kiełkowanie nasion

U wielu gatunków roślin na kiełkowanie nasion wpływają warunki świetlne. Nasiona takie nazywamy fotoblastycznymi. Wyróżnia się fotoblastię dodatnią, gdy światło stymuluje kiełkowanie nasion, i fotoblastię ujemną, gdy hamuje ono kiełkowanie nasion. U części gatunków roślin światło nie wywiera wpływu na procesy kiełkowania.

Do nasion dodatnio fotoblastycznych należą nasiona sałaty. Kiełkują one również w ciemności, jednak na świetle proces ten zachodzi znacznie efektywniej.

Doświadczenie

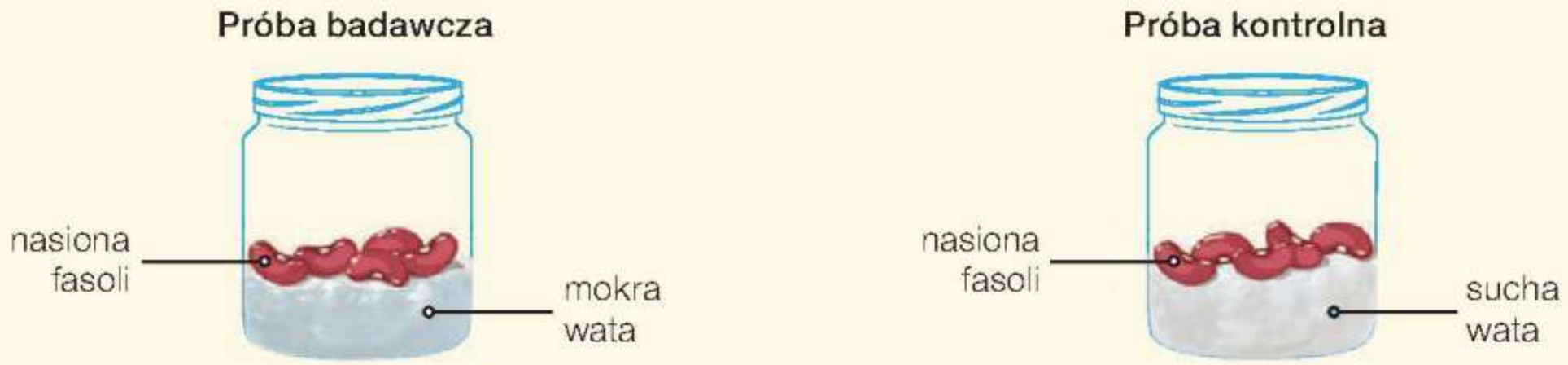
Badanie wpływu wody na kiełkowanie nasion

- **Problem badawczy:** Czy do kiełkowania nasion jest potrzebna woda?
- **Hipoteza:** Do kiełkowania nasion jest potrzebna woda.
- **Przebieg doświadczenia:**

  Próba badawcza: Słoik z mokrą watą i nasionami fasoli.

  Próba kontrolna: Słoik z suchą watą i nasionami fasoli.

  Przygotuj dwa słoiki jednakowej wielkości, suche nasiona fasoli, watę oraz wodę wodociągową. Do jednego słoika włóż mokrą watę, a do drugiego suchą. 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.



- **Wynik doświadczenia:** Sprawdź, w którym słoiku wykiełkowały nasiona fasoli.
- **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 temperatury na kiełkowanie nasion

- **Problem badawczy:** Wpływ temperatury na kiełkowanie nasion.
- **Hipoteza:** Do kiełkowania nasion jest potrzebna odpowiednio wysoka temperatura otoczenia.
- **Przebieg doświadczenia:**

  Próba badawcza: Słoik z mokrą watą i nasionami fasoli umieszczony w lodówce.

  Próba kontrolna: Słoik z mokrą watą i nasionami fasoli umieszczony w ciepłym pomieszczeniu.

  Przygotuj dwa słoiki jednakowej wielkości, suche nasiona fasoli, watę oraz wodę wodociągową.

  Do obu słoików włóż mokrą watę i połóż na jej powierzchni po pięć nasion fasoli. Jedną próbę postaw w lodówce w temperaturze ok. 3°C, a drugą w ciemnym pomieszczeniu w temperaturze pokojowej. Odczekaj trzy dni, pilnując, by wata nie wyschła.

- **Wynik doświadczenia:** Sprawdź, w którym słoiku wykiełkowały nasiona fasoli.
- **Wniosek:** Sformułuj wniosek.
- **Wyjaśnienie:** Nasiona kiełkują tylko w temperaturze optymalnej dla działania enzymów uczestniczących w procesach kiełkowania. Niska temperatura hamuje aktywność tych enzymów.

Doświadczenie

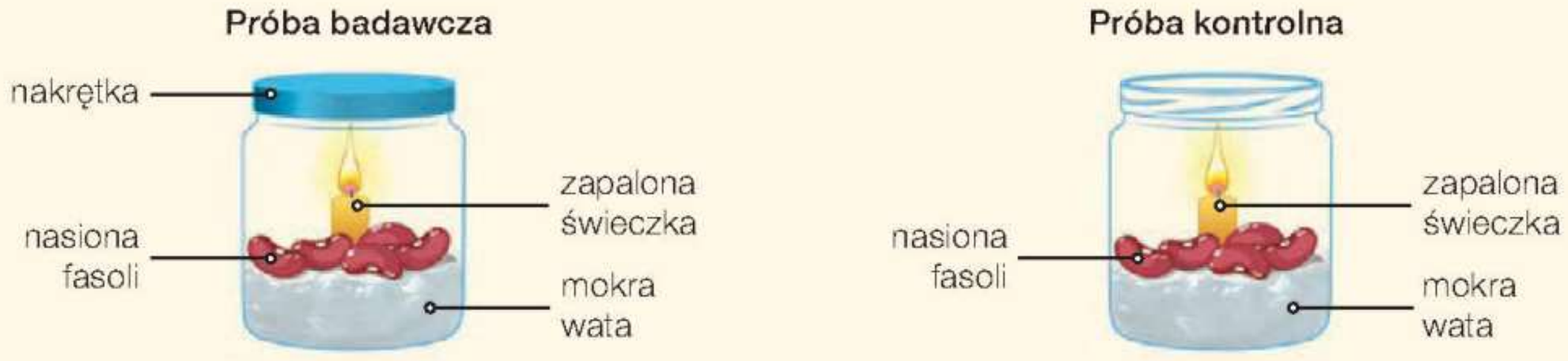
Badanie wpływu tlenu na kiełkowanie nasion

- **Problem badawczy:** Czy do kiełkowania nasion jest potrzebny tlen?
- **Hipoteza:** Do kiełkowania nasion jest potrzebny tlen.
- **Przebieg doświadczenia:**

  Próba badawcza: Zamknięty słoik z mokrą watą, nasionami fasoli i zapaloną świeczką.

  Próba kontrolna: Otwarty słoik z mokrą watą, nasionami fasoli i zapaloną świeczką.

  Przygotuj dwa słoiki jednakowej wielkości, suche nasiona fasoli, watę, wodę wodociągową oraz dwie świeczki. Do obu słoików włóż mokrą watę i połóż na jej powierzchni po pięć nasion fasoli. W słoikach umieść zapalone świeczki. Następnie jeden ze słoików szczelnie zamknij. Obie próby pozostaw na trzy dni w ciepłym pomieszczeniu, w takich samych warunkach oświetlenia. Pilnuj, by wata w próbie kontrolnej nie wyschła.

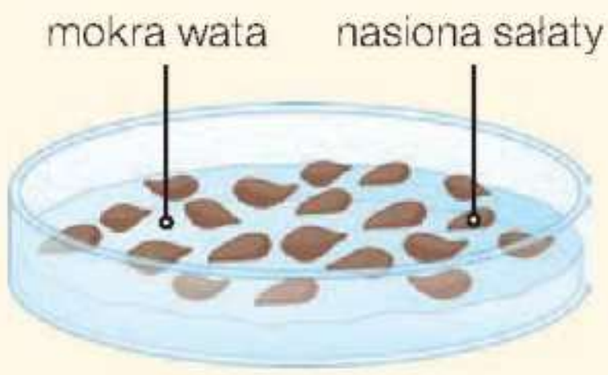


- **Wynik doświadczenia:** Sprawdź, w którym słoiku wykiełkowały nasiona fasoli.
- **Wniosek:** Sformułuj wniosek.
- **Wyjaśnienie:** Nasiona kiełkują wyłącznie w obecności tlenu, ponieważ jest on potrzebny do oddychania tlenowego. W trakcie spalania świeczki tlen jest zużywany.

Doświadczenie

Badanie wpływu światła na kiełkowanie nasion

- **Problem badawczy:** Czy do kiełkowania nasion sałaty jest potrzebne światło?
- **Hipoteza:** Do kiełkowania nasion sałaty jest potrzebne światło.
- **Przebieg doświadczenia:**



  Próba badawcza: Szalka Petriego z mokrą watą i nasionami sałaty, umieszczona na świetle.

  Próba kontrolna: Szalka Petriego z mokrą watą i nasionami sałaty, umieszczona w ciemności.

  Przygotuj dwie szalki Petriego, nasiona sałaty, watę oraz wodę wodociągową. Obie szalki wyłóż mokrą watą i połóż na jej powierzchni po 20 nasion sałaty. Jedną próbę umieść na 3 dni na świetle, a drugą – w ciemności. Pilnuj, by wata w obu próbach nie wyschła.

- **Wynik doświadczenia:** Sprawdź, w której szalce Petriego wykiełkowało więcej nasion sałaty.
- **Wniosek:** Sformułuj wniosek.
- **Wyjaśnienie:** Nasiona sałaty są dodatnio fotoblastyczne, dlatego wydajność ich kiełkowania jest większa na świetle.

Doświadczenie

Badanie wpływu liścieni na wzrost i rozwój siewek fasoli

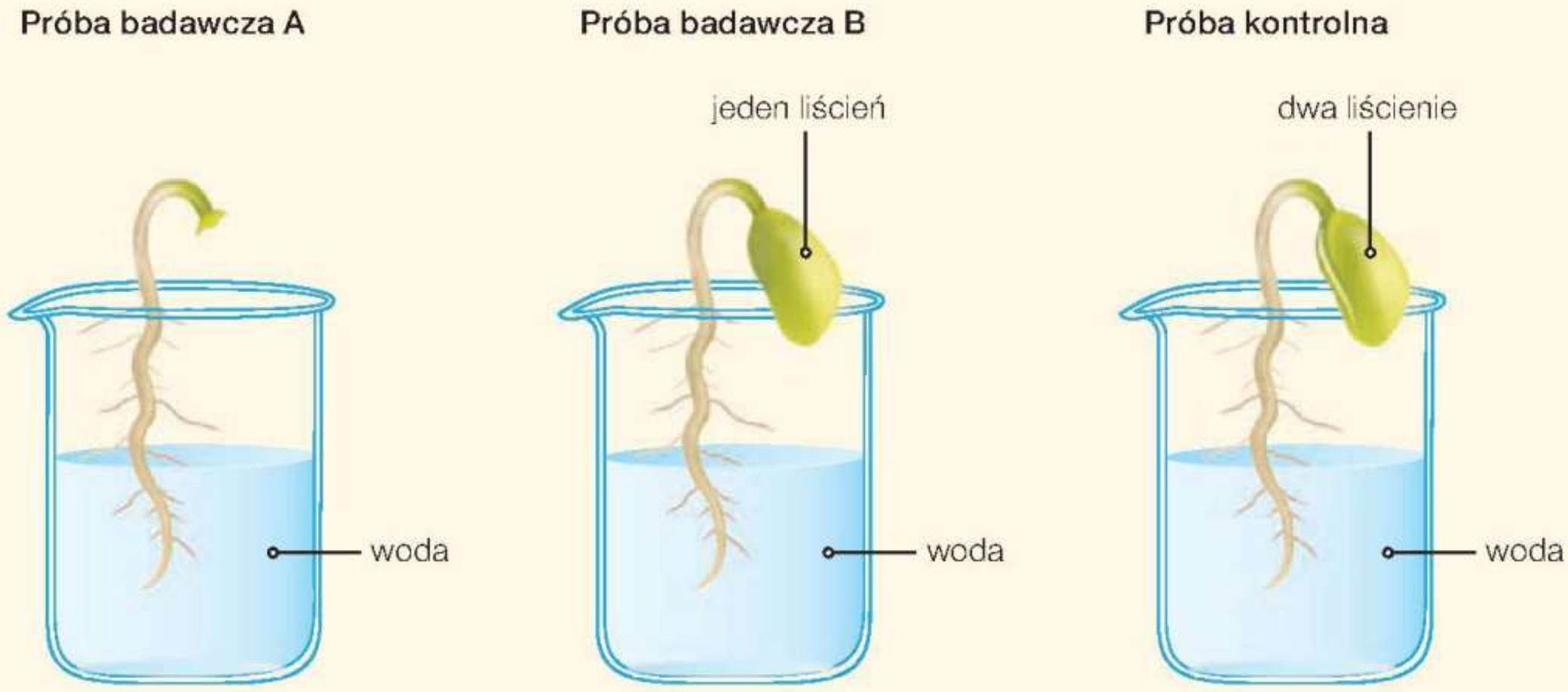
- **Problem badawczy:** Wpływ liścieni na wzrost i rozwój siewek fasoli.
- **Hipoteza:** Prawidłowy wzrost i rozwój siewek fasoli wymaga obecności obu liścieni.
- **Przebieg doświadczenia:**

Próba badawcza A: Zlewka z wodą wodociągową i siewką fasoli, której usunięto dwa liścienie.

Próba badawcza B: Zlewka z wodą wodociągową i siewką fasoli, której usunięto jeden liścień.

Próba kontrolna: Zlewka z wodą wodociągową i siewką fasoli, której pozostawiono dwa liścienie.

Przygotuj trzy zlewki jednakowej wielkości, trzy siewki fasoli z kilkumilimetrowymi korzeniami, ostry nożyk i wodę wodociągową. Jedną siewkę pozostaw bez zmian, drugiej odetnij nożykiem jeden liścień, a trzeciej – oba liścienie. Następnie umieść siewki w oddzielnych zlewkach i pozostaw na siedem dni w oświetlonym pomieszczeniu w temperaturze pokojowej.



- **Wynik doświadczenia:** Zmierz długość liści, łodyg i korzeni u wszystkich roślin.
- **Wniosek:** Sformułuj wniosek.
- **Wyjaśnienie:** U fasoli występuje kiełkowanie nadziemne. W jego trakcie zachodzi szybki wzrost hipokotylu – podliścieniowej części łodygi zarodkowej. Dzięki temu liścienie wraz z zawiązkiem pędu są wynoszone ponad powierzchnię gleby. Pod wpływem światła następuje synteza chlorofilu w liścieniach, które rozpoczynają fotosyntezę. Produkty fotosyntezy liścieni są wykorzystywane do wzrostu i rozwoju siewki.

Polecenia kontrolne

1. Wymień czynniki zewnętrzne stymulujące kiełkowanie nasion.
2. Omów poszczególne fazy kiełkowania nasienia.
3. Wyjaśnij, czym się różni kiełkowanie nadziemne od kiełkowania podziemnego.
4. Określ wpływ fitohormonów na spoczynek i kiełkowanie nasion.

4.8. Rozwój wegetatywny i generatywny roślin

Zwróć uwagę na:
- rolę fitohormonów w procesach wzrostu i rozwoju roślin,
- związek procesu zakwitania roślin z fotoperiodem i temperaturą.

Rozwój wegetatywny jest ściśle związany ze wzrostem rośliny. W miarę zwiększania się jej rozmiarów i masy zachodzi różnicowanie się komórek merystematycznych w komórki tkanek stałych. Budują one organy wegetatywne – korzenie, łodygi i liście. Kiedy roślina osiągnie odpowiedni poziom rozwoju wegetatywnego, wchodzi w fazę generatywną. Wykształca wówczas kwiaty – organy rozmnażania płciowego, z których powstają owoce z nasionami.

Rozwój wegetatywny

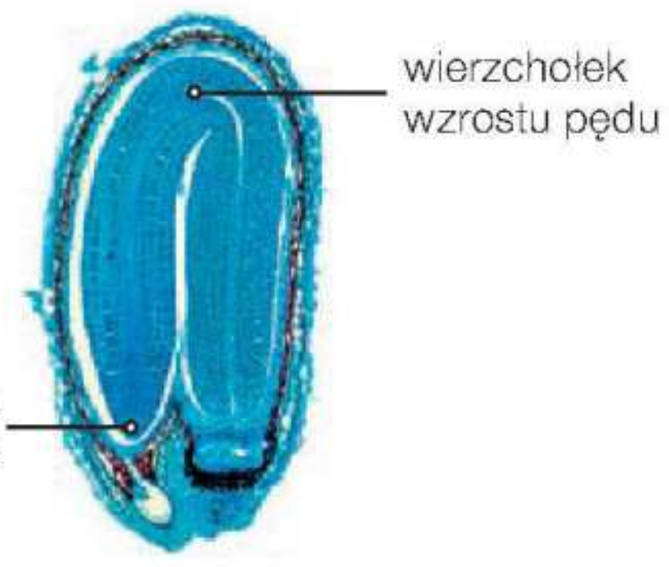
Okres rozwoju wegetatywnego może trwać od kilku lub kilkunastu dni (u roślin jednorocznych) do kilkudziesięciu lat (u drzewiastych roślin wieloletnich). W tym czasie roślina rośnie i tworzy organy wegetatywne, które przybierają ostateczny, charakterystyczny dla danego gatunku wygląd. Podstawą różnicowania się tkanek i organów w określonym porządku jest **biegunowość rośliny**, zdeterminowana genetycznie już na etapie zygoty i wyraźnie widoczna począwszy od stadium zarodka. Polega ona na istnieniu dwóch określonych biegunów: korzeniowego i pędowego, znajdujących się na przeciwległych końcach rośliny.

Rola merystemów w rozwoju wegetatywnym

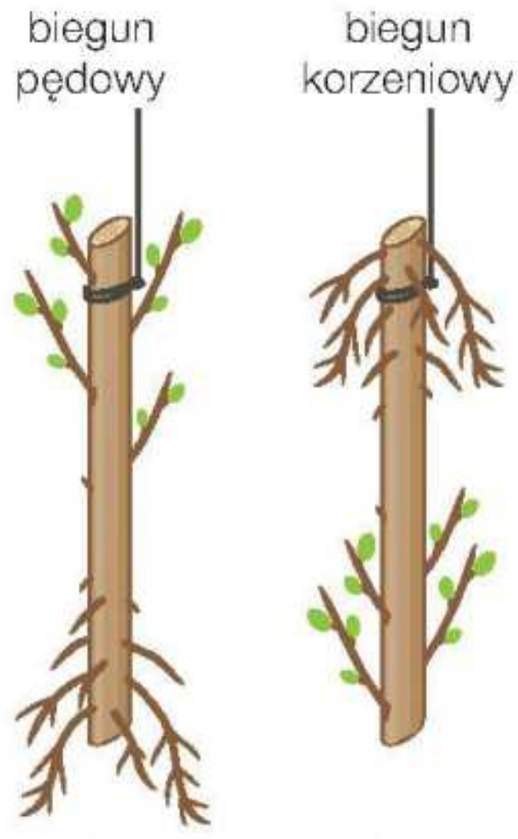
Wierzchołki (stożki) wzrostu korzenia i pędu są zbudowane z komórek merystematycznych, które nieustannie dzielą się mitotycznie. Dzięki temu wytwarzają wciąż nowe komórki merystematyczne, których część ulega specjalizacji w komórki tkanek stałych. Wierzchołki wzrostu są również źródłem fitohormonów odpowiedzialnych za procesy wzrostu i rozwoju roślin, m.in. auksyn, cytokinin i giberelin.

Biegunowość rośliny

W budowie rośliny już od stadium zarodka można wyróżnić dwa bieguny – korzeniowy i pędowy.



W zarodku rośliny (obraz spod mikroskopu optycznego) można zaobserwować biegun pędowy z wyraźnie widocznym wierzchołkiem wzrostu pędu oraz biegun korzeniowy z wierzchołkiem wzrostu korzenia.



Bieguny korzeniowy i pędowy fragmentu gałązki dojrzałej rośliny na pozór wyglądają jednakowo. Różnią się jednak pod względem fizjologicznym: niezależnie od położenia gałązki na biegunie korzeniowym zawsze powstaną korzenie, a na biegunie pędowym – pędy.

Struktury te warunkują zatem nieustanny wzrost organów oraz kierują procesami różnicowania się komórek.

U większości roślin w budowie morfologicznej pędu wyróżnia się ulistnioną łodygę zakończoną na szczycie pąkiem wierzchołkowym oraz stosunkowo nieliczne boczne odgałęzienia pędu. Mimo że na łodydze znajduje się wiele pąków bocznych, zawierających zawiązki odgałęzień pędu, tylko niektóre z nich są aktywne, natomiast większość pozostaje w stanie spoczynku. Zjawisko to nosi nazwę **dominacji wierzchołkowej**. Za dominację wierzchołkową odpowiadają **auksyny** syntetyzowane w wierzchołku wzrostu łodygi. Hormony te spływają łykiem w dół osi pędu i hamują rozwój pąków bocznych, a tym samym – tworzenie się odgałęzień łodygi. Usunięcie pąka wierzchołkowego powoduje aktywację pąków bocznych i rozgałęzianie się pędu.

Wiele roślin dwuliściennych oprócz wzrostu pierwotnego uwarunkowanego działaniem stożków wzrostu wykazuje również **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 merystemów wtórnych rośliny wytwarzają wtórne tkanki przewodzące oraz korkowicę. Dzięki temu mogą osiągać duże rozmiary i żyć wiele lat.

Doświadczenie

Badanie wpływu wierzchołka wzrostu pędu na rozwój pąków bocznych

- **Problem badawczy:** Wpływ wierzchołka wzrostu pędu na rozwój pąków bocznych.
- **Hipoteza:** Wierzchołek wzrostu pędu hamuje rozwój pąków bocznych.
- **Przebieg doświadczenia:**

  Próba badawcza: Roślina z odciętym wierzchołkiem wzrostu.

  Próba kontrolna: Roślina z zachowanym wierzchołkiem wzrostu.

  Przygotuj dwie doniczki z sadzonkami pomidora. Jednej roślinie odetnij wierzchołek wzrostu, a drugą pozostaw bez zmian. Obie próby umieść w dobrze nasłonecznionym pomieszczeniu na dwa tygodnie. Pamiętaj o podlewaniu sadzonek.

Próba badawcza

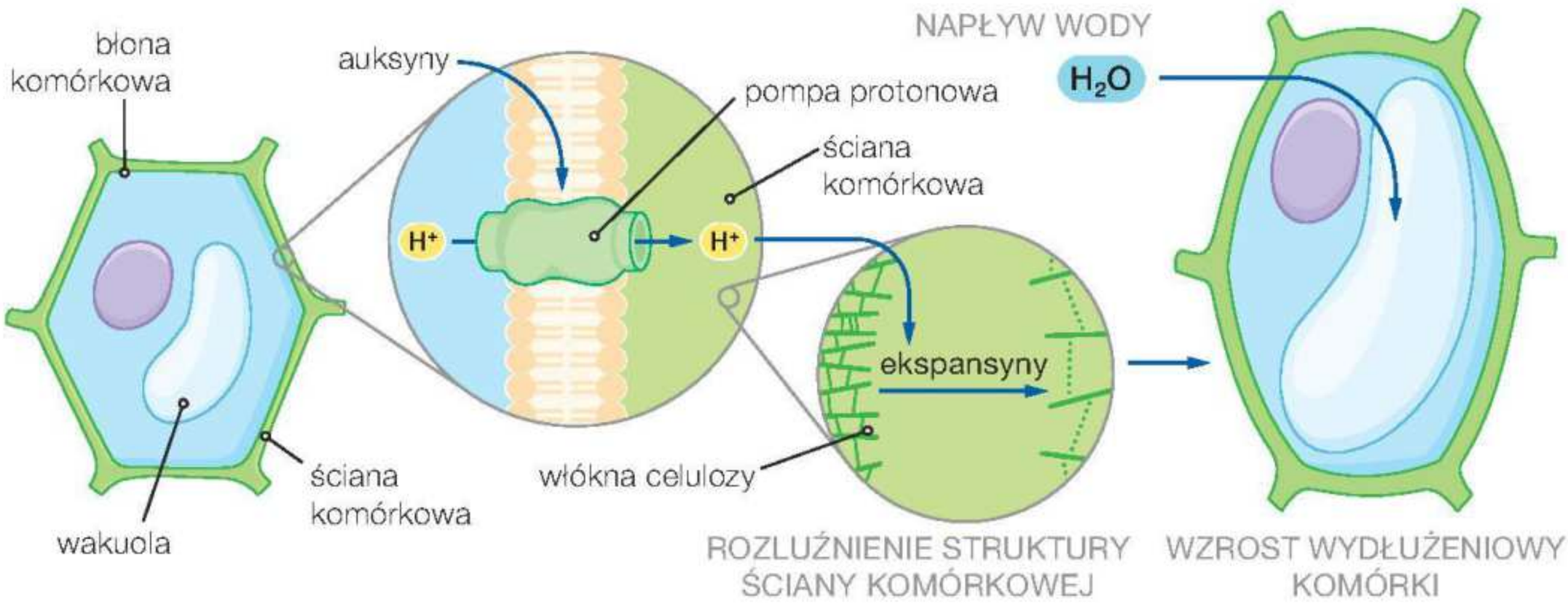
Próba kontrolna

- **Wynik doświadczenia:** Sprawdź wygląd obu roślin.
- **Wniosek:** Sformułuj wniosek.
- **Wyjaśnienie:** Wierzchołek wzrostu pędu produkuje auksyny, które spływają w dół łodygi i hamują rozwój pąków bocznych.

Dowiedz się więcej

Jak auksyny pobudzają wzrost wydłużeniowy komórki?

Wzrost wydłużeniowy komórki polega na zwiększeniu się jej rozmiarów wskutek rozluźnienia struktury ściany komórkowej i intensywnego napływu wody do wnętrza protoplastu. Auksyny aktywują pompy protonowe zlokalizowane w błonach komórkowych. Dzięki temu protony przemieszczają się z cytoplazmy do ściany komórkowej, w której znajdują się białka zwane ekspansynami. W środowisku kwasowym ekspansyny powodują rozrywanie wiązań wodorowych między włóknami celulozy, co znacznie zwiększa elastyczność ściany. Wówczas komórka pochłania dużą ilość wody i powiększa swoje rozmiary. Wzrost wydłużeniowy komórki z udziałem auksyn nosi nazwę wzrostu kwasowego.



Mechanizm wzrostu wydłużeniowego komórki.

Rozmnażanie wegetatywne roślin

W stadium wzrostu wegetatywnego roślina nie tworzy organów generatywnych – kwiatów – nawet w optymalnych warunkach środowiska. Może się jednak rozmnażać wegetatywnie. Ten rodzaj rozmnażania polega na tworzeniu się nowych osobników z **bulw, cebul, kłączy** i **rozłogów**, czyli ze zmodyfikowanych pędów rośliny. Do rozmnażania wegetatywnego służą także specjalne wielokomórkowe struktury zwane **rozmnóżkami**. Występują one głównie u przedstawicieli mchów, ale są też wytwarzane przez niektóre rośliny naczyniowe, np. żyworódkę. Rozmnażanie wegetatywne zapewnia szybkie rozprzestrzenianie się gatunku, ale wszystkie osobniki potomne mają identyczny zestaw genów z rośliną macierzystą. W zmiennych lub niesprzyjających warunkach środowiska nie jest to korzystne, ponieważ populacja gatunku złożona z osobników jednolitych genetycznie jest zagrożona wyginięciem.

U żyworódki (*Kalanchoe*) rozmnóżki powstają na brzegach liści.

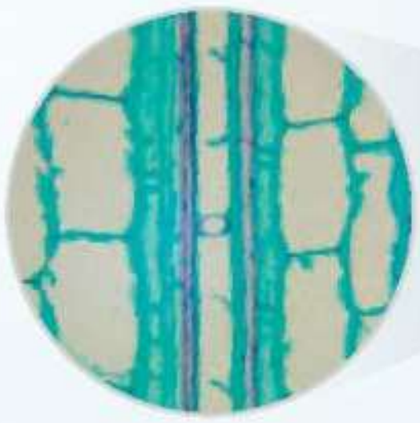
Wpływ fitohormonów na rozwój wegetatywny roślin

Różnicowanie się i wzrost organów wegetatywnych są regulowane przez fitohormony, które działają pobudzająco lub hamująco.

Wzrost pierwotny korzeni i pędów

Wzrost pierwotny korzeni i pędów stymulują przede wszystkim auksyny, gibereliny i cytokininy. Natomiast kwas abscysynowy i etylen działają hamująco.

- **Auksyny** są syntetyzowane m.in. w wierzchołku wzrostu pędu oraz w młodych liściach. W odpowiednich stężeniach auksyny pobudzają wzrost wydłużeniowy komórek pędu i korzenia. Stymulują również powstawanie zawiązków korzeni bocznych i przybyszowych oraz rozwój ulistnienia.
- **Gibereliny** są wytwarzane w stożkach wzrostu korzenia i pędu oraz w młodych liściach. Substancje te pobudzają podziały komórkowe i współdziałają z auksynami we wzroście wydłużeniowym pędu. Hamują natomiast wytwarzanie korzeni bocznych.
- **Cytokininy** są wytwarzane przede wszystkim w stożku wzrostu korzenia. Regulują one podziały komórkowe oraz współdziałają z auksynami w procesie różnicowania się tkanek i organów. Powodują również rozwój blaszek liściowych i wpływają na prawidłowy rozwój chloroplastów.

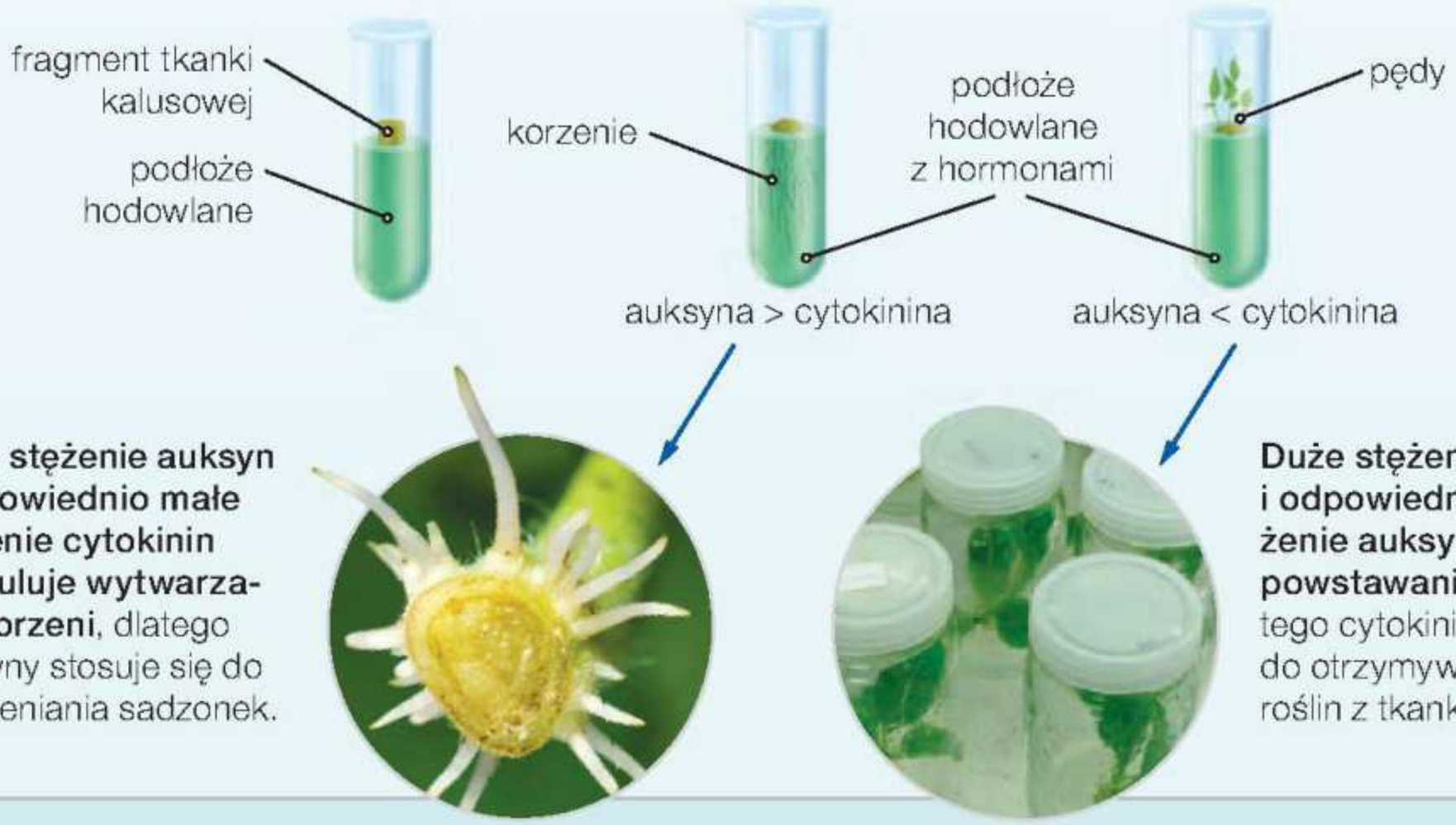


Auksyny i gibereliny stymulują wzrost wydłużeniowy komórek.

Auksyny i cytokininy stymulują rozwój ulistnienia.

Cytokininy stymulują rozwój chloroplastów, dlatego w ogrodnictwie stosuje się je do odmładzania liści.

Wpływ stężenia auksyn i cytokinin na wzrost i rozwój tkanek roślinnych

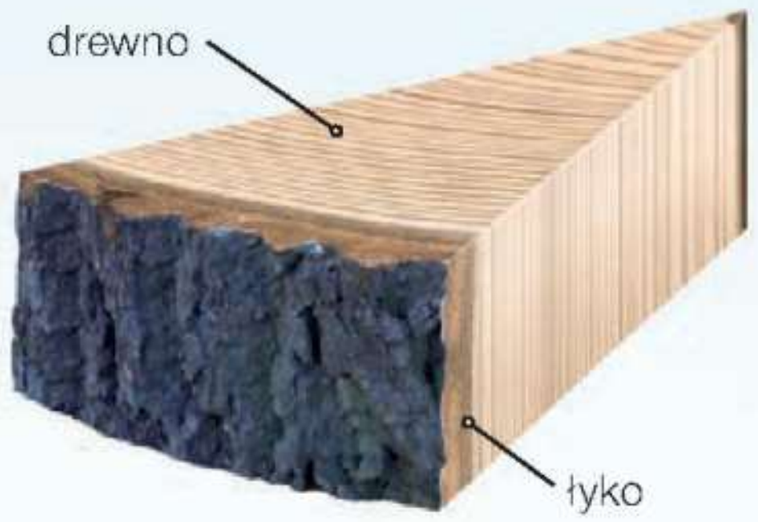


Duże stężenie auksyn i odpowiednio małe stężenie cytokinin stymuluje wytwarzanie korzeni, dlatego auksyny stosuje się do ukorzeniania sadzonek.

Duże stężenie cytokinin i odpowiednio małe stężenie auksyn stymuluje powstawanie pędów, dlatego cytokininy stosuje się do otrzymywania nowych roślin z tkanki kalusowej.

Przyrost wtórny korzeni i pędów

Wtórny przyrost korzeni i pędów jest uwarunkowany głównie działaniem auksyn i giberelin. Ich aktywność polega na pobudzaniu podziałów komórkowych komórek kambium, co pociąga za sobą intensywne wytwarzanie wtórnych tkanek przewodzących. Większe stężenie auksyn niż giberelin prowadzi do wytwarzania drewna wtórnego, natomiast odwrotne proporcje tych hormonów – do wytwarzania łyka wtórnego. W przyroście wtórnym uczestniczą także kwas abscysynowy i etylen. Hamują one wzrost wydłużeniowy łodygi, a stymulują jej przyrost na grubość.

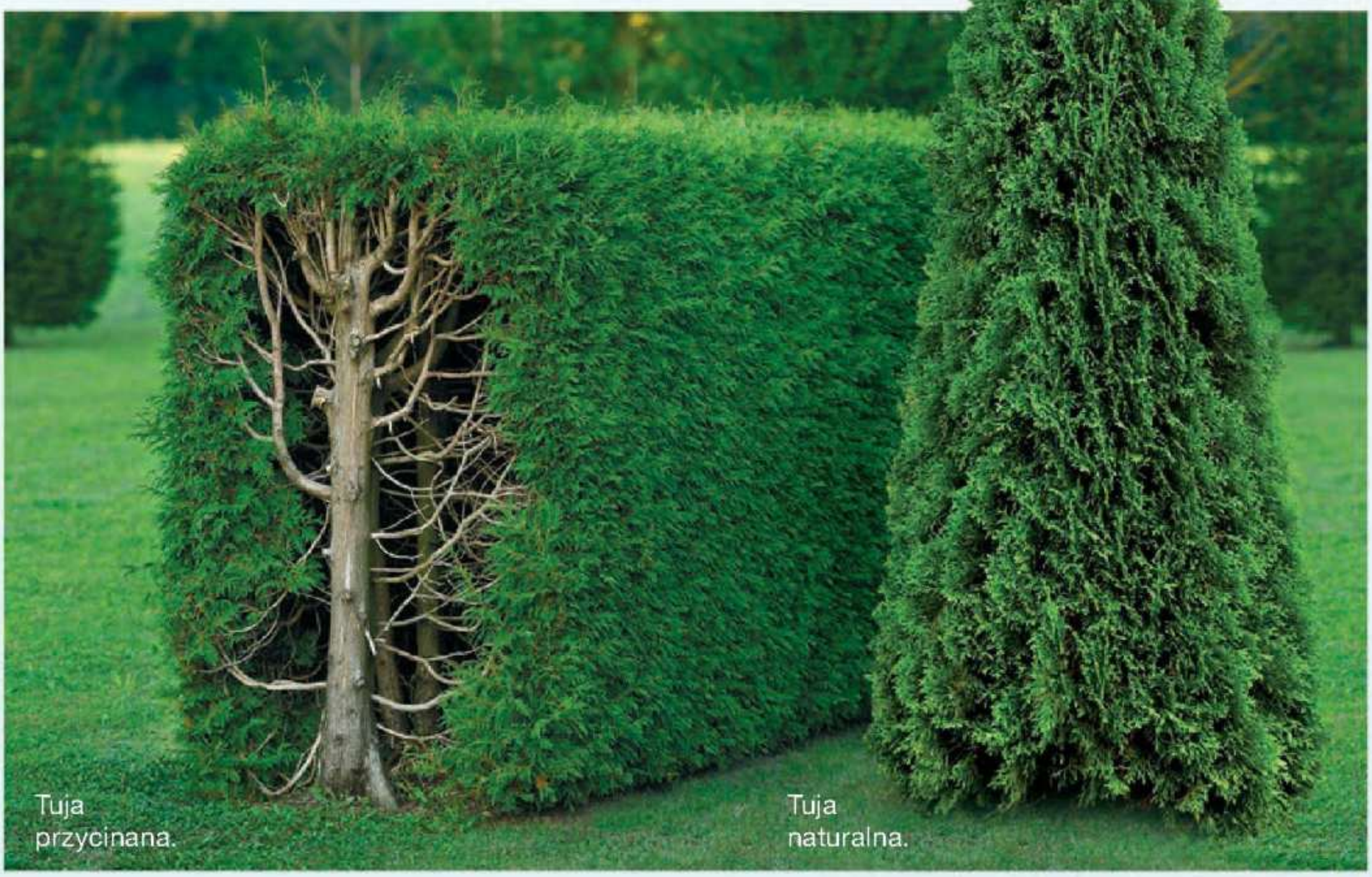


Auksyny i gibereliny stymulują podziały komórek kambium, co prowadzi do wytwarzania drewna i łyka wtórnego.

Dominacja wierzchołkowa

Auksyny produkowane w wierzchołku wzrostu pędu hamują rozwój pąków bocznych, a tym samym – tworzenie się odgałęzień łodygi. W dolnej części łodygi odgałęzienia tworzą się łatwiej ze względu na znacznie mniejsze stężenie auksyn. Z tego powodu pędy większości roślin uzyskują kształt stożka. Dominację wierzchołkową osłabiają cytokininy.

Odcięcie pąka wierzchołkowego zmniejsza ilość auksyn w łodydze, a w konsekwencji powoduje rozwój pąków bocznych i rozkrzewianie się rośliny. Przycinanie pąków wierzchołkowych stosuje się m.in. w ogrodnictwie do rozkrzewiania roślin ozdobnych.



Tuja przycinana.

Tuja naturalna.

Rozwój generatywny

Rozwój generatywny obejmuje **kwitnienie** i **owocowanie**, zatem w jego trakcie powstają kwiaty, nasiona i owoce.

Kwitnienie

Po zakończeniu wzrostu wegetatywnego roślina zakwita, czyli wytwarza **organy rozmnażania płciowego**. Na kwitnienie mają wpływ czynniki wewnętrzne oraz zewnętrzne. Głównym czynnikiem wewnętrznym jest osiągnięcie przez roślinę właściwego wieku i rozmiarów. Uruchamiane są wtedy czynniki kwitnienia, m.in. fitohormony, które powodują jej przejście do fazy generatywnej. Podstawowymi fitohormonami stymulującymi proces kwitnienia są **gibereliny**. Z czynników zewnętrznych najważniejszą rolę odgrywają **temperatura** oraz **długość dnia i nocy**.

Temperatura nie wywiera wpływu na kwitnienie **roślin jarych**, do których należy większość gatunków jednorocznych (np. kukurydza). Natomiast **rośliny ozime** potrzebują do zakwitnięcia okresu niskich temperatur (0–10°C), trwającego najczęściej od kilkunastu do kilkudziesięciu dni. Pobudzający wpływ niskich temperatur na proces kwitnienia nosi nazwę **wernalizacji**. Do roślin wymagających wernalizacji należą rośliny jednoroczne ozime (np. pszenica), wiele roślin dwuletnich (np. marchew) oraz wieloletnich (np. jabłoń). Rośliny jednoroczne ozime wysiane późną jesienią przeczekują okres niskich temperatur w stadium młodych siewek, a dalszy rozwój podejmują wiosną. W lecie zakwitają, a następnie wytwarzają nasiona i owoce. Rośliny dwuletnie wysiane wiosną w pierwszym roku wytwarzają wyłącznie organy wegetatywne. W drugim roku – po okresie zimy – zakwitają, a następnie wytwarzają nasiona i owoce. Rośliny wieloletnie po osiągnięciu dojrzałości płciowej zakwitają i owocują każdego roku po zakończeniu okresu chłodów.

Wernalizacja u marchwi

Marchew jest rośliną dwuletnią. W pierwszym roku wegetacji wytwarza tylko organy wegetatywne. Natomiast w drugim roku – po okresie zimy – zakwita, a następnie wytwarza owoce.

W pierwszym roku wegetacji marchew wytwarza korzeń spichrzowy i skróconą łodygę z rozetą liści.

Stożek wzrostu pąka wierzchołkowego jest miejscem odbioru bodźca termicznego.

Marchew zimuje w postaci korzenia spichrzowego i skróconej łodygi z pąkiem wierzchołkowym.

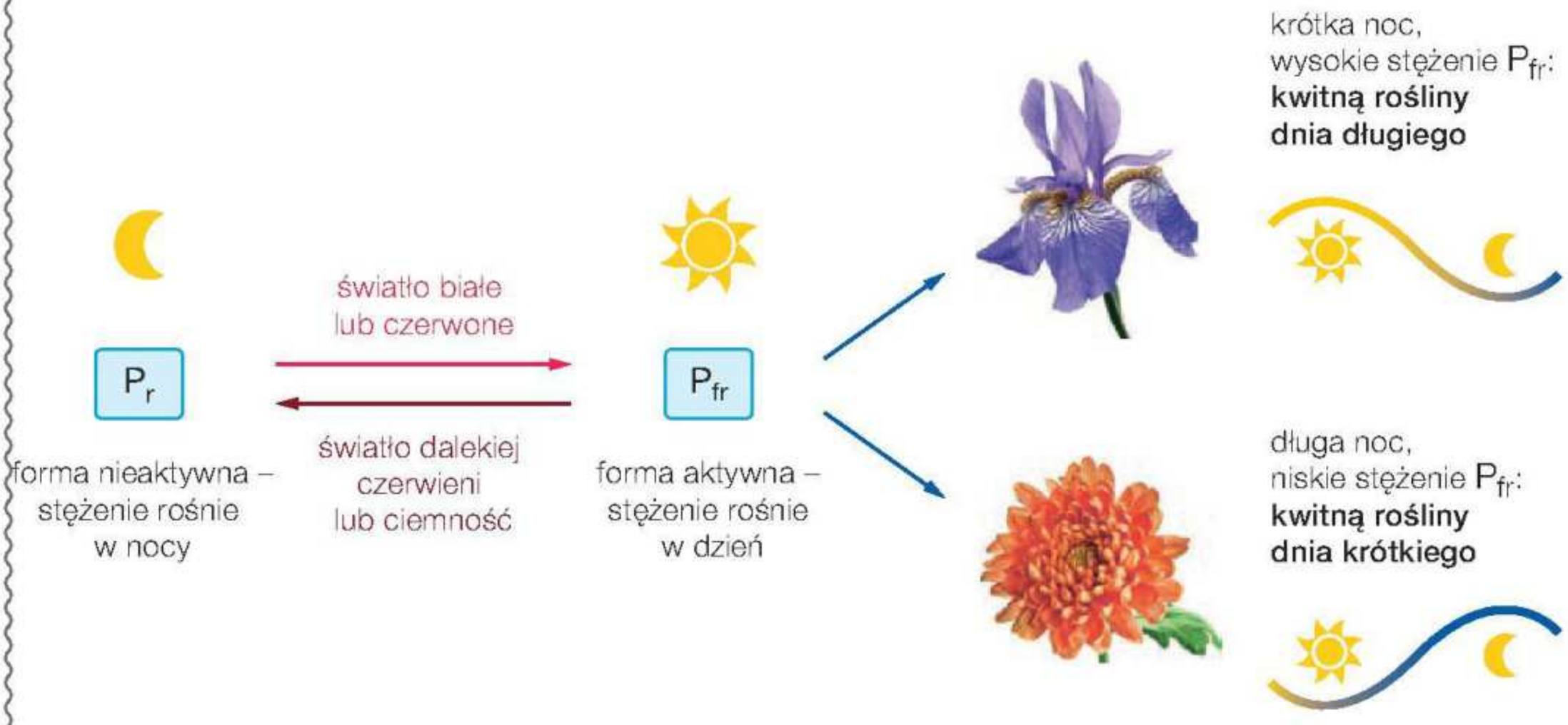
W drugim roku wegetacji marchew wytwarza długą łodygę, liście, kwiaty oraz owoce.

Reakcje roślin na czas trwania okresów światła i ciemności w ciągu doby określa się mianem **fotoperiodyzmu**. Natomiast okres oddziaływania światła na rośliny to **fotoperiod**. Ze względu na reakcję fotoperiodyczną rośliny dzieli się na trzy podstawowe grupy:

- **rośliny dnia krótkiego** (ang. skrót: **SDP** od *short day plants*) – kwitną, kiedy w ciągu doby okres światła jest krótszy niż okres ciemności, czyli jesienią (np. złocień, poinsecja),
- **rośliny dnia długiego** (ang. skrót: **LDP** od *long day plants*) – kwitną, kiedy w ciągu doby okres światła jest dłuższy niż okres ciemności, czyli wiosną i latem (np. sałata, koniczyna),
- **rośliny neutralne** (ang. skrót: **DNP** od *day neutral plants*) – są niewrażliwe na czas trwania okresu światła i ciemności w ciągu doby; zakwitają po osiągnięciu stanu gotowości do kwitnienia (np. ogórek, pomidor).

Najważniejsza różnica między roślinami dnia krótkiego a roślinami dnia długiego polega na ich odmiennej wrażliwości na czas trwania nieprzerwanej ciemności. Rośliny dnia krótkiego zakwitają jedynie wtedy, gdy noce trwają odpowiednio długo. Nieznaczne skrócenie okresu ciemności lub jego przerwanie choćby jednorazowym błyskiem światła powstrzymuje ich kwitnienie. Z kolei rośliny dnia długiego wymagają do zakwitania odpowiednio krótkiego okresu ciemności. Skrócenie go nie wpływa na zakwitanie, natomiast wydłużenie hamuje kwitnienie.

Podstawowym miejscem odbioru bodźca fotoperiodycznego są liście rośliny. Zawierają one niebieskozielony barwnik zwany **fitochromem** i oznaczany symbolem **P** (ang. *phytochrome*). W wyniku działania bodźca fotoperiodycznego w liściach powstaje związek chemiczny, zwany **induktorem kwitnienia**, który przemieszcza się do wierzchołka wzrostu pędu. Tam stymuluje procesy prowadzące do wytworzenia kwiatów. Fitochrom może występować w dwóch formach: P_r, która absorbuje światło białe lub czerwone (660 nm), oraz P_{fr}, która absorbuje światło dalekiej czerwieni (730 nm). Formy P_r i P_{fr} mogą się wzajemnie w siebie przekształcać pod wpływem światła o określonej barwie bądź ciemności. Światło białe lub czerwone powoduje przekształcenie P_r w P_{fr}, natomiast światło dalekiej czerwieni i ciemność wywołują reakcję odwrotną, czyli przekształcenie P_{fr} w P_r. Formą fizjologicznie aktywną jest P_{fr}. Wzrost jej stężenia hamuje kwitnienie roślin dnia krótkiego, natomiast pobudza kwitnienie roślin dnia długiego.



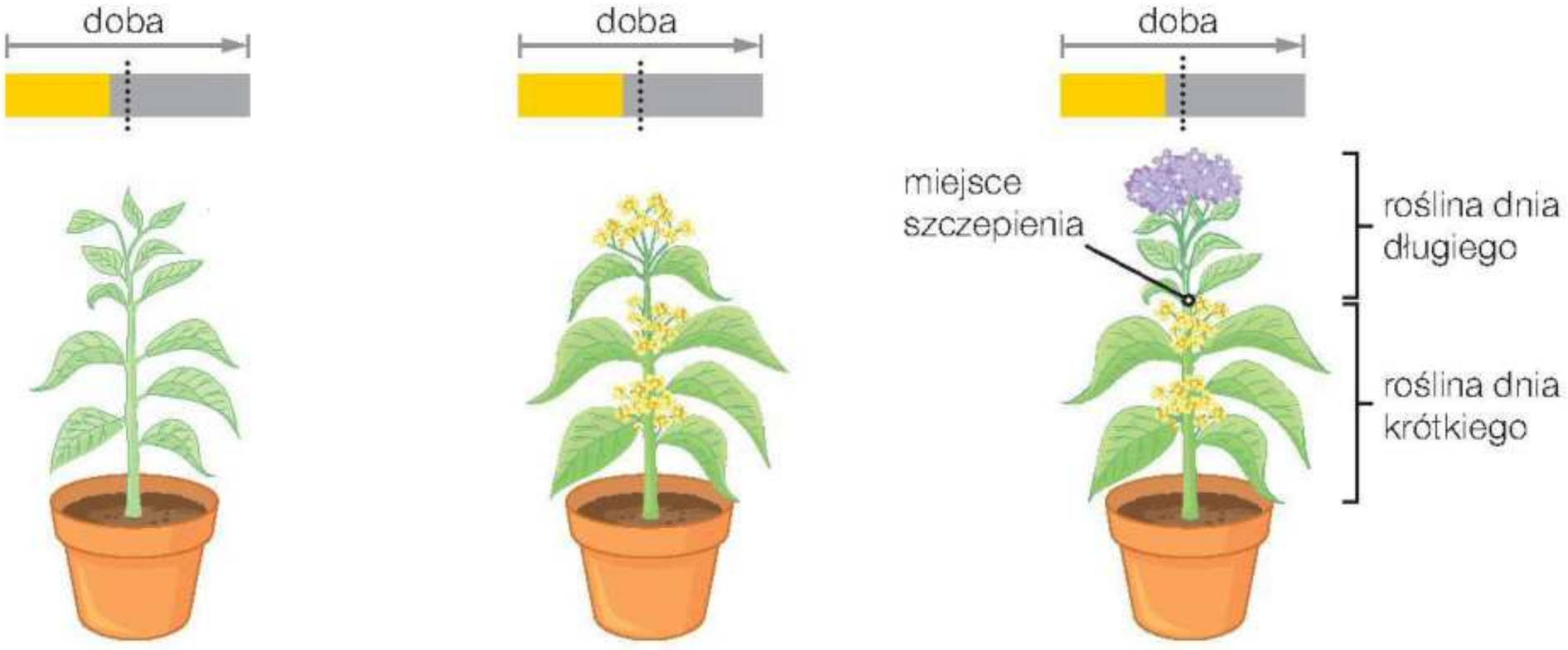
Reakcje roślin dnia krótkiego i dnia długiego na czas trwania okresów światła i ciemności w ciągu doby.

Dowiedz się więcej

Koncepcja florigenu – induktora kwitnienia

Kwitnienie wielu roślin jest pobudzane odpowiednim fotoperiodem. W pierwszej połowie XX w. powstała koncepcja chemicznego induktora kwitnienia, zwanego florigenem. Koncepcja ta zakładała, że florigen jest drobnocząsteczkowym hormonem, który powstaje w liściach rośliny w reakcji na odpowiedni fotoperiod. Następnie jest transportowany do wierzchołka pędu, gdzie stymuluje procesy metaboliczne, umożliwiające wytworzenie kwiatu.

Hipoteza florigenu opierała się m.in. na doświadczeniu, w którym niekwitnącą roślinę dnia długiego zaszczepiono[1] na kwitnącej roślinie dnia krótkiego i poddano działaniu krótkiego fotoperiodu. W wyniku tego zabiegu zaszczepiona roślina dnia długiego zakwitła. Oznacza to, że florigen powstały w roślinie dnia krótkiego przemieścił się wiązkami przewodzącymi do rośliny dnia długiego i spowodował jej zakwitnięcie.



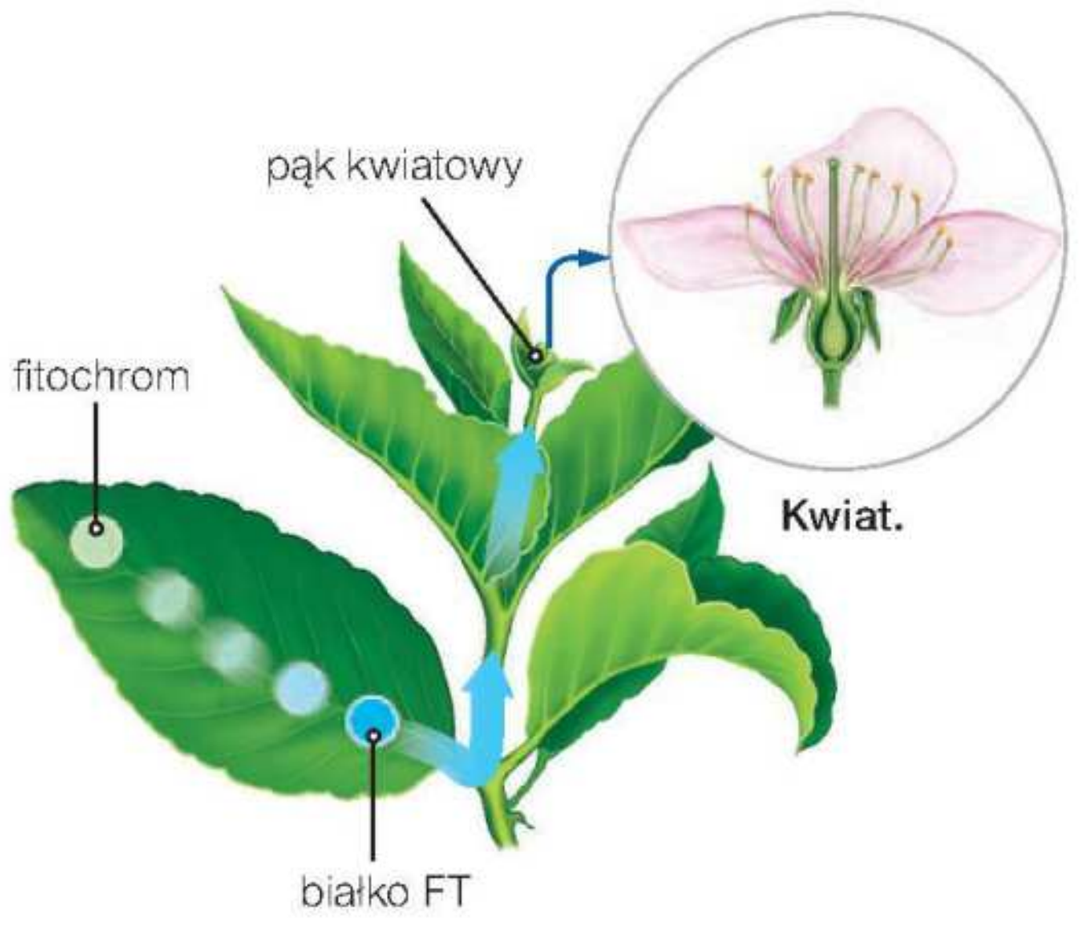
Niekwitnąca roślina dnia długiego.

Kwitnąca roślina dnia krótkiego.

Kwitnąca roślina dnia długiego zaszczepiona na kwitnącej roślinie dnia krótkiego.

Białko FT

Poszukiwania florigenu – drobnocząsteczkowego iduktora kwitnienia, podobnego do innych fitohormonów – zakończyły się niepowodzeniem. W latach 90. ubiegłego wieku odkryto jednak białko FT kodowane przez gen FT (ang. skrót od *Flowering Locus T*), które powstaje w liściach w odpowiedzi na określony fotoperiod. Przemieszcza się ono do wierzchołka wzrostu, gdzie stymuluje wytwarzanie kwiatów. Białko to jest często nazywane florigenem.



Kwiat.

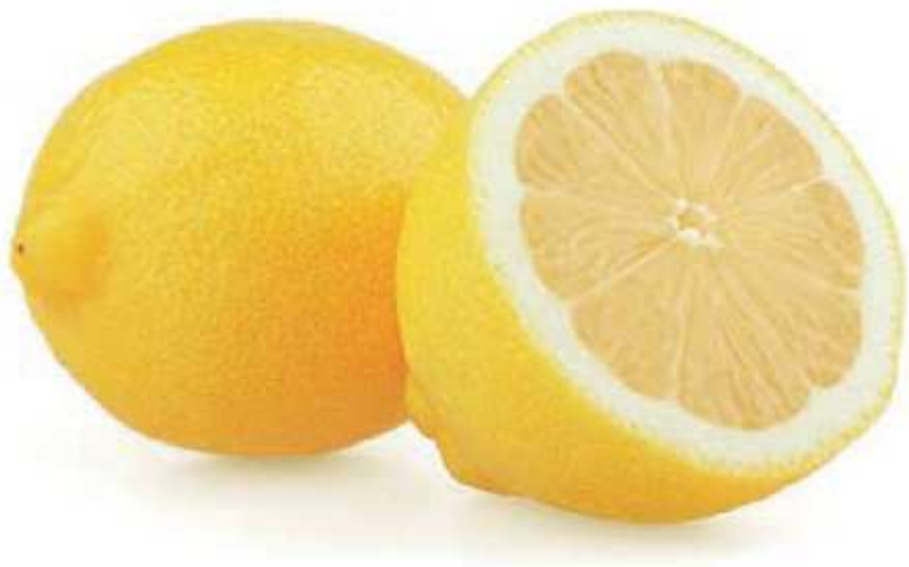
[1] **Szczepienie roślin** – zabieg ogrodniczy, w wyniku którego zrastają się ze sobą dwie rośliny lub ich części.

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 udział również inne części kwiatu, m.in. dno kwiatowe.

Zawiązanie owocu następuje w wyniku zapylenia. Ziarna pyłku zawierają liczne fitohormony, głównie auksyny i gibereliny. 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. Wszyskie części nasienia produkują auksyny i gibereliny, które powodują szybki rozrost owocni, głównie na skutek zwiększania się objętości komórek. Na kolejnym etapie **owoc dojrzewa**. W przypadku owoców mięsistych dojrzewanie polega na rozkładzie skrobi do cukrów prostych – glukozy i fruktozy, zwiększaniu się miękkości owocni, rozkładzie chlorofilu oraz syntezie barwników – m.in. karotenoidów. W regulacji dojrzewania owoców również biorą udział fitohormony. Etylen i kwas abscysynowy przyspieszają dojrzewanie owoców, natomiast auksyny, gibereliny i cytokininy opóźniają ten proces.

Niektóre rośliny wytwarzają **owoce bezNasienne**, czyli **partenokarpiczne**. Powstają one bez zapłodnienia, dlatego nie mają nasion. Ich funkcja biologiczna nie została dotychczas poznana.



Powstawanie owoców partenokarpicznych można wywołać sztucznie przez spryskiwanie roślin roztworami auksyn lub giberelin.

Rośliny monokarpiczne i polikarpiczne

Niektóre rośliny, zwane monokarpicznymi, kwitną i wytwarzają owoce tylko raz w ciągu całego życia. Należą do nich rośliny jednoroczne, dwuletnie oraz – rzadko – byliny. Z kolei do roślin polikarpicznych, które kwitną i owocują wiele razy w ciągu życia, należy większość bylin oraz rośliny drzewiaste.

Do roślin monokarpicznych należy koper ogrodowy (*Anethum graveolens*). Jest on rośliną jednoroczną, która wytwarza owoce suche – rozłupnie.

Do roślin polikarpicznych należy jabłoń domowa (*Malus domestica*). Jest ona wieloletnią rośliną drzewiastą, która wytwarza owoce mięsiste – jabłka.

Doświadczenie

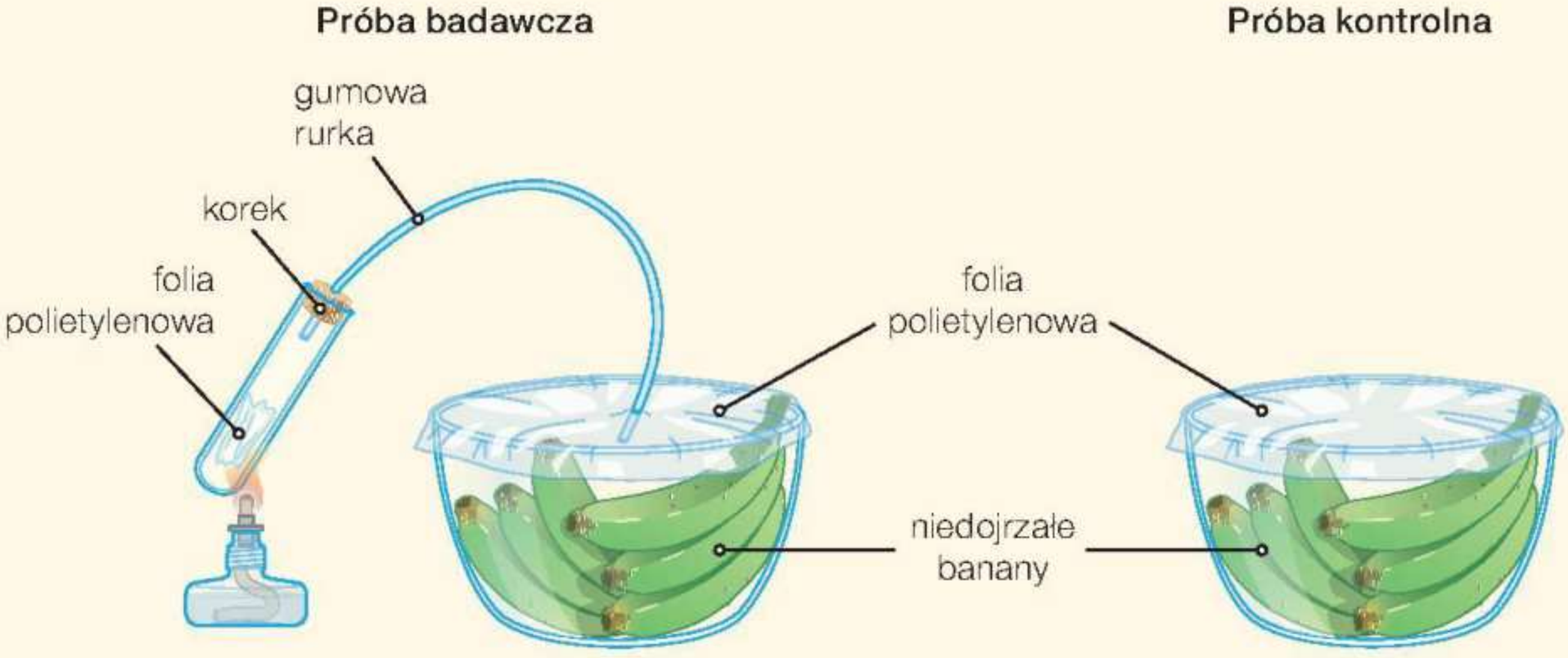
Badanie wpływu etylenu na dojrzewanie owoców

- **Problem badawczy:** Czy etylen przyspiesza dojrzewanie owoców?
- **Hipoteza:** Etylen przyspiesza dojrzewanie owoców.
- **Przebieg doświadczenia:**

  Próba badawcza: Zamknięte naczynie z niedojrzałymi bananami, połączone rurką z probówką z etylenem.

  Próba kontrolna: Zamknięte naczynie z niedojrzałymi bananami.

  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 i szczelnie oklej naczynia folią. Następnie wrzuć do probówki skrawki folii polietylenowej i zamknij probówkę korkiem z rurką. Połącz probówkę z jednym z naczyń zawierających banany 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 oświetlenia i temperatury.



- **Wynik doświadczenia:** Sprawdź, w którym naczyniu banany szybciej dojrzały.
- **Wniosek:** Sformułuj wniosek.
- **Wyjaśnienie:** Polietylen (folia) jest polimerem otrzymywanym z etylenu. W wyniku podgrzewania polietylen topi się i rozkłada do gazowego etylenu, który za pomocą 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 przykładzie dowolnie wybranej rośliny dwuletniej omów znaczenie wernalizacji w jej rozwoju.
4. Wyjaśnij mechanizm fotoperiodycznej indukcji kwitnienia.
5. Na podstawie dostępnych źródeł przygotuj prezentację dotyczącą zastosowania fitohormonów w rolnictwie, w tym w ogrodnictwie.
6. Wyjaśnij, dlaczego korony drzew mają pokrój stożka. W odpowiedzi uwzględnij mechanizm działania odpowiedniego fitohormonu.
7. Podaj różnicę między roślinami monokarpicznymi a roślinami polikarpicznymi.

4.9. Spoczynek i starzenie się roślin

Zwróć uwagę na:
- rolę fitohormonów w procesach spoczynku roślin,
- rolę fitohormonów w procesach starzenia się roślin.

Długość życia roślin jest cechą gatunkową. Rośliny jednoroczne żyją jeden sezon wegetacyjny, który w skrajnych przypadkach wynosi zaledwie kilkanaście dni. Obumierają one po wytworzeniu nasion – struktur przetrwalnikowych, kiełkujących po okresie spoczynku. Rośliny dwuletnie obumierają pod koniec drugiego sezonu wegetacyjnego, również po jednorazowym wytworzeniu nasion. Ich strukturami przetrwalnikowymi są organy podziemne, odporne na niekorzystne warunki środowiska, oraz nasiona. 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 charakteryzuje się odwracalnym zahamowaniem jej wzrostu i metabolizmu. Stan ten stanowi przystosowanie do przetrwania w niesprzyjających warunkach środowiska, które występują w określonej strefie klimatycznej. 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 rośliny; spoczynek ten nie ustępuje wraz z nadejściem korzystnych warunków środowiska.

W umiarkowanej strefie klimatycznej najłatwiej zaobserwować **zimowy spoczynek drzew liściastych**. Jest on odpowiedzią m.in. na niską temperaturę oraz krótki dzień. Ograniczenie metabolizmu i procesów wzrostowych zabezpiecza drzewa przed utratą wody i przemarznięciem, a w konsekwencji przed śmiercią.

Pędy drzew liściastych umiarkowanej strefy klimatycznej kończą wzrost wydłużeniowy już w połowie lata. Rozwój pąków wierzchołkowych zostaje zatrzymany, ponieważ większość asymilatów produkowanych przez rośliny jest wykorzystywana do intensywnego rozwoju liści. W tym czasie zachodzi **wytwarzanie pąków spoczynkowych**, w których gromadzi się kwas abscysynowy, a zmniejsza się stężenie giberelin i cytokinin. Następnym etapem jest **opadanie owoców i liści**, stymulowane głównie działaniem etylenu, oraz zahamowanie przyrostu wtórnego. Pod koniec jesieni drzewa przechodzą w stan spoczynku bezwzględnego, który nie może zostać przerwany nawet optymalną dla wzrostu temperaturą i długim fotoperiodem. Warunkiem jego ustąpienia jest długotrwałe działanie niskiej temperatury, czyli wernalizacja. Spoczynek bezwzględny kończy się zwykle w styczniu. Nadejście wiosny – okresu o odpowiednim fotoperiodzie i wyższej temperaturze – przerywa z kolei spoczynek względny. W pąkach zimowych obniża się stężenie kwasu abscysynowego, a wzrasta stężenie giberelin i cytokinin. W ten sposób drzewa rozpoczynają ponownie procesy wzrostu i rozwoju.

Starzenie się roślin

Dzięki tkankom merystematycznym rośliny teoretycznie mają zdolność nieograniczonego wzrostu i życia. Jednak w praktyce każda roślina ulega 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. Ciekawym gatunkiem jest agawa – monokarpiczna roślina wieloletnia. Wytwarza ona kwiaty i owoce tylko raz, po ok. 10 latach wzrostu wegetatywnego, a następnie obumiera. Jeśli do wytworzenia kwiatów nie dojdzie, agawa może żyć co najmnej dwa razy dłużej. 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.

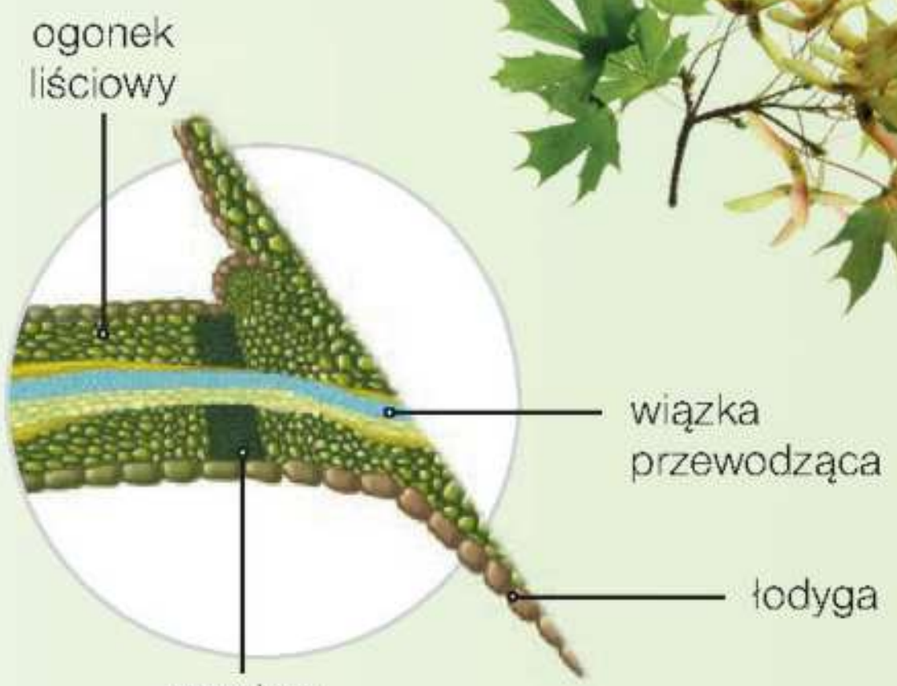
Mechanizm starzenia się i śmierci roślin polikarpicznych również nie jest znany. Jedna z hipotez zakłada, że rośliny te mogłyby żyć nieskończenie długo, gdyby nie choroby, urazy mechaniczne lub niekorzystne warunki środowiska.

Wpływ fitohormonów na spoczynek i starzenie się roślin

Spoczynek i starzenie się roślin są regulowane za pomocą fitohormonów, głównie etylenu i kwasu abscysynowego.

Etylen

Etylen powstaje m.in. 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.

Kwas abscysynowy

Kwas abscysynowy powstaje m.in. w pąkach spoczynkowych oraz w starzejących się liściach i owocach. Efektem jego wpływu jest spoczynek pąków, hamowanie wzrostu pędów oraz przyspieszanie opadania liści i owoców.

Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij, na czym polega przystosowawcze znaczenie spoczynku drzew rosnących w klimacie umiarkowanym.
2. Określ rolę etylenu i kwasu abscysynowego w spoczynku i starzeniu się roślin.

4.10. Ruchy roślin

Zwróć uwagę na:
- tropizmy i nastie jako reakcje roślin na bodźce,
- rolę fitohormonów w mechanizmie ruchów roślin.

Większość roślin lądowych i wtórnie wodnych to organizmy osiadłe, na stałe przytwierdzone do podłoża. Nie przemieszczają się one w przestrzeni, są jednak zdolne do wykonywania ruchów organów lub ich części. Ruchy roślin są bardzo powolne, dlatego trudno je zaobserwować. Tylko nieliczne gatunki, np. muchołówka, są w stanie wykonywać ruchy szybkie. Do ruchów wykonywanych przez rośliny należą głównie tropizmy i nastie, które zachodzą zgodnie z mechanizmami wzrostowym lub turgorowym. Wiele roślin pierwotnie wodnych oraz niektóre struktury roślin lądowych, np. plemniki mchów, poruszają się dzięki taksjom.

Tropizmy

Tropizmy to 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, mamy do czynienia z **tropizmem dodatnim**, jeśli natomiast zachodzi w stronę przeciwną – z **tropizmem ujemnym**. W zależności od rodzaju bodźca wyróżnia się kilka rodzajów tropizmów, m.in. fototropizm, geotropizm, chemotropizm i tigmotropizm.

- **Fototropizm** jest reakcją rośliny na jednostronne oświetlenie. Jest on dodatni, kiedy pędy rośliny wyginają się w stronę światła, lub ujemny, kiedy korzenie wyginają się w stronę przeciwną. Specyficzną formą fototropizmu jest **heliotropizm**, czyli wrażliwość rośliny na światło słoneczne.
- **Geotropizm** jest reakcją rośliny na siłę grawitacji. Geotropizm dodatni występuje w korzeniu, który rośnie w kierunku działania siły grawitacji. Natomiast geotropizm ujemny występuje w łodydze, która rośnie w kierunku przeciwnym do działania siły grawitacji.
- **Chemotropizm** jest reakcją 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** jest reakcją rośliny na bodźce mechaniczne, np. na ucisk. Jego przykładem 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 powoduje, że jedna strona organu rośnie szybciej niż druga. Prawdobodobnie w mechanizmie tym biorą udział również gibereliny. Ruchy wzrostowe organów są powolne i nieodwracalne.

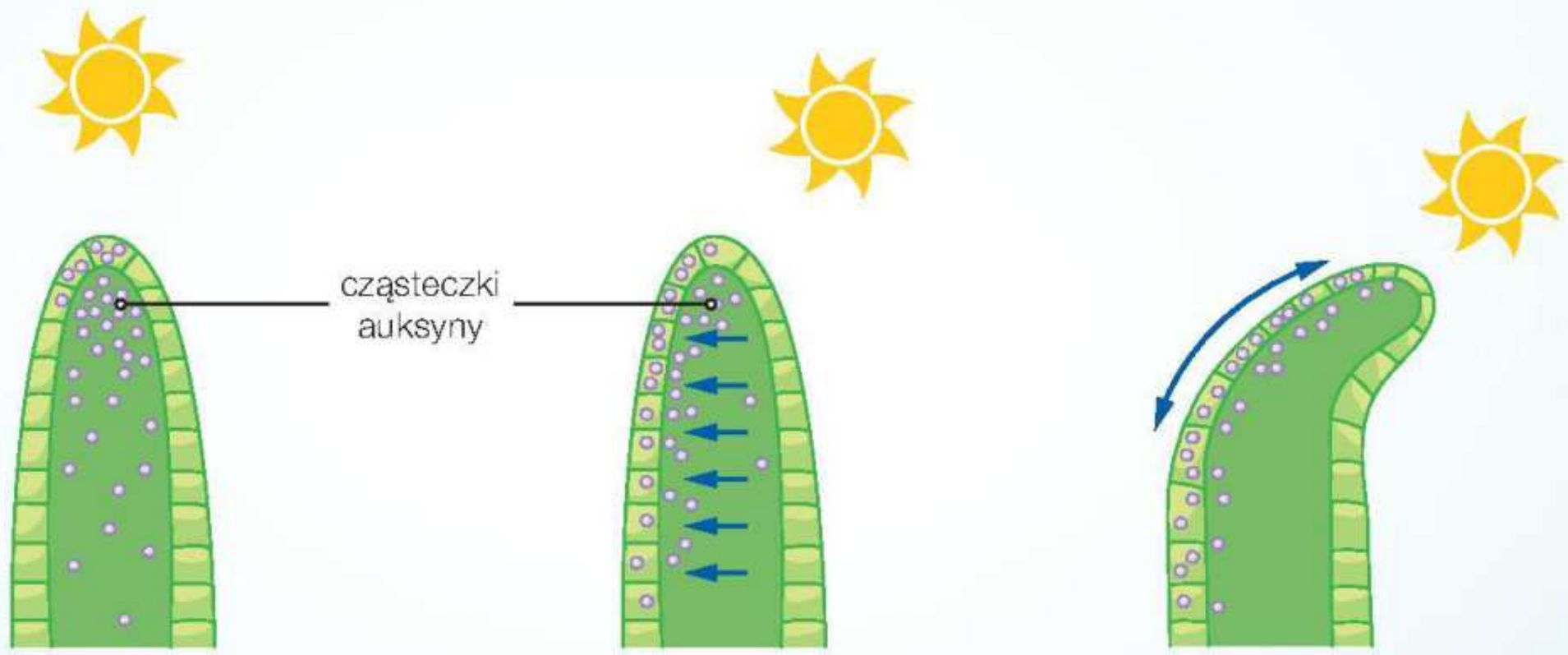
Fototropizm dodatni polega na wyginaniu się pędów roślin w kierunku światła. Przykładem takiego fototropizmu jest heliotropizm kwiatostanów i liści słonecznika w kierunku słońca.

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.

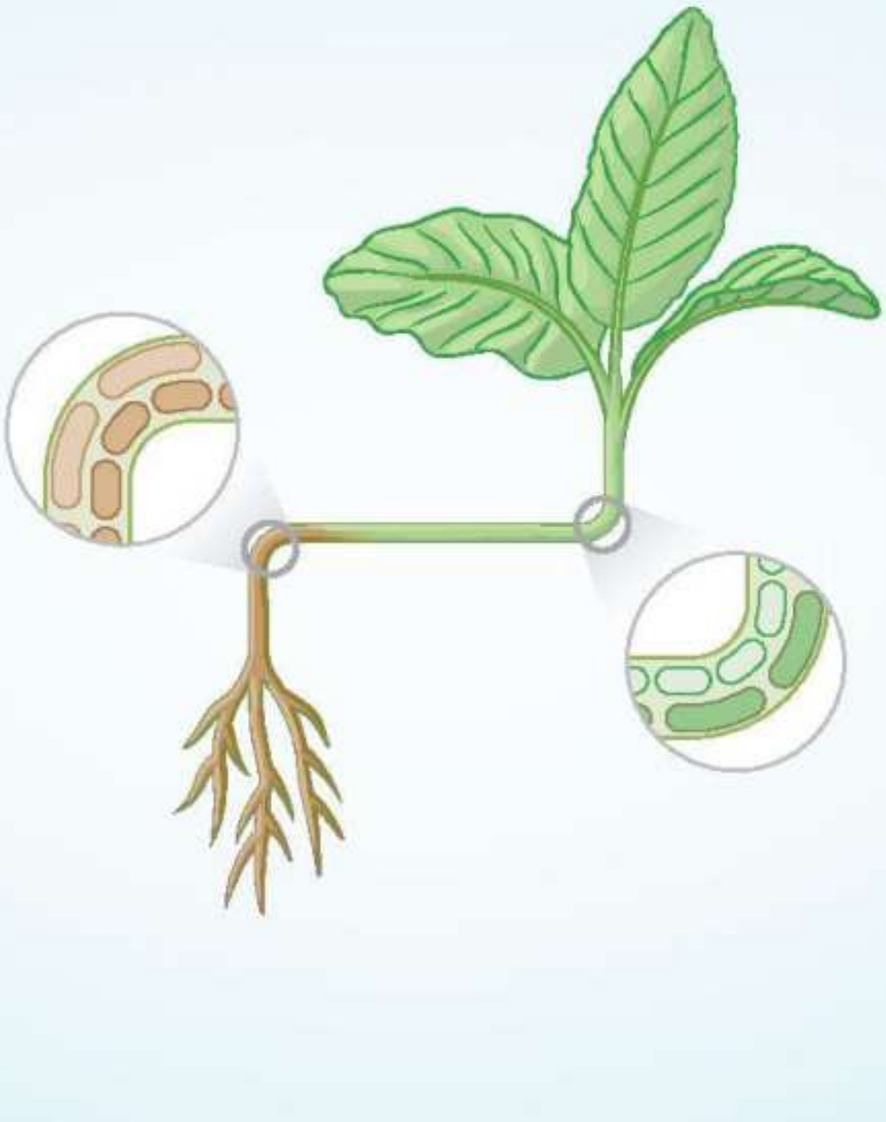
Przy jednostronnym oświetleniu auksyny produkowane w stożku wzrostu przemieszczają się na stronę zacienioną i w dół łodygi.

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. Jednak 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.

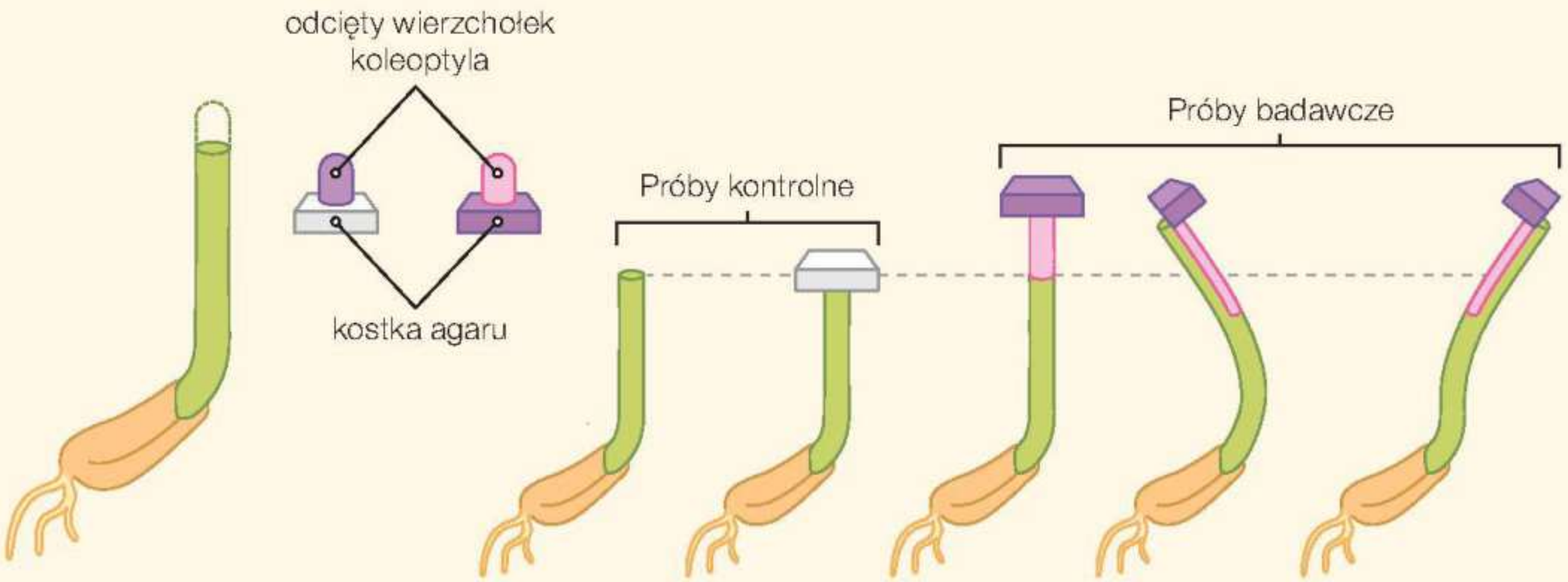
Doświadczenie – jak to odkryto?

Odkrywanie mechanizmu fototropizmu

Pierwsze obserwacje fototropizmu przeprowadził w 1880 r. Karol Darwin. Obiektem jego badań były koleoptyle 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 (*Avena*) wykazał doświadczalnie Frits Warmolt Went [wym. fric łormolt łent] w 1928 r.

Koleoptyl to pochwiasto ukształtowany pierwszy liść siewki trawy, obejmujący pozostałe części pędu siewki.

- **Problem badawczy:** Czy fototropizm koleoptyla owsa jest spowodowany substancją wytwarzaną w wierzchołku koleoptyla?
- **Hipoteza:** Fototropizm koleoptyla owsa jest spowodowany substancją wytwarzaną w wierzchołku koleoptyla.
- **Przebieg doświadczenia:** W pierwszym etapie doświadczenia Went odcinał wierzchołki koleoptyli owsa poddanych działaniu światła i umieszczał je na agarowych kostkach. Substancja wytwarzana w wierzchołkach dyfundowała do agaru. Następnie konstruował próby kontrolne i próby badawcze, które umieszczał w ciemności. Próby kontrolne stanowiły koleoptyle pozbawione wierzchołków oraz koleoptyle pozbawione wierzchołków z nałożoną na szczycie kostką agarową bez dodatkowych substancji. Próby badawcze stanowiły koleptyle pozbawione wierzchołków z nałożonymi na szczycie kostkami agarowymi nasiąkniętymi substancją wytwarzaną przez odcięte wierzchołki. Kostki były nakładane symetrycznie oraz asymetrycznie.



- **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.
- **Wniosek:** Substancja wytwarzana w wierzchołku koleoptyli owsa jest odpowiedzialna za ruchy fototropiczne koleoptyli.

Doświadczenie

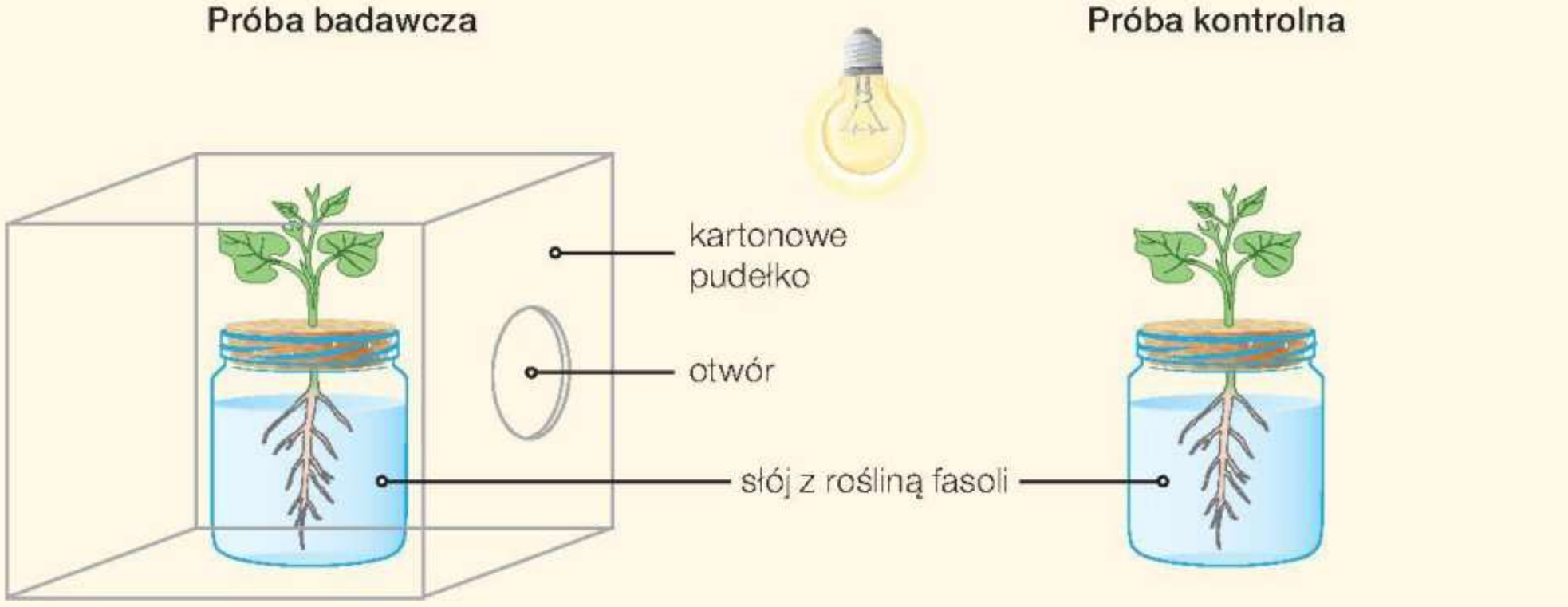
Badanie różnic w fototropizmie korzenia i pędu

- **Problem badawczy:** Wpływ światła kierunkowego na fototropizm korzenia i pędu fasoli.
- **Hipoteza:** Pod wpływem światła kierunkowego korzeń fasoli wykazuje fototropizm ujemny, a pęd – fototropizm dodatni.
- **Przebieg doświadczenia:**

  Próba badawcza: Młoda roślina fasoli umieszczona w słoju, oświetlana światłem kierunkowym.

  Próba kontrolna: Młoda roślina fasoli umieszczona w słoju, oświetlana światłem równomiernym.

  Przygotuj dwie młode rośliny fasoli, słoje z korkami, wodę wodociągową oraz karton z wyciętym otworem. Oba słoje napełnij wodą. Następnie wytnij w korkach otwory i umieść rośliny w słojach, zgodnie z poniższym rysunkiem. Jeden słój włóż do kartonowego pudełka. Pozostaw obie próby w równomiernie oświetlonym pomieszczeniu na trzy dni.

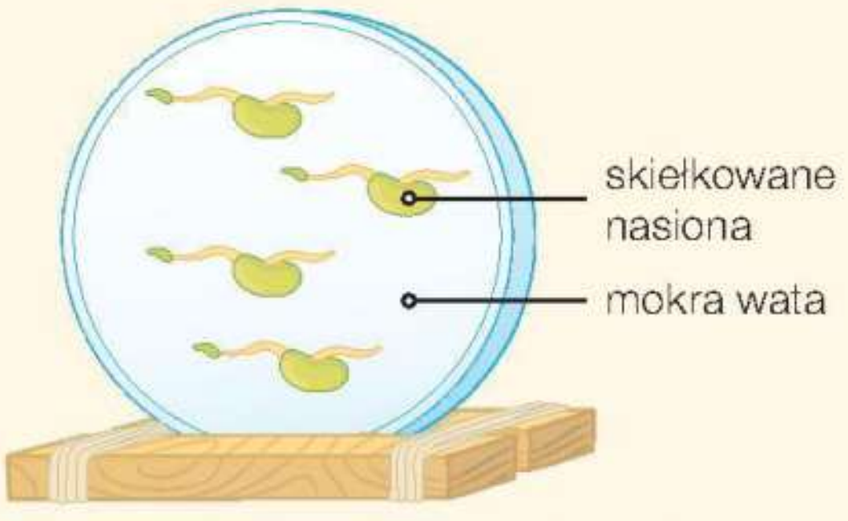


- **Wynik doświadczenia:** Sprawdź wygląd obu roślin.
- **Wniosek:** Sformułuj wniosek.
- **Wyjaśnienie:** Tropizmy to ruchy wygięciowe organów roślinnych w odpowiedzi na bodziec działający kierunkowo. Równomierne oświetlenie nie wywołuje reakcji tropicznej, natomiast kierunkowe oświetlenie powoduje odpowiednie reakcje tropiczne korzenia i pędu.

Obserwacja

Geotropizm korzeni i pędów

Przygotuj szalkę Petriego, wilgotną watę i kilka skiełkowanych nasion grochu lub fasoli. Następnie umocuj nasiona na wacie w taki sposób, by wszystkie korzenie i pędy były ułożone w tej samej pozycji. Postaw szalkę pionowo, zgodnie z przedstawionym rysunkiem, w ciemnym i ciepłym miejscu. Codziennie sprawdzaj zmiany zachodzące w kiełkujących roślinach oraz dokumentuj je za pomocą fotografii. Pilnuj, by w trakcie obserwacji wata nie wyschła.



Sposób ustawienia szalki z nasionami.

Nastie

Nastie to **reakcje ruchowe organów roślinnych niezależne od kierunku działania bodźca**. Są one zwykle **ruchami turgorowymi**, rzadziej – wzrostowymi. Zmiany turgoru zachodzą często w wyspecjalizowanych komórkach rozmieszczonych w określonych miejscach organu. Ruchy takie są zwykle przejściowe i odwracalne. Wyróżnia się kilka rodzajów nastii.

Rodzaje nastii

Rodzaj bodźca	Rodzaj ruchu
substancja chemiczna	chemonastia
światło	fotonastia
bodziec mechaniczny	sejsmonastia
temperatura	termonastia

Typowym przykładem nastii, której podstawą są zmiany turgoru komórek, jest składanie się pierzastych liści mimozy w odpowiedzi na działanie bodźca mechanicznego, np. dotyku (sejsmonastia). U nasady ogonków liściowych oraz drobnych listków wchodzących w skład liści mimozy znajdują się poduszeczki liściowe. Komórki miękiszowe budujące poduszeczki są zwykle w stanie pełnego turgoru. Dotknięcie liścia powoduje wypływ jonów, głównie kationów potasu (K^+), z tych komórek, co pociąga za sobą wzrost ich potencjału wody. Wówczas woda przemieszcza się osmotycznie z roztworu o wyższym potencjale wody do roztworu o niższym potencjale wody, czyli wypływa z komórek do przestrzeni międzykomórkowych. W ten sposób gwałtownie maleje turgor komórek, co objawia się błyskawicznym złożeniem listków i opuszczeniem ogonka liściowego. Po upływie kilkunastu minut liście mimozy powracają do stanu wyjściowego.

Nastie mogą mieć również charakter ruchów wzrostowych. Przykładem jest otwieranie i zamykanie się kwiatów w odpowiedzi na zmiany temperatury otoczenia (termonastia). Podwyższenie temperatury powoduje u większości roślin przyspieszenie wzrostu wewnętrznej strony nasady płatków korony, a w konsekwencji ich odchylanie się na zewnątrz i otwieranie się kwiatu. Obniżenie temperatury otoczenia wywołuje reakcję odwrotną: następuje zahamowanie wzrostu wewnętrznej strony nasady płatków, które powoduje zamykanie się kwiatu. Podobny jest mechanizm reagowania kwiatów niektórych roślin na działanie światła i ciemności (fotonastie). Kwiaty tych roślin (np. goryczki) otwierają się w dzień, innych natomiast (np. maciejki) – w nocy.

Mimoza w naturalnej pozycji może wabić zwierzęta roślinożerne. Składanie liści jest więc jej formą obrony przed zjedzeniem.

Liście mimozy składają się pod wpływem dotyku. Dzięki temu roślina wydaje się zwiędła i niesmaczna.

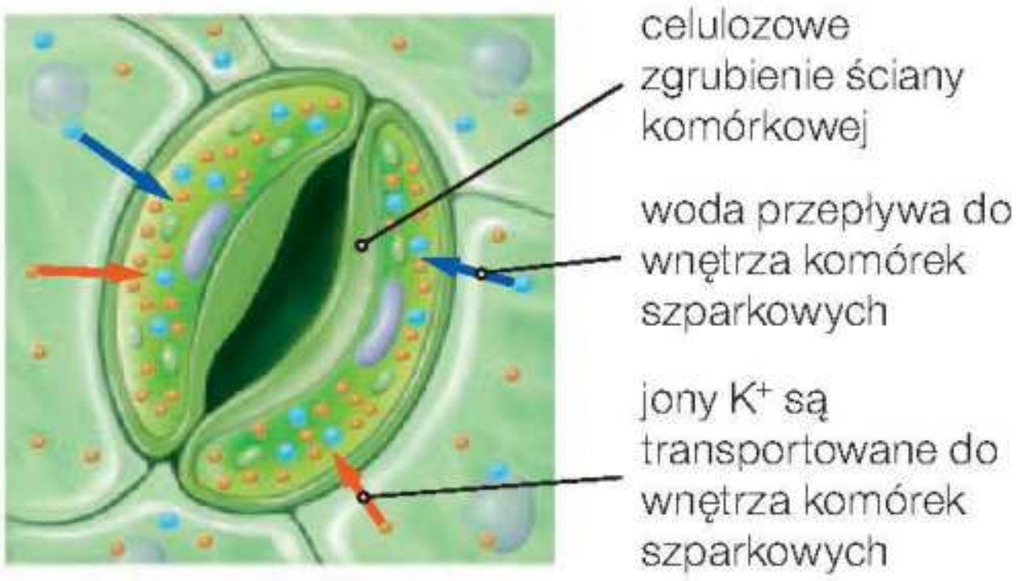
Czy wiesz, że...

U roślin zachodzą również ruchy autonomiczne, niezależne od działania bodźców zewnętrznych. Są one spowodowane czynnikami wewnętrznymi rośliny, a ich mechanizm nie został dotąd poznany. Przykładem ruchów autonomicznych są nyktynastie, czyli ruchy senne, które występują np. u fasoli i polegają na stulaniu liści o zmierzchu.

Mechanizm otwierania i zamykania się aparatu szparkowego

Otwieranie i zamykanie się aparatu szparkowego jest uwarunkowane zmianami turgoru komórek szparkowych. Komórki te mają celulozowe zgrubienia ścian komórkowych graniczących z otworem szparki. Kiedy turgor komórek rośnie, rozciagają się tylko cienkie, elastyczne części ściany komórkowej, a zgrubiałe pozostają bez zmian. Dzięki temu komórki się wyginają, a szparka się otwiera. Przy zmniejszeniu się turgoru komórki zachodzi proces odwrotny.

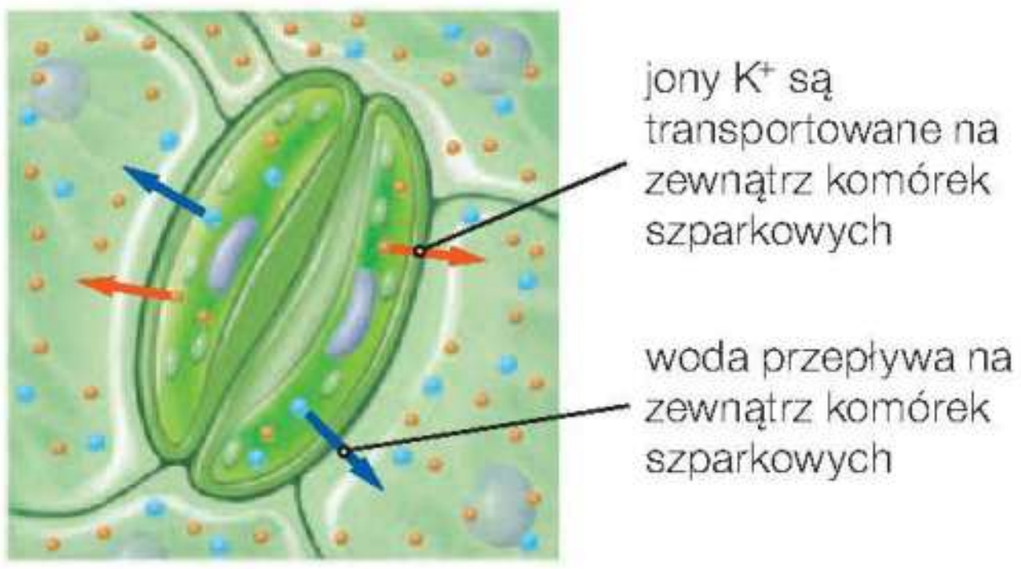
skrobia → glukoza → jony jabłczanowe



Otwieranie się aparatu szparkowego obejmuje:

- obniżenie potencjału wody w komórkach szparkowych, spowodowane wzrostem stężenia jonów K^+ oraz jonów jabłczanowych; jony K^+ są aktywnie transportowane do komórek szparkowych z komórek sąsiednich, natomiast jony jabłczanowe są wynikiem rozkładu skrobi gromadzonej w komórkach szparkowych,
- osmotyczny napływ wody do wnętrza komórek szparkowych z komórek sąsiednich o wyższym potencjale wody,
- wzrost turgoru komórek szparkowych i w konsekwencji otwieranie się aparatu szparkowego.

jony K^+ → glukoza → skrobia



Zamykanie się aparatu szparkowego obejmuje:

- wzrost potencjału wody w komórkach szparkowych, spowodowany zmniejszeniem stężenia jonów K^+ oraz jonów jabłczanowych; jony K^+ są transportowane z komórek szparkowych do komórek sąsiednich, natomiast jony jabłczanowe są zużywane do syntezy skrobi gromadzonej następnie w komórkach szparkowych,
- osmotyczny wypływ wody z komórek szparkowych do komórek sąsiednich o niższym potencjale wody,
- spadek turgoru komórek szparkowych i w konsekwencji zamykanie się aparatu szparkowego.

Obserwacja

Termonastia kwiatów tulipana

Przygotuj dwa pędy tulipana z pąkami kwiatowymi. Jeden pęd umieść w naczyniu z wodą o temperaturze 10°C, a drugi w naczyniu z wodą o temperaturze 20°C. Obserwuj, w którym naczyniu kwiat otworzy się szybciej.

Podwyższenie temperatury powoduje przyspieszenie wzrostu wewnętrznej strony nasady działek okwiatu, a w konsekwencji otwieranie się kwiatu tulipana.

Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij, na czym polega różnica między tropizmem a nastią.
2. Omów mechanizm geotropizmu w pędach i korzeniach roślin.
3. Omów mechanizm otwierania i zamykania się aparatów szparkowych.

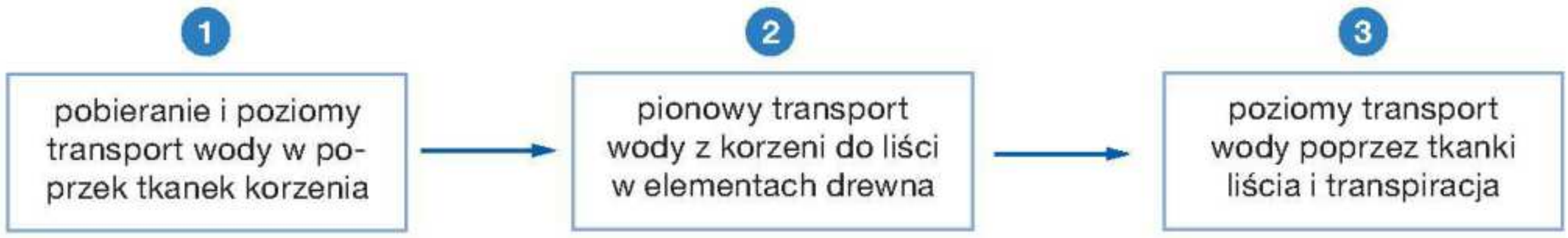
Podsumowanie

1 Zasada transportu wody w roślinie

Potencjał wody – Ψ_w (psi) – wyrażany zazwyczaj w megapaskalach (MPa), jest miarą zdolności komórki do pobierania lub oddawania wody na drodze osmozy.

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 Etapy transportu wody w roślinie



3 Sposoby transportu wody w poprzek korzenia:

- 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 wielokrotnie – za każdym razem, gdy przechodzi z komórki do komórki.

4 Porównanie siły ssącej i parcia korzeniowego

	Siła ssąca	Parcie korzeniowe
Rodzaj mechanizmu	bierny – wyparowywanie wody z powierzchni liści	czynny – aktywny transport jonów i związków osmotycznie czynnych do elementów przewodzących drewna
Źródło energii do zajścia procesu	energia słoneczna	rozkład ATP
Wartość ciśnienia hydrostatycznego	ujemna	dodatnia
Sposób utraty wody	transpiracja	gutacja lub wiosenny płacz roślin

5 Rodzaje transpiracji:

- kutykularna – zachodzi przez zewnętrzną powierzchnię liścia,
- szparkowa – zachodzi przez otwarte aparaty szparkowe,
- przetchlinkowa – odbywa się przez przetchlinki korka pokrywającego łodygi roślin drzewiastych.

6 Czynniki wpływające na transpirację

Czynniki wpływające na transpirację	
wewnętrzne	**zewnętrzne**
• wielkość systemu korzeniowego • wielkość i struktura anatomiczna liści (liczba i rozmieszczenie aparatów szparkowych)	• temperatura • światło • wilgotność powietrza • dostępność wody glebowej

7 Przystosowania roślin do suszy fizjologicznej

Susza fizjologiczna – stan środowiska zewnętrznego, który sprawia, że woda obecna w podłożu jest niedostępna lub słabo dostępna dla roślin, np. w wyniku zamarzania wody w glebie lub w przypadku silnego zasolenia gleby.

Przystosowania roślin do suszy fizjologicznej	
spowodowanej zamarzaniem wody w glebie	**spowodowanej silnym zasoleniem gleby (u halofitów)**
• ograniczenie transpiracji (rośliny szpilkowe) • zrzucanie liści na zimę (drzewa liściaste) • wytwarzanie organów przetrwalnikowych, np. kłączy, cebul lub korzeni spichrzowych (byliny i rośliny dwuletnie)	• magazynowanie soli w wakuolach, co zmniejsza potencjał wody w komórkach i powoduje napływ wody do ich wnętrza • rozcieńczanie roztworu soli w miękiszu wodnym • usuwanie nadmiaru soli, np. przez gruczoły solne

8 Gleba – źródło makro- i mikroelementów dla roślin

Gleba składa się z trzech faz: stałej, ciekłej i gazowej. Głównym źródłem makro- i mikroelementów dostępnych dla roślin jest faza ciekła gleby, czyli roztwór glebowy.

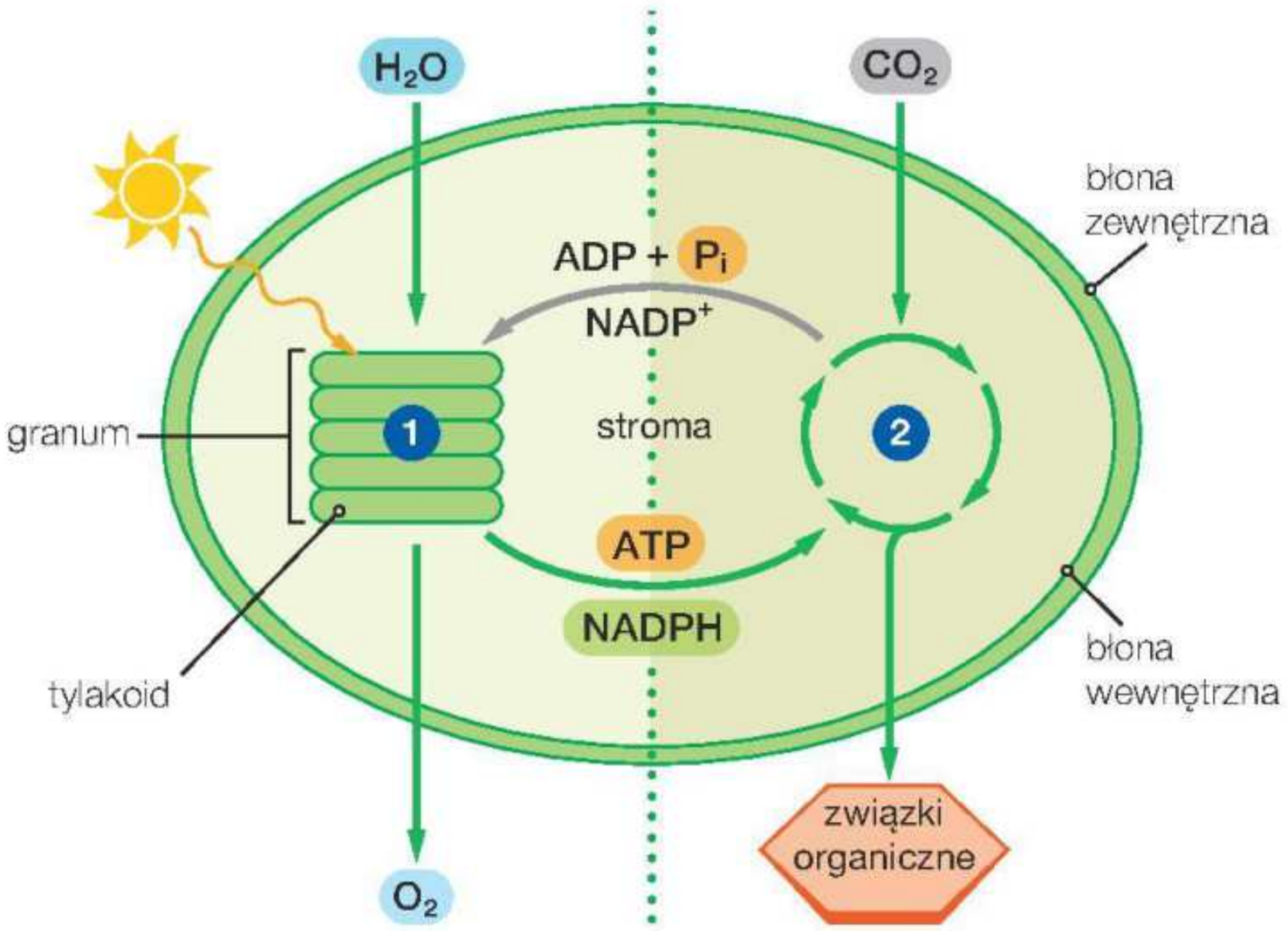
Fazy gleby		
stała	**ciekła**	**gazowa**
• W jej skład wchodzą cząstki mineralne lub organiczne. Niektóre z nich tworzą kompleks sorpcyjny gleby, czyli ujemnie naładowane koloidy glebowe, wiążące kationy obecne w glebie, m.in. K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}, NH_4^+. • Jest źródłem jonów dla roztworu glebowego.	• Tworzy ją roztwór glebowy, czyli wodny roztwór zawierający aniony niezwiązane z kompleksem sorpcyjnym oraz kationy oderwane od koloidów glebowych. • Jest źródłem makro- i mikroelementów dla roślin.	• Tworzy ją powietrze, które wypełnia wolne przestrzenie w glebie. • Jest źródłem tlenu dla korzeni oraz dla organizmów glebowych, np. bakterii lub grzybów.

9 Pobieranie i transport składników mineralnych

- Korzenie uwalniają do roztworu glebowego dwutlenek węgla, który w reakcji z wodą tworzy kwas węglowy. Kwas ten dysocjuje na jony wodorowęglanowe i protony. Ponadto pompy protonowe aktywnie transportują protony z komórek korzenia do roztworu glebowego.
- Protony obecne w roztworze glebowym łączą się z koloidami kompleksu sorpcyjnego, odłączając od nich kationy innych pierwiastków niezbędnych roślinom.
- Kationy są transportowane do komórek przez kanały jonowe lub na drodze symportu z protonami.

10 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 przy udziale energii świetlnej. Produktem ubocznym fotosyntezy oksygenicznej jest tlen.



1. W tylakoidach chloroplastów odbywa się faza fotosyntezy zależna od światła, która wymaga obecności wody i dopływu energii świetlnej. Polega ona na liniowym przepływie elektronów od cząsteczki wody przez fotosystemy PS II i PS I oraz przenośniki elektronów na $NADP^+$. W rezultacie powstaje NADPH. Jednocześnie dzięki wytworzeniu gradientu protonowego w poprzek błony tylakoidu powstaje ATP. NADPH i ATP są nazywane siłą asymilacyjną.
2. W stromie chloroplastów odbywa się faza niezależna od światła (cykl Calvina), która wymaga obecności dwutlenku węgla oraz siły asymilacyjnej wytworzonej w fazie zależnej od światła. Faza ta polega na wykorzystaniu siły asymilacyjnej do wytworzenia związków organicznych z dwutlenku węgla.

Sumaryczne równanie fotosyntezy oksygenicznej:

$$6\,CO_2 + 6\,H_2O \xrightarrow{\text{energia świetlna}} C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2$$

11 Przystosowania w budowie liści do przeprowadzania fotosyntezy

Element budowy liścia	Znaczenie dla procesu fotosyntezy
Duża powierzchnia blaszki liściowej	Zapewnia dużą powierzchnię absorpcji światła.
Obecność ogonka liściowego	Umożliwia odpowiednie ustawienie blaszki liściowej zapewniające maksymalną absorpcję światła.
Epiderma z aparatami szparkowymi	Umożliwia wymianę gazową.
Wiązki przewodzące	Umożliwiają transport wody (drewno) i związków organicznych (łyko).
Miękisz asymilacyjny z licznymi chloroplastami	Umożliwia wydajne zachodzenie fotosyntezy.

12 Porównanie roślin typu C3, C4, CAM

Cecha	Typ roślin		
	C3	C4	CAM
Występowanie	umiarkowana strefa klimatyczna	strefy klimatyczne: okołorównikowa i zwrotnikowa	obszary pustynne i półpustynne
Przykład rośliny	większość roślin	kukurydza	kaktusy
Miejsce zachodzenia fotosyntezy	miękisz asymilacyjny	miękisz asymilacyjny i komórki pochwy okołowiązkowej	miękisz asymilacyjny
Stopień otwarcia aparatów szparkowych w dzień	otwarte	przymknięte	zamknięte
Pora doby, w której zachodzi wiązanie CO_2	dzień	dzień	noc
Akceptor CO_2	rybulozo-1,5--bisfosforan (RuBP)	fosfoenolopirogronian (PEP)	fosfoenolopirogronian (PEP)
Enzym przeprowadzający karboksylację	karboksylaza 1,5-bisfosforybulozy	karboksylaza fosfoenolopirogronianowa	karboksylaza fosfoenolopirogronianowa
Pierwotny produkt karboksylacji	3-fosfoglicerynian (PGA)	szczawiooctan	szczawiooctan

13 Czynniki wpływające na intensywność fotosyntezy

Rodzaj czynnika	Opis wpływu
Światło	• warunkuje przebieg fazy zależnej od światła fotosyntezy • intensywność fotosyntezy rośnie wraz ze wzrostem natężenia światła do wartości maksymalnej, czyli świetlnego punktu wysycenia • wzrost natężenia światła powyżej maksimum powoduje spadek intensywności fotosyntezy wskutek intensywnej transpiracji i fotooksydacji chlorofilu • przyczynia się do rozwoju miękiszu asymilacyjnego, powstawania chloroplastów i chlorofilu
Dwutlenek węgla	• jest jednym z substratów fotosyntezy wykorzystywanych w fazie niezależnej od światła • intensywność fotosyntezy rośnie wraz ze wzrostem stężenia dwutlenku węgla w atmosferze (do ok. 1%)
Temperatura	• wpływa na aktywność enzymów biorących udział w procesie fotosyntezy • minimum, optimum i maksimum przyjmują różne wartości u poszczególnych gatunków
Woda	• jest jednym z substratów fotosyntezy (dawca elektronów i protonów w fazie zależnej od światła) • zapewnia odpowiedni turgor komórek, m.in. komórek szparkowych, co umożliwia zachodzenie wymiany gazowej (pobór dwutlenku węgla i uwalnianie tlenu)
Sole mineralne	• są niezbędne do przebiegu fotosyntezy (magnez jest składnikiem chlorofilu, jony potasu i cynku warunkują aktywność enzymów fotosyntetycznych, mangan uczestniczy w fotolizie wody) • niedobór któregoś z niezbędnych pierwiastków powoduje zmniejszenie intensywności fotosyntezy, a w skrajnych przypadkach – jej całkowite zahamowanie

14 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. do organów spichrzowych) lub nie wymagać nakładu energii (np. do rosnących liści).

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
Gibereliny	• wierzchołki wzrostu • młode liście • kwiaty • owoce • kiełkujące nasiona	+ pobudzają wzrost wydłużeniowy komórek + pobudzają podziały komórek kambium + pobudzają zakwitanie niektórych gatunków roślin + odpowiadają za powstawanie owoców + pobudzają nasiona do kiełkowania
Cytokininy	• korzenie • młode liście • kiełkujące nasiona • owoce	+ pobudzają podziały komórkowe + pobudzają rozwój pąków bocznych + pobudzają wzrost wydłużeniowy komórek + odpowiadają za prawidłowy rozwój chloroplastów + pobudzają nasiona do kiełkowania + odpowiadają za procesy różnicowania się tkanek i organów – opóźniają procesy starzenia się tkanek i organów
Kwas abscysynowy (ABA)	• korzenie • dojrzałe liście • owoce • pąki • nasiona	+ odpowiada za spoczynek pąków i nasion + odpowiada za reakcje roślin na stres, np. w sytuacji niedostatku wody stymuluje zamykanie aparatów szparkowych + przyspiesza opadanie liści i owoców + powoduje starzenie się tkanek i organów roślinnych – hamuje wzrost pędów
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

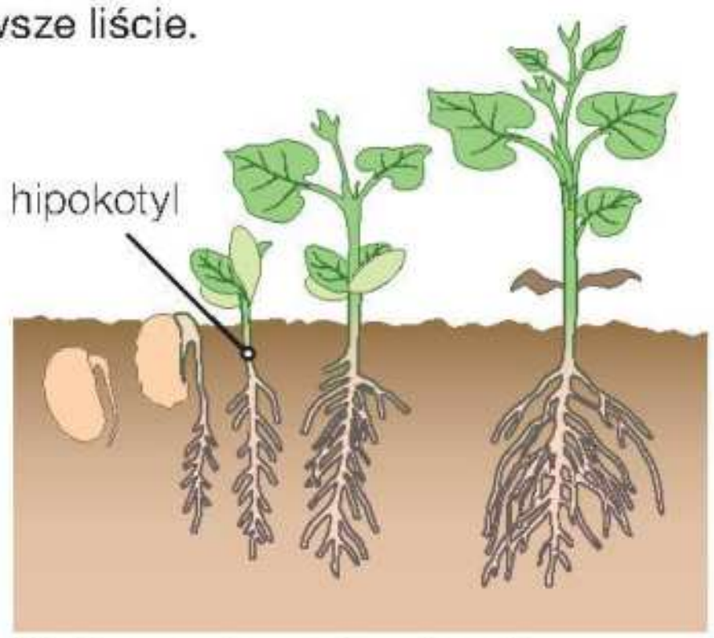
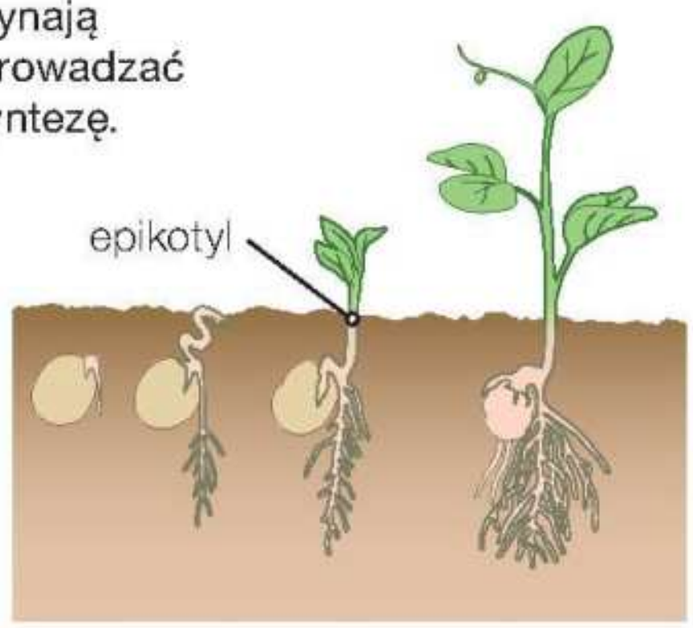
16 Etapy ontogenezy rośliny okrytozalążkowej

1. Stadium wegetatywne:
   - rozwój zarodkowy (embriogeneza),
   - kiełkowanie nasion,
   - rozwój wegetatywny.
2. Stadium generatywne:
   - kwitnienie,
   - owocowanie.
3. Starzenie się i obumieranie.

17 Rodzaje spoczynku nasion

Rodzaj spoczynku	Przyczyny spoczynku	Warunki przerwania spoczynku
Spoczynek względny	Nieodpowiednie do kiełkowania warunki środowiska zewnętrznego, np.: • niedostatek wody, • nieodpowiednia temperatura otoczenia, • niewystarczająca ilość światła.	optymalne warunki środowiska
Spoczynek bezwzględny	Brak gotowości nasion do kiełkowania spowodowany m.in.: • nieprzepuszczalnością łupiny nasiennej dla wody i gazów, • niedojrzałością (morfologiczną lub fizjologiczną) zarodka, • wpływem inhibitorów wzrostu i rozwoju roślin.	wycofanie inhibicji i czynnika wywołującego spoczynek

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.
 Kiełkowanie nasion fasoli.	 Kiełkowanie nasion grochu.

19 Wpływ fitohormonów na spoczynek i kiełkowanie nasion

Fitohormony	Sposób działania
Inhibitor kiełkowania – kwas abscysynowy (ABA)	Hamuje wytwarzanie enzymów, które katalizują hydrolizę substancji zapasowych nasienia.
Stymulatory kiełkowania – giberelliny i cytokininy	Giberelliny pobudzają wytwarzanie enzymów, które katalizują hydrolizę substancji zapasowych nasion. Giberelliny i cytokininy aktywują enzymy uczestniczące w kiełkowaniu nasion.

20 Grupy roślin o różnej reakcji fotoperiodycznej

Fotoperiodyzm – reakcje roślin na czas trwania okresów światła i ciemności w ciągu doby.

Grupy roślin		
rośliny dnia krótkiego (SDP)	**rośliny dnia długiego (LDP)**	**rośliny neutralne (DNP)**
• Warunkiem kwitnienia jest przewaga okresu ciemności nad okresem światła w ciągu doby. • Przykłady roślin: złocień, poinsecja.	• Warunkiem kwitnienia jest przewaga okresu światła nad okresem ciemności w ciągu doby. • Przykłady roślin: sałata, koniczyna.	• Czas trwania okresów światła i ciemności w ciągu doby nie ma wpływu na zakwitanie. • Przykłady roślin: ogórek, pomidor.

21 Reakcja roślin dnia krótkiego i dnia długiego na czas trwania światła i ciemności w ciągu doby

Czas trwania dnia i nocy	Proporcja fitochromu P_r i P_{fr}	Reakcja fotoperiodyczna		Wpływ fitochromu P_{fr} na kwitnienie
		SDP	LDP	
długa noc, krótki dzień	spadek stężenia P_{fr}		—	stymuluje kwitnienie SDP, hamuje kwitnienie LDP
krótka noc, długi dzień	wzrost stężenia P_{fr}	—		hamuje kwitnienie SDP, stymuluje kwitnienie LDP

22 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. uścisk	• reakcja na bodźce mechaniczne, m.in. na ucisk – np. owijanie się wąsów czepnych fasoli wokół podpory

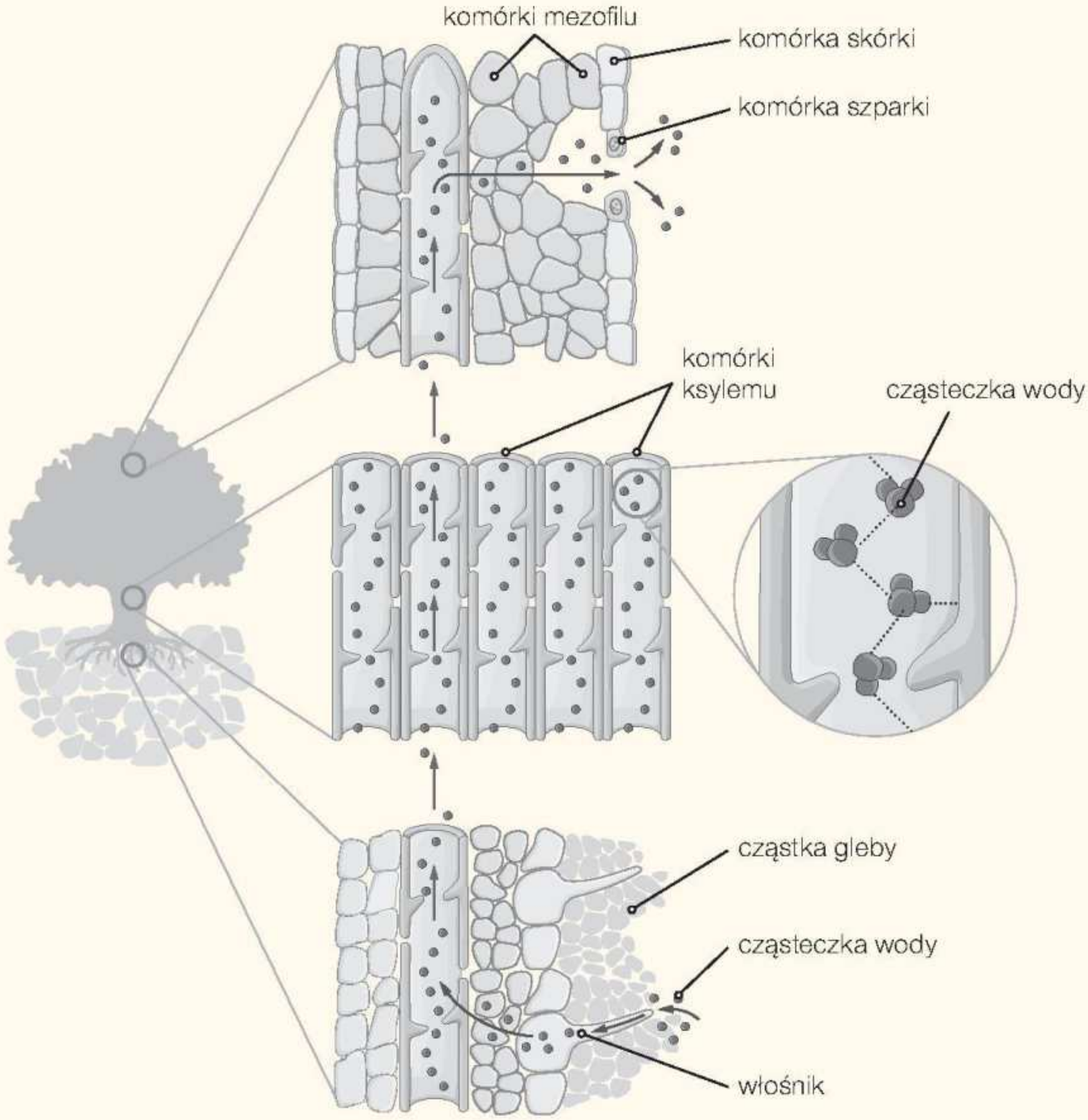
23 Rodzaje nastii

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

Sposób na zadania

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) Zaznacz wiersz tabeli, w którym podano prawidłowy 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.

Wskazówki

Podpunkt a)

1. Przypomnij sobie, jak zbudowana jest cząsteczka wody oraz jakie wiązania występują pomiędzy jej cząsteczkami. Informacje na ten temat znajdziesz w podręczniku do klasy 1 na s. 34–35.
2. Zastanów się, jaka jest różnica między kohezją a adhezją. Definicję obu pojęć znajdziesz w podręczniku do klasy 1 na s. 35 oraz do klasy 2 na s. 207.
3. Przypomnij sobie, jak zbudowane są elementy przewodzące wodę u roślin. Informację na ten temat znajdziesz w podręczniku do klasy 1 na s. 35 oraz do klasy 2 na s. 108.
4. Zastanów się, w jaki sposób woda przemieszcza się w roślinie. Powiąż informacje dotyczące wiązań, które występują między cząsteczkami wody, oraz wiązań między wodą a ścianami naczyń. Informacje na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 95 i s. 203.
5. Na podstawie zebranych informacji sformułuj odpowiedź.

Podpunkt b)

1. Przypomnij sobie, czym jest potencjał wody. Informacje na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 205.
2. Zastanów się, jak zmienia się potencjał wody w układzie gleba–roślina–powietrze. Dane te znajdziesz w podręczniku na s. 207.
3. Przeanalizuj dane przedstawione w tabeli. Odszukaj ten wiersz w tabeli, który zawiera prawdopodobne wartości potencjału wody w układzie gleba–roślina–powietrze.
4. Zaznacz poprawną odpowiedź.

Podpunkt c)

1. Zastanów się, w jakich sytuacjach rośliny nie są w stanie pobrać wody z gleby, mimo że jest ona obecna w środowisku. Informacje na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 213.
2. Wybierz jeden z podanych w podręczniku przykładów.
3. Sformułuj odpowiedź.

Zadania powtórzeniowe

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Przeprowadzono doświadczenie, w którym badano proces wymiany jonowej między włośnikami korzeni fasoli a podłożem. Na początku dwie szklane płytki polano wodą wapienną. Po odparowaniu wody płytki pokrywała cienka warstwa węglanu wapnia. Następnie obie płytki włożono pod kątem 45° do 2 doniczek, które powoli wypełniono wilgotnym piaskiem. Do jednej doniczki posadzono 5 napęczniałych nasion fasoli. Doświadczenie prowadzono przez 14 kolejnych dni, dbając o to, aby piasek w obu doniczkach był stale wilgotny. Po upływie tego czasu obie płytki wyjęto z doniczek i stwierdzono, że płytka, która znajdowała się w doniczce z siewkami fasoli, stała się przezroczysta w miejscach, w których przylegały do niej korzenie rośliny.

a) Sformułuj problem badawczy do opisanego doświadczenia.

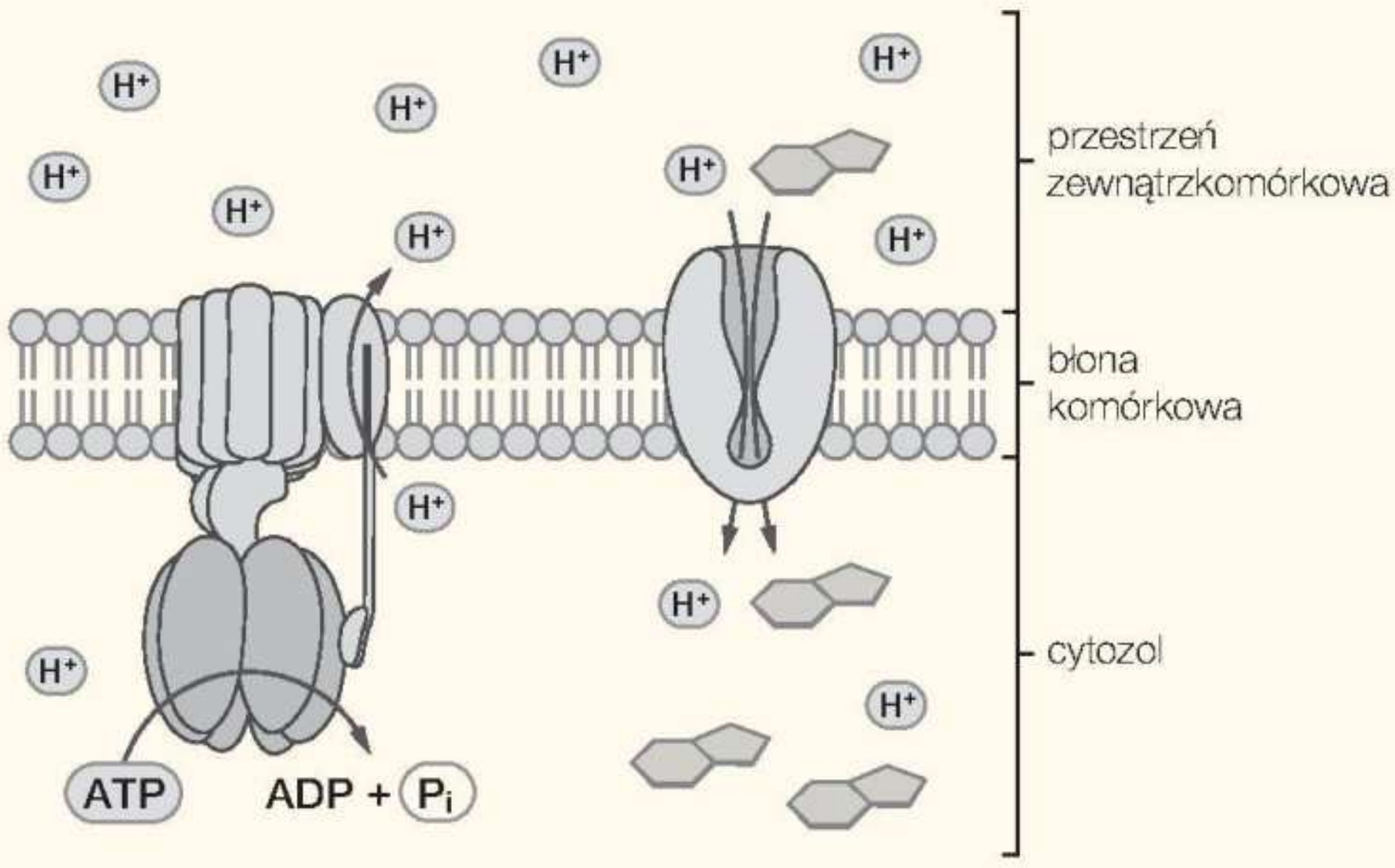
b) Wyjaśnij, dlaczego w efekcie przeprowadzonego doświadczenia płytka była przezroczysta w miejscach, do których przylegały korzenie fasoli.

c) Dokończ zdanie. Wybierz odpowiedź A lub B oraz jej uzupełnienie (1–4).

Wapń jest dla roślin

A.	mikroelementem,	który bierze udział w	1.	osmoregulacji komórek.
			2.	syntezie chlorofilu.
B.	makroelementem,		3.	mechanizmie działania niektórych hormonów roślinnych.
			4.	składaniu podjednostek rybosomów.

2 Schemat przedstawia mechanizm transportu sacharozy do członów rurek sitowych.

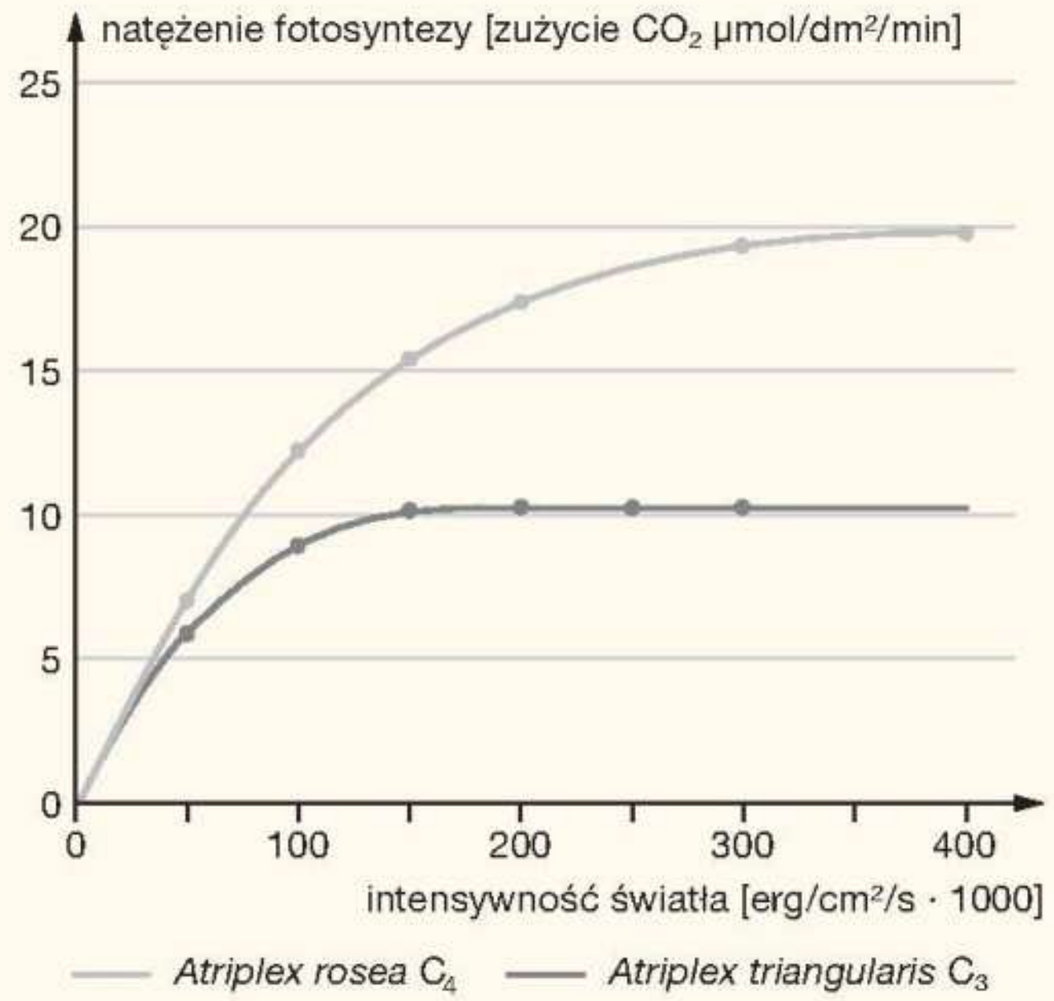


a) Określ, czy transport sacharozy do członów rurek sitowych jest transportem biernym czy czynnym. Odpowiedź uzasadnij, odwołując się do informacji przedstawionych na schemacie.

b) Podaj nazwy monosacharydów budujących sacharozę oraz nazwę polisacharydu, który stanowi główną formę zapasową cukrów u roślin.

c) Oceń poprawność stwierdzenia: „Donorami sacharozy są wyłącznie organy przeprowadzające proces fotosyntezy". Odpowiedź uzasadnij.

3 Wykres przedstawia zależność między intensywnością światła a natężeniem fotosyntezy u rośliny C3 – *Atriplex triangularis* – oraz rośliny C4 – *Atriplex rosea* – przy zachowaniu jednakowych warunków hodowli obu roślin.



Źródło: Ch. J. Krebs, *Ekologia*, Warszawa 2011, s. 95.

a) Sformułuj wniosek dotyczący różnicy w natężeniu fotosyntezy u roślin C3 i C4 przy intensywności oświetlenia wynoszącej 150 erg/cm²/s · 1000.

b) Na podstawie wykresu sformułuj wniosek dotyczący wpływu wzrostu intensywności światła na natężenie fotosyntezy u *Atriplex triangularis*.

c) Na podstawie wykresu i własnej wiedzy określ, które stwierdzenia dotyczące fotosyntezy u *A. triangularis* i *A. rosea* są prawdziwe. Zaznacz P, jeśli stwierdzenie jest prawdziwe, albo F – jeśli jest fałszywe.

1.	Świetlny punkt wysycenia w przypadku *Atriplex triangularis* wynosi 300 erg/cm²/s · 1000.	P	F
2.	Fotosynteza C4 u *Atriplex rosea* stanowi przystosowanie do ograniczania transpiracji.	P	F
3.	Liście *A. triangularis* i *A. rosea* różnią się budową anatomiczną.	P	F

4 Przeprowadzono dwuetapowe doświadczenie.

Pierwszy etap.

Przygotowano cztery doniczki, w których znajdowały się cztery jednakowe siewki grochu. Do dwóch siewek przywiązano po jednej stronie wierzchołka pędu cienkie wałeczki z waty nasączone roztworem auksyny o stężeniu 200 mg/l. Do dwóch pozostałych siewek przywiązano w taki sam sposób wałeczki z waty nasączone wodą destylowaną. Następnie doniczki z siewkami wstawiono do ciemnego termostatu utrzymującego temperaturę 25°C. Po trzech godzinach sprawdzono wyniki doświadczenia. Pędy siewek, do których przymocowano wałeczki z waty nasączone auksyną, były wygięte w przeciwnym kierunku do miejsca przyczepienia wałeczków.

Drugi etap.

Na dwóch szklanych szalkach wyłożonych potrójną warstwą bibuły ułożono po siedem ziarniaków owsa. Bibułę na jednej szalce zwilżono roztworem auksyny o stężeniu 200 mg/l, natomiast bibułę na drugiej szalce – wodą destylowaną. Po tygodniu sprawdzono obie próby – na szalce z auksyną siewkom owsa nie wyrosły korzenie.

a) Określ, która próba stanowiła próbę kontrolną w drugim etapie doświadczenia.

b) Spośród podanych propozycji wybierz dwa prawidłowo sformułowane problemy badawcze i dwie prawidłowo sformułowane hipotezy.

1. Auksyny stymulują wzrost zarówno pędu, jak i korzenia.
2. Wpływ stężenia auksyn na wzrost pędu i korzenia.
3. Czy auksyny stymulują wzrost zarówno pędu, jak i korzenia?
4. Auksyny stymulują wzrost pędu, a hamują wzrost korzenia.
5. W jaki sposób auksyny wpływają na wzrost pędu i korzenia?

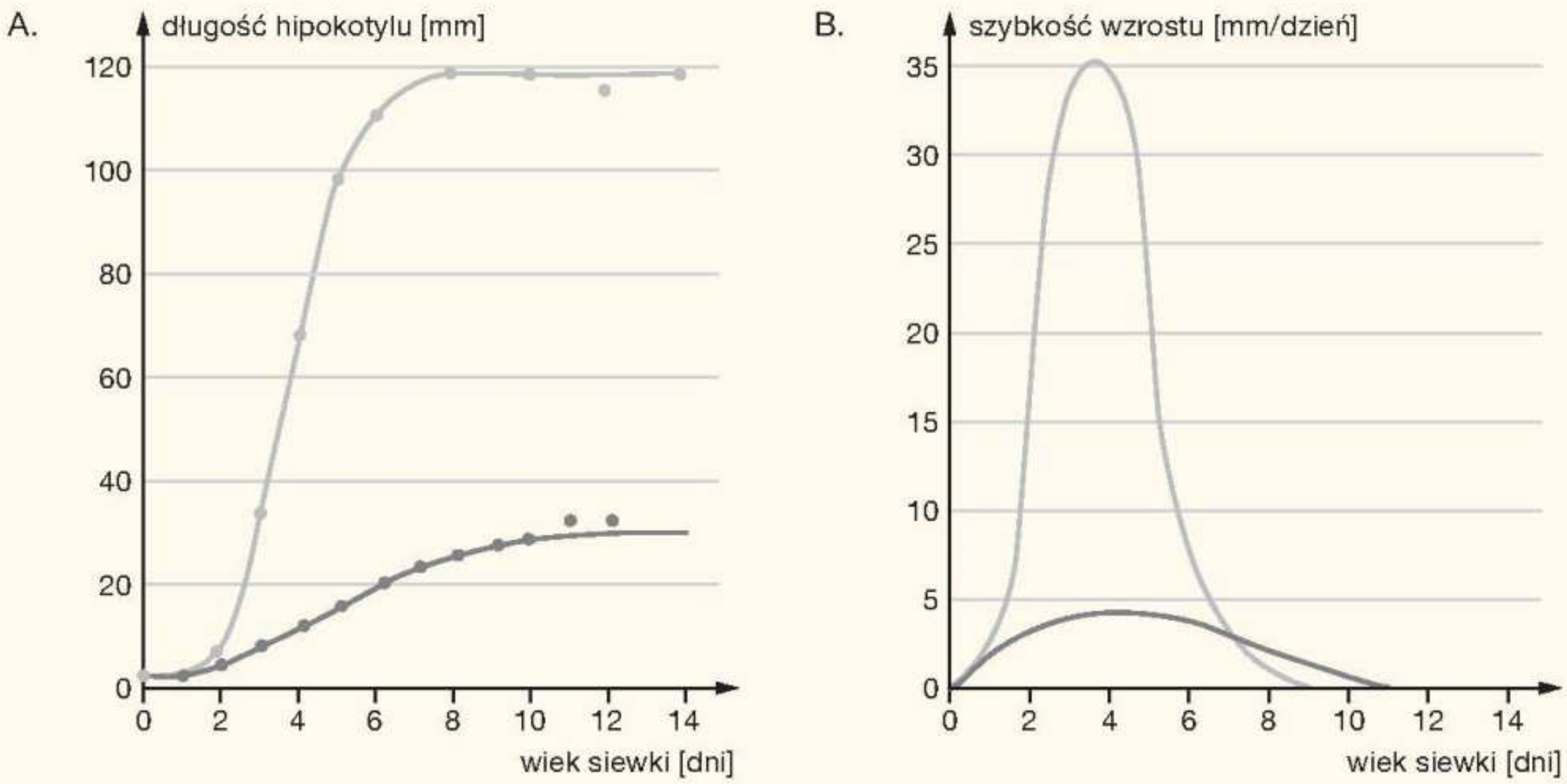
c) Na podstawie własnej wiedzy oceń poprawność stwierdzenia: „Niskie stężenie auksyny ogranicza rozwój korzeni". Odpowiedź uzasadnij.

d) Zaznacz poprawne dokończenie zdania.

Wzrost pędu hamowany jest przez

A. gibereliny.
B. cytokininy.
C. kwas abscysynowy.
D. gibereliny i cytokininy.

5 Poniżej przedstawiono krzywe wzrostu (A) oraz szybkości wzrostu (B) kiełkujących nadziemnie siewek gorczycy rosnących w ciemności (jasnoszara linia) oraz w białym oświetleniu (ciemnoszara linia).



Źródło: J. Kopcewicz, S. Lewak, *Podstawy fizjologii roślin*, Warszawa 1998, s. 453.

a) Oceń, czy na podstawie powyższych wykresów można sformułować wnioski podane w tabeli. Zaznacz T, jeśli wniosek wynika z obserwacji, albo N – jeśli z niej nie wynika.

1.	Siewki gorczycy osiągają maksymalną szybkość wzrostu około 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.

5. Różnorodność bezkręgowców

5.1. Kryteria klasyfikacji zwierząt
✂5.2. Gąbki – zwierzęta beztkankowe
5.3. Tkanki zwierzęce. Tkanka nabłonkowa
5.4. Tkanka łączna
5.5. Tkanki pobudliwe – nerwowa i mięśniowa
5.6. Parzydełkowce – tkankowe zwierzęta dwuwarstwowe
5.7. Płazińce – zwierzęta spłaszczone grzebieto-brzusznie
✂5.8. Wrotki – zwierzęta z aparatem rzęskowym
5.9. Nicienie – zwierzęta o obłym, nieczłonowanym ciele
5.10. Pierścienice – bezkręgowce o wyraźnej metamerii
5.11. Stawonogi – zwierzęta o członowanych odnóżach
5.12. Różnorodność i znaczenie stawonogów
5.13. Mięczaki – zwierzęta o miękkim, niesegmentowanym ciele
5.14. Szkarłupnie – bezkręgowe ✂zwierzęta wtórouste

Fot. *Grapsus* sp. – krab występujący na wyspach Galapagos.

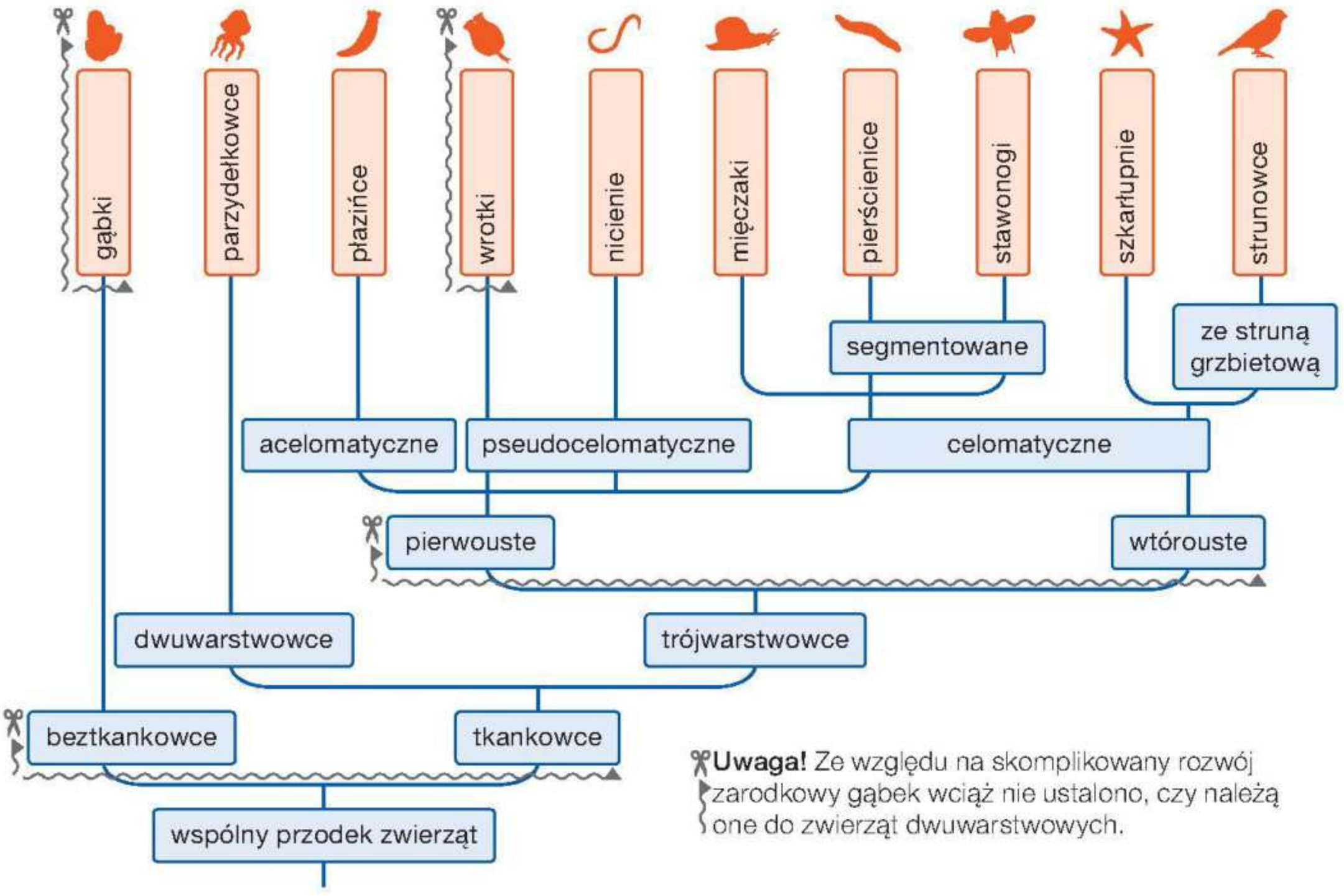
5.1. Kryteria klasyfikacji zwierząt

Zwróć uwagę na:
- zwierzęta tkankowe i beztkankowe, dwuwarstwowe i trójwarstwowe, pierwouste i wtórouste,
- zwierzęta amoniotoliczne, ureoteliczne i urikoteliczne,
- związek trybu życia zwierząt z symetrią ich ciała.

Do królestwa zwierząt należą organizmy wielokomórkowe, heterotroficzne, obdarzone zwykle zdolnością aktywnego ruchu. Ich komórki nie mają ściany komórkowej, zawierają natomiast lizosomy – organelle odpowiedzialne za procesy trawienia wewnątrzkomórkowego.

Zwierzęta są bardzo zróżnicowane pod względem budowy, co wynika m.in. ze znacznej różnorodności trybu życia i zasiedlanych środowisk. Wszystkie przechodzą rozwój zarodkowy, w czasie którego najpierw powstają listki zarodkowe (warstwy komórek), a następnie tkanki i narządy. Początkowe etapy rozwoju zarodkowego przebiegają podobnie u wszystkich zwierząt, natomiast dalsze są charakterystyczne dla poszczególnych grup. Na podstawie różnic w przebiegu rozwoju zarodkowego oraz w budowie ciała królestwo zwierząt podzielono na mniejsze jednostki. Należą do nich:

- **beztkankowce i tkankowce** – podział ze względu na obecność lub brak wyspecjalizowanych tkanek,
- **dwuwarstwowce i trójwarstwowce** – podział ze zwględu na liczbę listków zarodkowych, z których składa się zarodek,
- **pierwouste i wtórouste** – podział ze względu na sposób powstawania otworu gębowego,
- **acelomatyczne, pseudocelomatyczne i celomatyczne** – podział ze względu na obecność lub brak wtórnej jamy ciała – celomy.



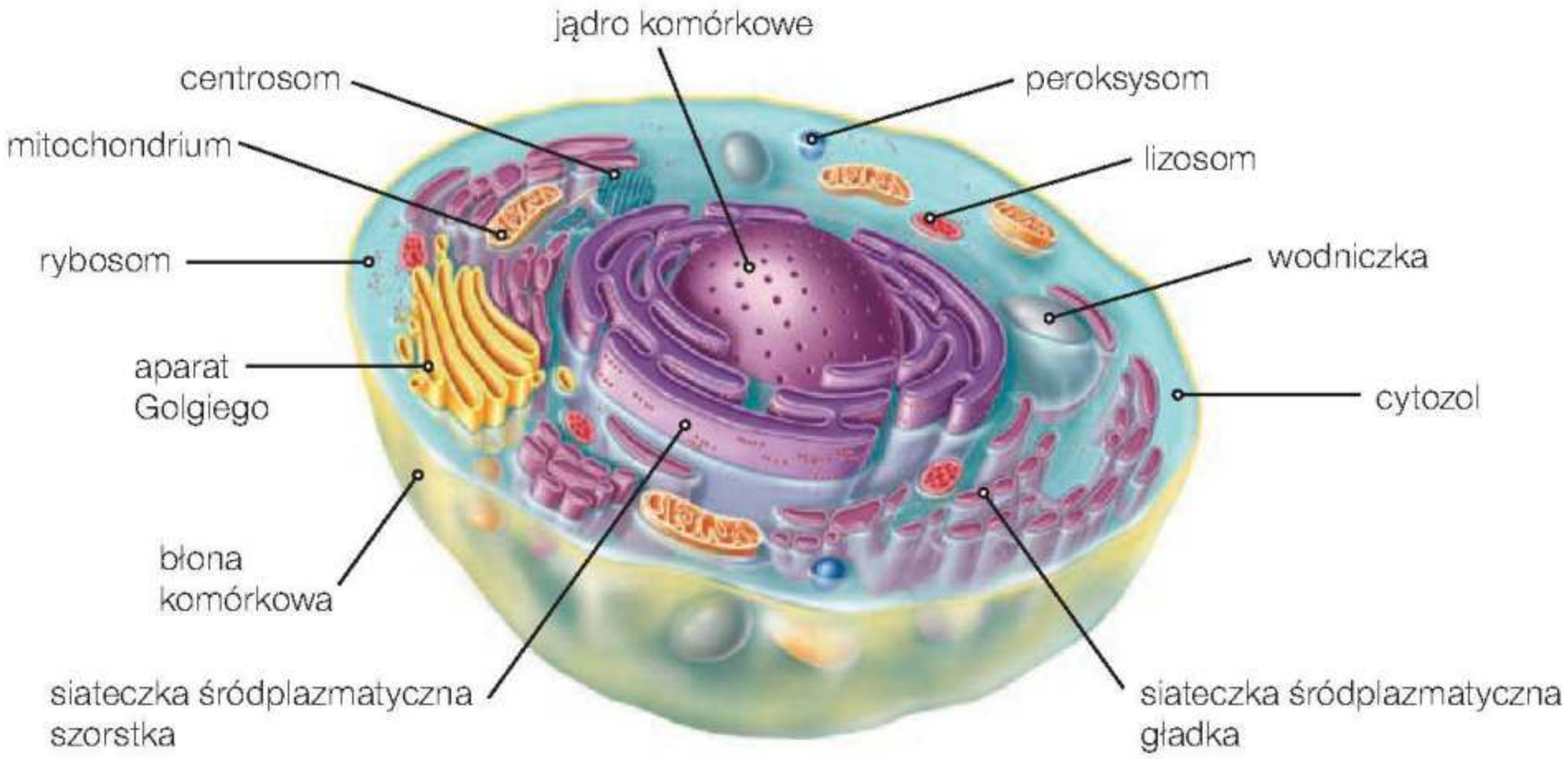
Uwaga! Ze względu na skomplikowany rozwój zarodkowy gąbek wciąż nie ustalono, czy należą one do zwierząt dwuwarstwowych.

Podział zwierząt ze względu na przebieg rozwoju zarodkowego i budowę ciała.

Przypomnij sobie

Budowa komórki zwierzęcej

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



Zwierzęta beztkankowe i tkankowe

Jednym z kryteriów podziału zwierząt jest obecność lub brak tkanek, czyli zespołów komórek o podobnej budowie i pochodzeniu, pełniących określone funkcje. Z tego względu współcześnie żyjące zwierzęta zaklasyfikowano do dwóch grup. Pierwszą z nich stanowią **zwierzęta beztkankowe**, do których należą tylko gąbki, natomiast drugą – **zwierzęta tkankowe**, obejmujące wszystkie pozostałe grupy. Ciało gąbek jest zbudowane z kilku typów komórek. Pełnią one różne funkcje, jednak nie tworzą wyspecjalizowanych tkanek i narządów. Natomiast ciało zwierząt tkankowych jest zbudowane z czterech podstawowych rodzajów tkanek: nabłonkowej, mięśniowej, nerwowej i łącznej. U większości tkankowców tworzą one narządy, a te – układy narządów.

Rozwój zarodkowy zwierząt

Zwierzęta rozmnażają się **głównie płciowo**. W odróżnieniu od roślin i grzybów ich **gamety powstają bezpośrednio w wyniku podziału mejotycznego komórek macierzystych gamet (mejoza pregamiczna)**.

Rozwój zarodkowy organizmu (embriogeneza) rozpoczyna się w chwili, gdy w rezultacie zapłodnienia powstaje diploidalna zygota. U wszystkich zwierząt jego pierwsze etapy przebiegają podobnie. Najpierw zachodzi **bruzdkowanie**, czyli seria podziałów mitotycznych, w wyniku których powstaje coraz więcej komórek, przy czym wielkość zarodka nie ulega zmianie. Komórki potomne powstałe podczas bruzdkowania są nazywane **blastomerami**. Po pierwszym podziale zygoty tworzą się dwa blastomery, a po następnych – 4, 8, 16 itd. Zarodek zbudowany z kilkudziesięciu stykających się ze sobą blastomerów nosi nazwę **moruli**. Po pewnym czasie między komórkami moruli pojawia się płyn, który stopniowo wypełnia wnętrze zarodka, komórki zaś układają się na jego powierzchni. W ten sposób powstaje **blastula** – pęcherzyk o ścianie zbudowanej z jednej warstwy komórek zwanej **blastodermą**. Jego wnętrze wypełnione płynem to **pierwotna jama ciała**, zwana **blastocelem**. Kolejnym etapem rozwoju zarodkowego jest **gastrulacja**, czyli proces formowania się **listków zarodkowych**. Podczas tego procesu część komórek

z powierzchni blastuli przedostaje się do jej wnętrza, tworząc drugą wewnętrzną warstwę. Obie warstwy komórek noszą nazwę listków zarodkowych, przy czym warstwa zewnętrzna to **ektoderma**, a wewnętrzna – **endoderma**. Ciała parzydełkowców powstają tylko z dwóch listków zarodkowych, dlatego zwierzęta te określa się mianem **dwuwarstwowców**. U pozostałych zwierząt tkankowych w trakcie rozwoju zarodka między ektodermą a endodermą formuje się trzeci listek zarodkowy – **mezoderma**. W jej obrębie tworzy się wolna przestrzeń, zwana **wtórną jamą ciała** (celomą). Zwierzęta, których tkanki i narządy powstają z trzech listków zarodkowych, noszą nazwę **trójwarstwowców**.

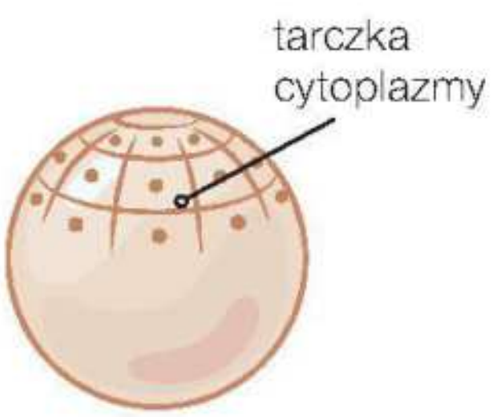
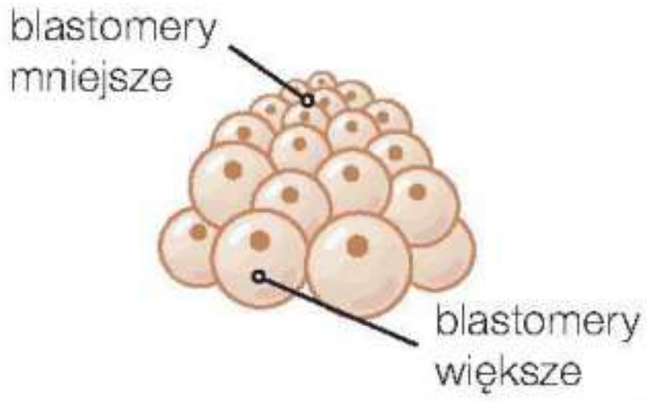
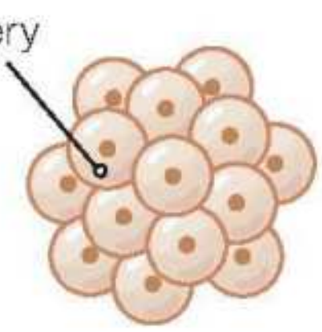
Podczas gastrulacji, wskutek wyodrębnienia się endodermy, powstaje ograniczona przez nią przestrzeń zwana **prajelitem**. Stanowi ona zawiązek przyszłego przewodu pokarmowego. Do prajelita prowadzi otwór zwany **pragębą**. U zwierząt pierwoustych pragęba daje początek otworowi gębowemu, natomiast odbyt powstaje na przeciwległym końcu ciała. Z kolei u **zwierząt wtóroustych** pragęba przekształca się w odbyt, a otwór gębowy pojawia się na drugim końcu ciała. Do zwierząt pierwoustych należą płazińce, wrotki, nicienie, pierścienice, stawonogi i mięczaki, a do wtóroustych – szkarłupnie oraz strunowce. Różnice w rozwoju pierwoustych i wtóroustych dotyczą również sposobu bruzdkowania oraz powstawania mezodermy.

Po gastrulacji zachodzi **histogeneza**, podczas której z listków zarodkowych rozwijają się tkanki. Ostatnim etapem rozwoju zarodkowego jest **organogeneza**. W jej trakcie wykształcają się narządy i układy narządów. Z ektodermy powstają powłoki ciała, układ nerwowy i narządy zmysłów. Endoderma daje początek nabłonkowi przewodu pokarmowego, gruczołom trawiennym oraz nabłonkom narządów oddechowych. Natomiast z mezodermy rozwijają się mięśnie, układy krwionośny, wydalniczy i rozrodczy, a u kręgowców – także szkielet.

Rodzaje bruzdkowania

Przebieg bruzdkowania zależy od ilości i rozmieszczenia substancji zapasowej – żółtka – w komórkach jajowych. Z kolei ilość żółtka jest ściśle związana z formą rozrodu zwierzęcia. Zwierzęta **jajorodne**, u których zarodek rozwija się w jaju wydalonym z organizmu matki przed zapłodnieniem lub tuż po nim, wytwarzają najczęściej jaja bogatożółtkowe lub średniożółtkowe. Podobnie jest u zwierząt **jajożyworodnych**, u których zarodek rozwija się w organizmie matki, ale w obrębie osłon jajowych. Natomiast zwierzęta **żyworodne**, u których zarodek otrzymuje wszystkie substancje odżywcze z ciała matki, produkują jaja skąpożółtkowe.

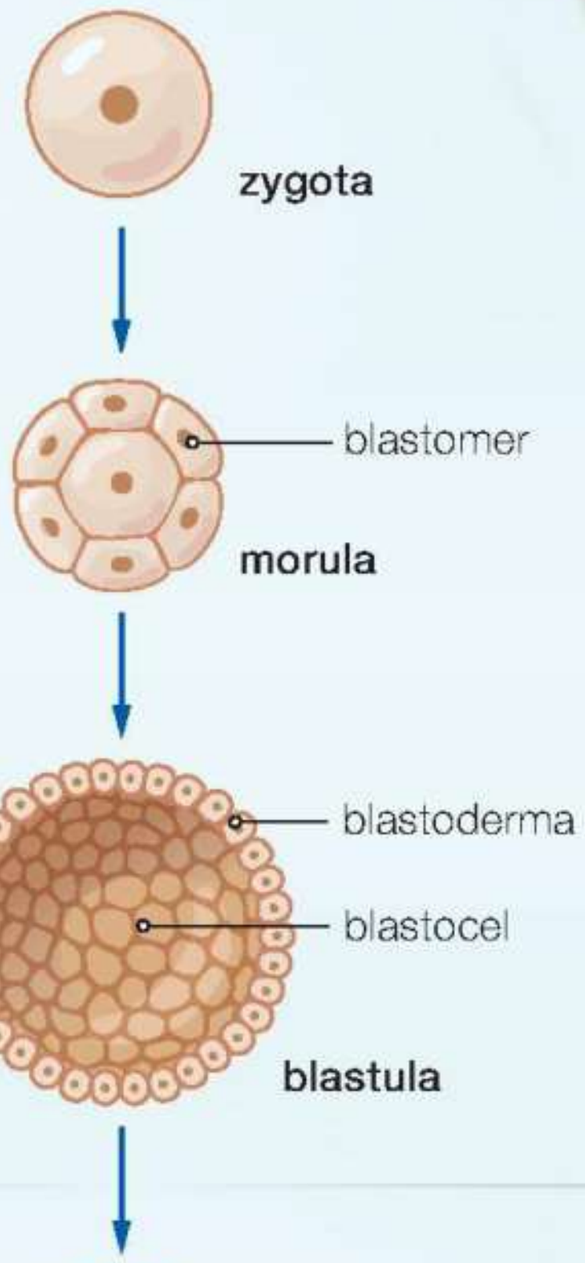
Rodzaje bruzdkowania

częściowe	całkowite nierównomierne	całkowite równomierne
• zachodzi w jajach bogatożółtkowych (polilecytalnych) • podziałom ulega tarczka cytoplazmy umiejscowiona na biegunie niezawierającym żółtka • występuje m.in. u ptaków i wielu ryb	• zachodzi w jajach średniożółtkowych (mezolecytalnych) • podziałom ulega cała komórka – blastomery różnią się wielkością • występuje m.in. u płazów, których rozwój zachodzi częściowo w obrębie jaja, a częściowo w środowisku zewnętrznym	• zachodzi w jajach skąpożółtkowych (oligolecytalnych) • podziałom ulega cała komórka – blastomery nie różnią się wielkością • występuje głównie u ssaków łożyskowych – zarodek rozwija się w organizmie matki, z którego czerpie substancje odżywcze
		

Początkowe etapy rozwoju zarodkowego zwierząt

Wszystkie zwierzęta przechodzą rozwój zarodkowy, w czasie którego stopniowo powstają tkanki i narządy. Pierwsze etapy embriogenezy przebiegają podobnie u wszystkich zwierząt, natomiast kolejne są charakterystyczne dla poszczególnych grup.

Bruzdkowanie u żaby (obraz spod mikroskopu optycznego).



Zwierzęta pierwouste

- Mezoderma powstaje z komórek ektodermy, które przedostają się do blastocelu i namnażają, tworząc pęcherzyki. Wnętrze pęcherzyków to wtórna jama ciała – celoma.

Zwierzęta wtórouste

- Mezoderma powstaje z endodermy, a dokładnie z bocznych uwypukleń ściany prajelita, które oddzielają się jako dwa pęcherzyki. Wnętrze pęcherzyków to wtórna jama ciała – celoma.

- Pragęba rozwija się w otwór gębowy, a odbyt powstaje na przeciwległym biegunie zarodka.

- Pragęba przekształca się w odbyt, a otwór gębowy powstaje na przeciwległym biegunie zarodka.

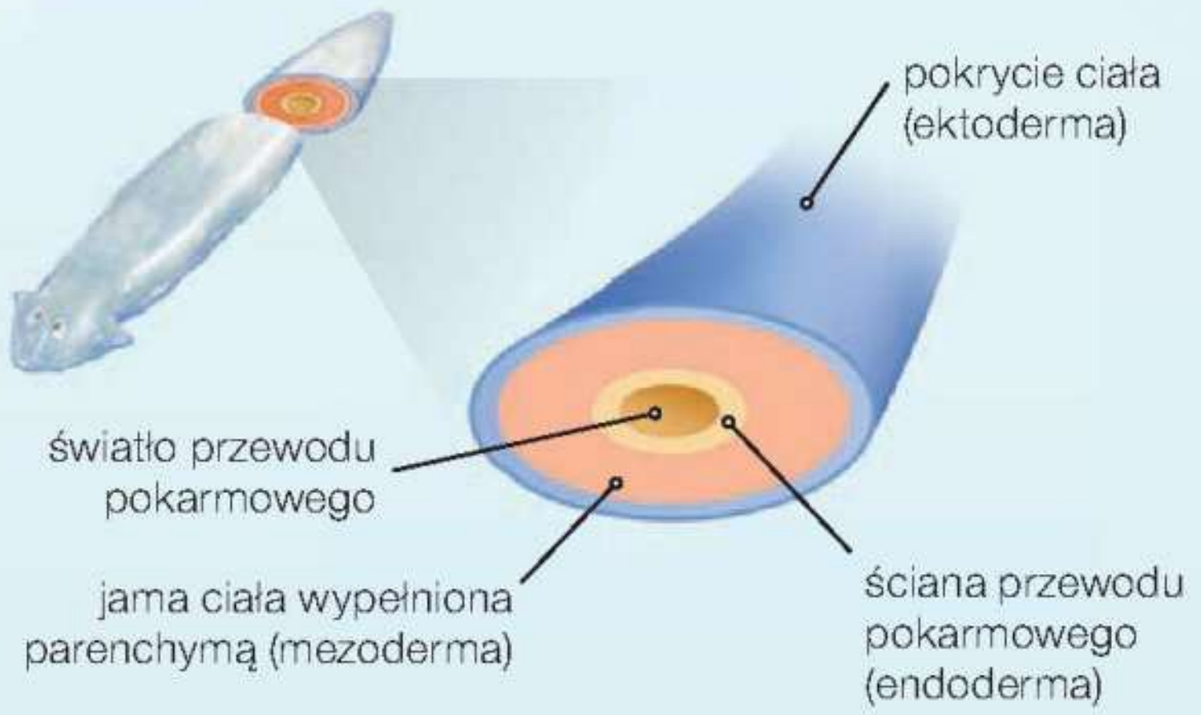
Jama ciała zwierząt

Jama ciała to wypełniona płynem przestrzeń powstająca w trakcie rozwoju zarodkowego. Pierwotna jama ciała – blastocel – tworzy się w zarodkach wszystkich zwierząt już w stadium blastuli. U dwuwarstwowców jest to jedyna jama ciała. W trakcie rozwoju trójwarstwowców pierwotną jamę ciała wypełniają komórki mezodermy. U niektórych grup zwierząt w kolejnych etapach embriogenezy między komórkami mezodermy powstaje wtórna jama ciała – celoma. Obecność lub brak celomy jest podstawą podziału trójwarstwowców na: acelomatyczne, pseudocelomatyczne i celomatyczne.

Wolno żyjący płaziniec *Prostheceraeus giesbrechtii.*

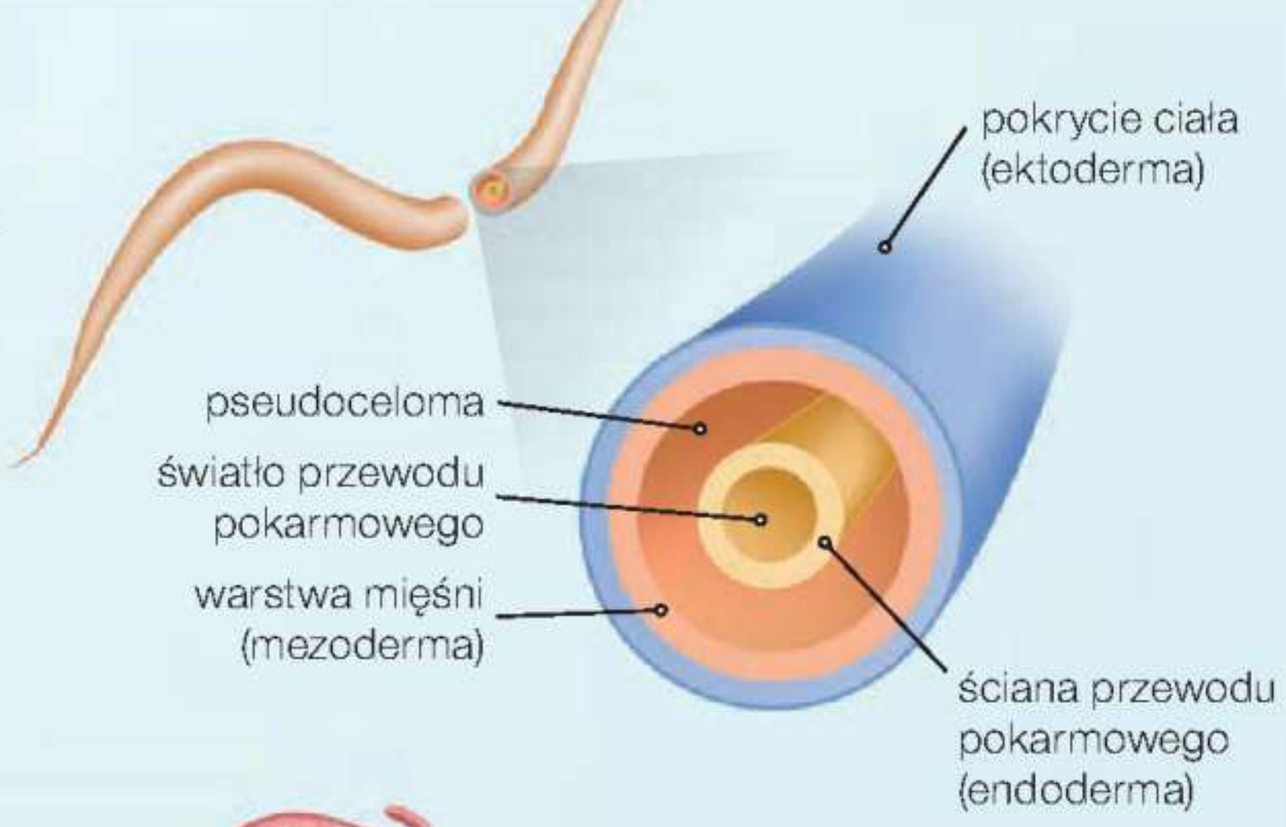
Zwierzęta acelomatyczne

Zwierzęta acelomatyczne nie mają wtórnej jamy ciała. U płazińców pierwotna jama ciała, czyli przestrzeń między ektodermą a endodermą, jest całkowicie wypełniona przez parenchymę – tkankę łączną pochodzenia mezodermalnego.



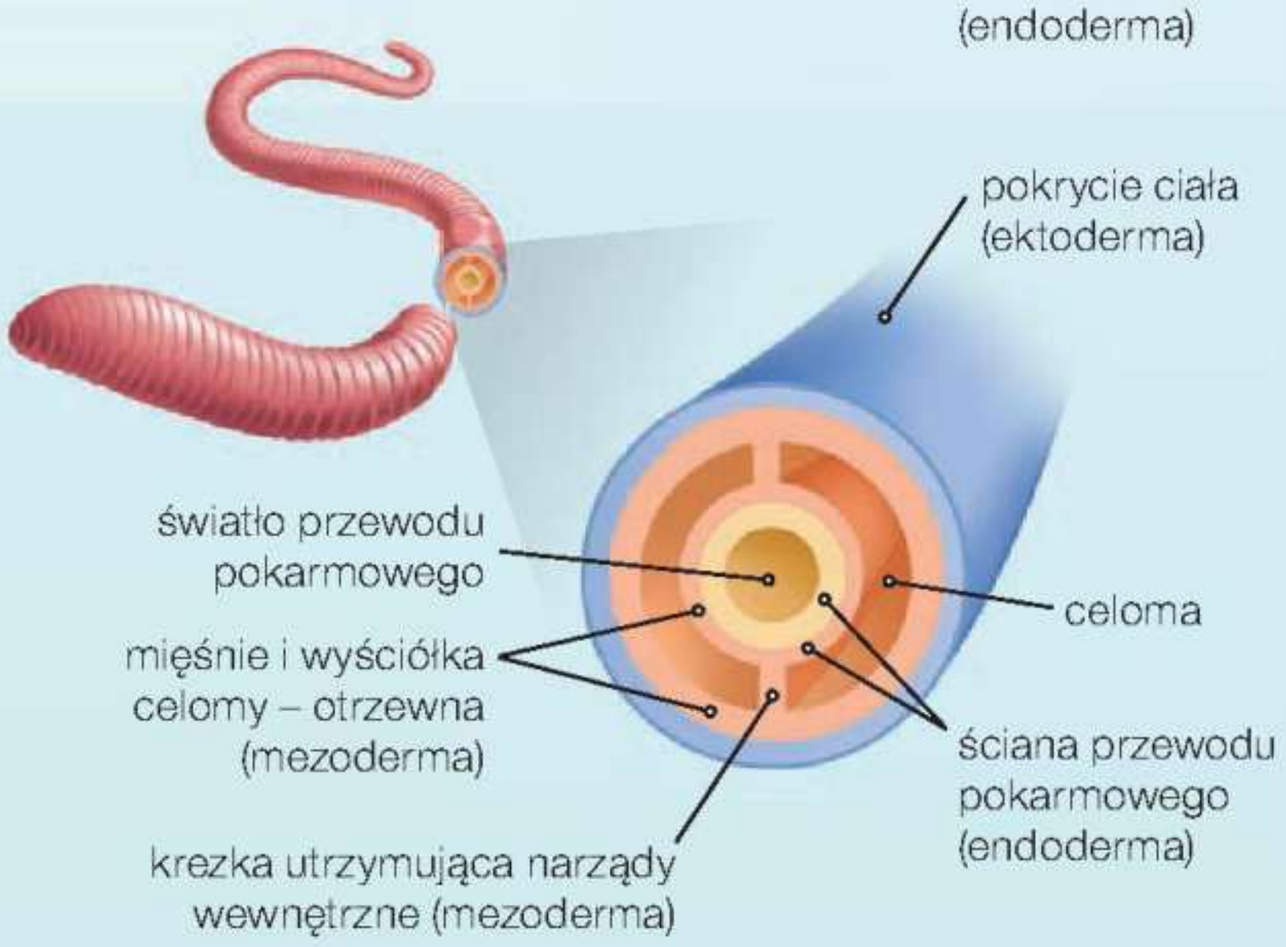
Zwierzęta pseudocelomatyczne

Zwierzęta pseudocelomatyczne, np. nicienie, również nie mają wtórnej jamy ciała. Między endodermą a mezodermą pozostaje u nich obszerna pierwotna jama ciała, która pod względem funkcji naśladuje celomę, ale w przeciwieństwie do niej nie jest w pełni ograniczona przez komórki mezodermy.



Zwierzęta celomatyczne

Zwierzęta celomatyczne (zwierzęta wszystkich typów, począwszy od pierścienic), mają celomę. Jej powstanie umożliwiło podział ciała na segmenty oraz powstanie mięśni przewodu pokarmowego. Zapewnia to zwierzętom dużą sprawność ruchową oraz pozwala na strukturalne i funkcjonalne zróżnicowanie jelita.



Wydalanie azotowych produktów przemiany materii

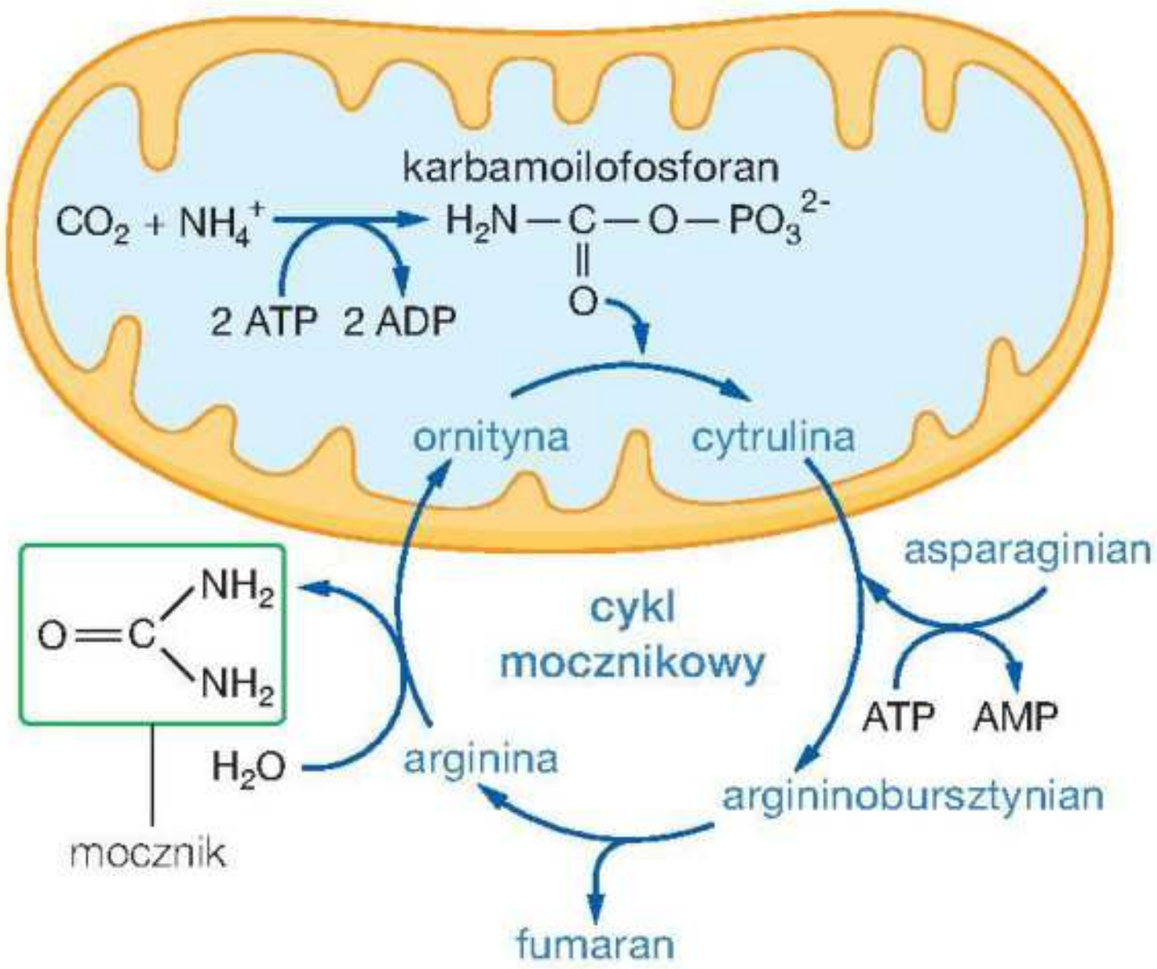
Z heterotroficznym sposobem odżywiania się zwierząt związana jest konieczność wydalania azotowych produktów przemiany materii, które powstają przede wszystkim w wyniku rozkładu białek. W zależności od środowiska i trybu życia zwierząt końcowym produktem azotowej przemiany materii mogą być: amoniak, mocznik oraz kwas moczowy. Z tego względu zwierzęta dzielimy na: amonioteliczne, ureoteliczne i urikoteliczne.

- Do zwierząt **amoniotelicznych** należą liczne organizmy wodne, m.in. wiele bezkręgowców, niektóre ryby i żółwie wodne. Koszt energetyczny produkcji **amoniaku** jest bardzo niski, jednak związek ten jest silnie toksyczny, przez co nie może występować w komórkach w dużych stężeniach. Zwierzęta bezkręgowe wydalają go na bieżąco całą powierzchnią ciała, natomiast kręgowce – w dużej objętości silnie rozcieńczonego moczu.
- Do zwierząt **ureotelicznych** należą przede wszystkim organizmy lądowe, m.in. płazy i ssaki. Koszt energetyczny produkcji **mocznika** jest znacznie wyższy niż amoniaku, jednak jego toksyczność jest niewielka. Dzięki temu zwierzęta mogą usuwać mocznik w małej objętości stężonego moczu.
  Część zwierząt, głównie płazy, zmienia rodzaj wydalanego azotowego produktu przemiany materii w zależności od aktualnego środowiska życia. Na przykład kijanki żab, które rozwijają się w środowisku wodnym, wydalają amoniak, a dorosłe żaby występujące w środowisku lądowym wydalają mocznik.
- Do zwierząt **urikotelicznych** należą organizmy lądowe, które prowadzą oszczędną gospodarkę wodną, związaną z wykształceniem zdolności lotu (owady, ptaki) lub życiem w środowiskach suchych, np. na pustyniach (niektóre gady). Synteza trudno rozpuszczalnych kryształów kwasu moczowego jest bardziej kosztowna energetycznie niż synteza amoniaku i mocznika, pozwala jednak na wydalanie wraz z moczem minimalnej ilości wody.

Przypomnij sobie

Cykl mocznikowy

Synteza mocznika nosi nazwę cyklu mocznikowego (ornitynowego). U kręgowców proces ten zachodzi w komórkach wątroby – częściowo w mitochondriach, a częściowo w cytozolu. W matrix mitochondrium amoniak w postaci jonów amonowych reaguje z dwutlenkiem węgla, w wyniku czego powstaje karbamoilofosforan. Związek ten zostaje przeniesiony na ornitynę – w rezultacie powstaje cytrulina, transportowana następnie do cytozolu. W cytozolu w trójetapowej serii przemian cytruliny tworzy się mocznik, który wędruje do narządów wydalniczych.



Cykl mocznikowy.

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.

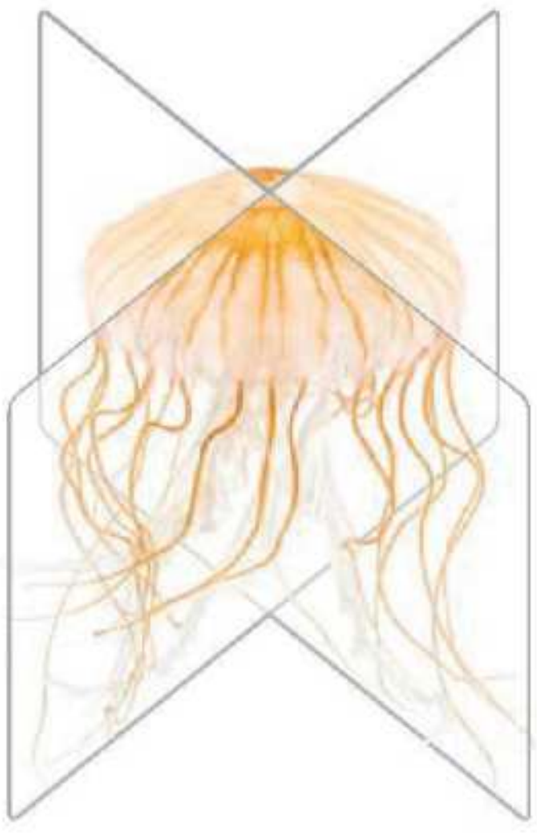
Symetrią promienistą cechują się zwykle zwierzęta osiadłe lub mało ruchliwe (np. parzydełkowce, szkarłupnie). Symetria ta pozwala na odbieranie w jednakowy sposób bodźców środowiskowych docierających z różnych kierunków. Wpływa także na skuteczność polowania, ponieważ ofiara może zostać schwytana niezależnie od tego, z której strony się zbliży.

Do zmiany symetrii ciała z promienistej na **dwuboczną** doszło w wyniku wykształcenia się mezodermy, z której tworzą się mięśnie oraz szkielet. Wraz z pojawieniem się mięśni zwierzęta stały się ruchliwe. Początkowo przemieszczały się po podłożu ruchem pełzającym. Z tego powodu po stronie przylegającej do podłoża nastąpiła koncentracja mięśni. Wykształciła się strona brzuszna, która przejęła funkcje lokomotoryczne (znajdują się tam np. odnóża i kończyny), oraz strona grzbietowa, która pełni funkcję ochronną.

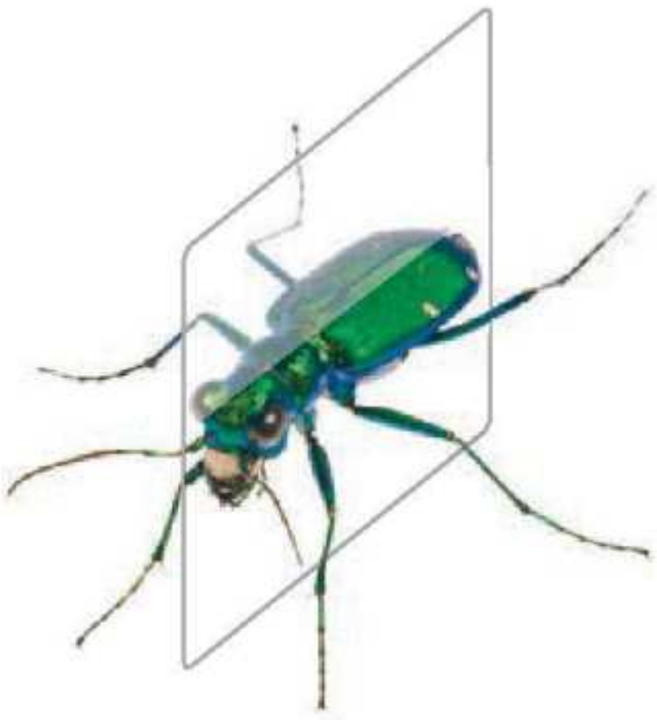
Zwierzęta badają otoczenie najpierw przednią stroną ciała, z tego względu to na niej skupiła się większość narządów zmysłów. W tej części występuje również otwór gębowy. Ponadto w przednim odcinku ciała stopniowo wykształcił się scentralizowany układ nerwowy, służący do oceny i przetwarzania informacji dochodzących ze środowiska oraz z wnętrza organizmu.

W organizmie zwierzęcia o symetrii dwubocznej wyróżnia się następujące płaszczyzny przekroju:

- płaszczyzna strzałkowa (przekrój strzałkowy) jest płaszczyzną symetrii; dzieli zwierzę na dwie strony – lewą i prawą,
- płaszczyzna czołowa (przekrój podłużny) dzieli zwierzę na strony brzuszną i grzbietową,
- płaszczyzna poprzeczna (przekrój poprzeczny) dzieli zwierzę na część przednią i tylną.



Symetria promienista występuje m.in. u parzydełkowców.



Symetria dwuboczna występuje m.in. u owadów.

Brakiem symetrii cechują się m.in. gąbki.

Polecenia kontrolne

1. Podaj nazwę grupy zwierząt zaliczanych do dwuwarstwowców.
2. Porównaj zwierzęta pierwouste ze zwierzętami wtóroustymi pod kątem sposobu powstawania otworu gębowego.
3. Podaj przykłady zwierząt o symetrii promienistej. Wykaż związek takiej budowy ciała z trybem życia zwierząt.

5.2. Gąbki – zwierzęta beztkankowe

Zwróć uwagę na:
- budowę i czynności życiowe gąbek,
- znaczenie gąbek w przyrodzie i dla człowieka.

Gąbki (Porifera) to zwierzęta beztkankowe, które występują wyłącznie w środowisku wodnym. Większość z nich zamieszkuje morza i oceany, tylko nieliczne występują w wodach słodkich. Gąbki zasiedlają najczęściej strefę przybrzeżną, jednak niektóre gatunki spotyka się nawet na głębokości 8 tys. m. Zwierzęta te prowadzą osiadły tryb życia. Występują zazwyczaj w koloniach, choć spotyka się również osobniki żyjące samotnie.

Ogólna budowa ciała gąbek

Ciało gąbek nie wykazuje symetrii i ma zwykle kształt worka, którego dolna część jest przytwierdzona do podłoża. W ścianie ciała znajdują się liczne **otwory wlotowe** (pory), prowadzące do obszernej jamy centralnej zwanej **spongocelem**. Górna część ciała kończy się **otworem wypustowym**. U gąbek o wyższym stopniu organizacji ściana ciała może być pofałdowana i zawierać kanały promieniste lub kuliste komory.

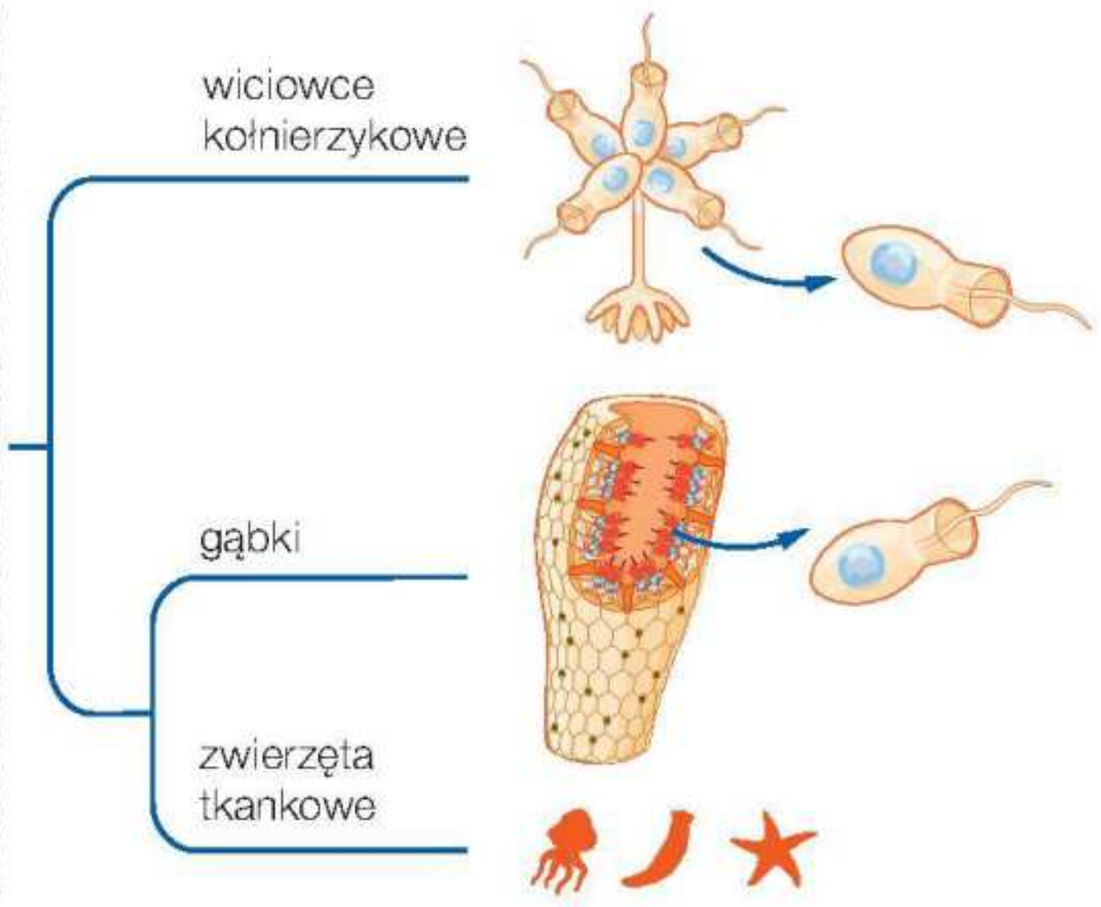
Przez ciało gąbek nieustannie przepływa woda, która zaopatruje komórki w pokarm i tlen, a także odprowadza zbędne lub szkodliwe produkty przemiany materii. Woda dostaje się do spongocelu otworami wlotowymi, a odpływa otworem wypustowym.

Ściana ciała gąbek jest zbudowana z dwóch warstw komórek, między którymi znajduje się galaretowata substancja zwana **mezohylem**. Zewnętrzną warstwę ciała – **pinakodermę** – tworzą **komórki okrywające**, czyli **pinakocyty**. Są one wieloboczne, płaskie i mają zdolność kurczenia się. Między nimi i w niektórych z nich, tzw. porocytach, znajdują się otwory wlotowe kanałów wodnych. Warstwę wewnętrzną – **gastrodermę** – tworzą **komórki kołnierzykowe**, czyli **choanocyty**. Są one zaopatrzone w wici, których ruch zapewnia przepływ wody przez ciało gąbki i umożliwia wychwytywanie cząstek pokarmu. W mezohylu znajdują się różne rodzaje komórek, m.in.:
- **amebocyty**, czyli komórki pełzakowate uczestniczące np. w trawieniu pokarmu i transporcie substancji odżywczych,
- **gametocyty**, z których powstają gamety.

Mezohyl większości gąbek zawiera również elementy **szkieletu wewnętrznego**. Tworzą go mineralne igły, składające się z węglanu wapnia lub krzemionki, albo włókna zbudowane z białka zwanego **sponginą**. Szkielet gąbek zawiera ponadto liczne włókna kolagenowe.

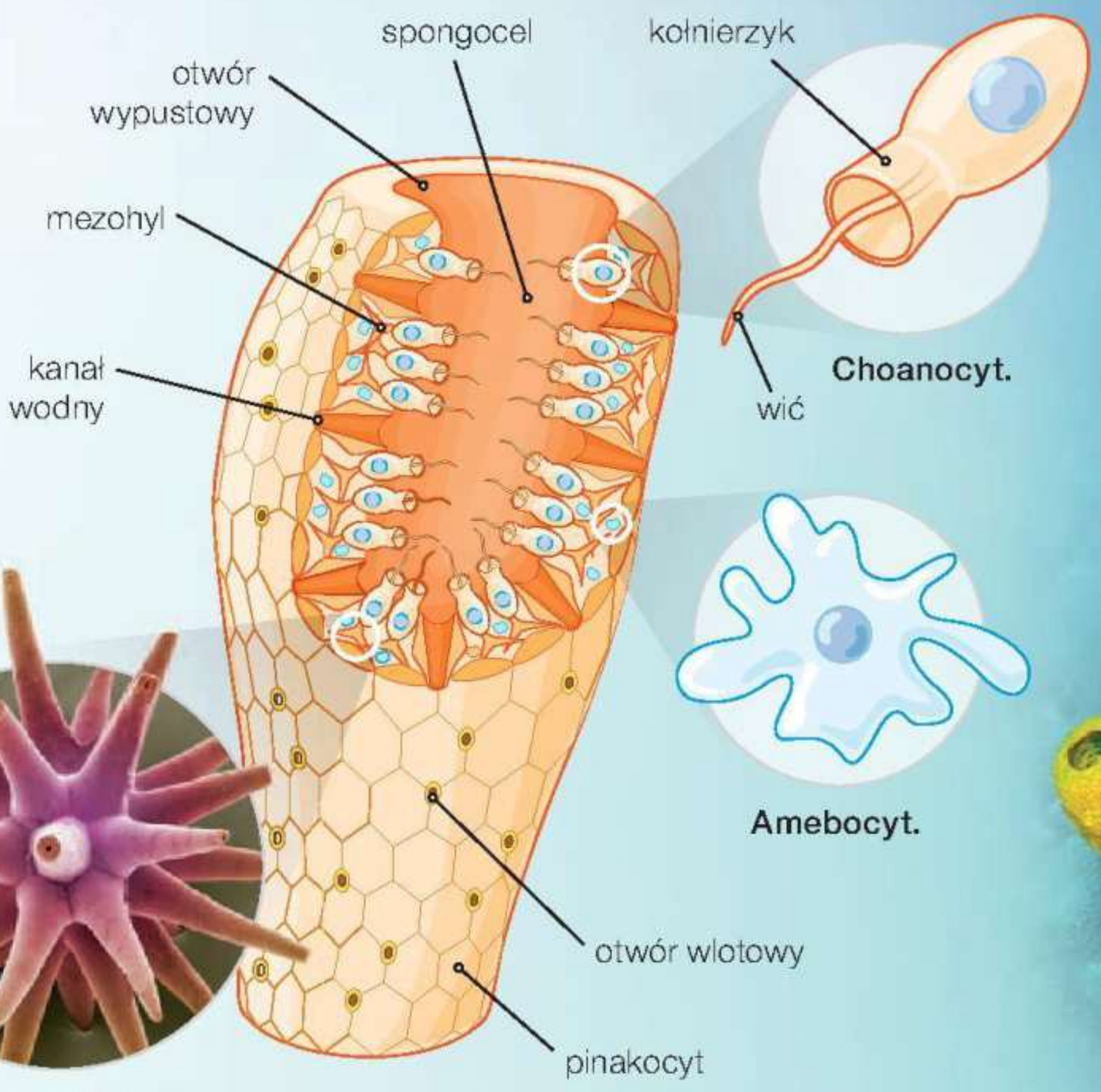
Czy wiesz, że...

Choanocyty gąbek są niemal identyczne z komórkami wiciowców kołnierzykowych (Choanoflagellata), należących do królestwa protistów. Przypuszcza się, że gąbki pochodzą od przodka, który przypominał wyglądem takiego wiciowca. Hipotezę tę potwierdzają również badania molekularne.



Budowa ciała gąbek

Gąbki nie wykształcają tkanek oraz narządów. Ściana ich ciała składa się z dwóch warstw komórek – pinakodermy i gastrodermy – oddzielonych od siebie galaretowatą substancją – mezohylem. Wnętrze ciała zajmuje jama zwana spongocelem. Ma ona kontakt ze środowiskiem zewnętrznym za pośrednictwem otworów wlotowych i otworu wypustowego.



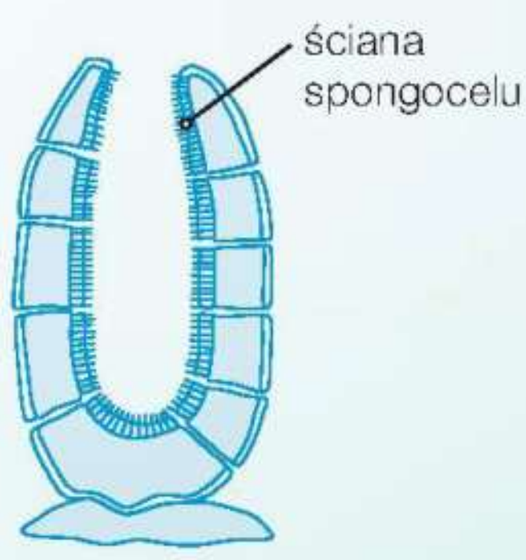
Choanocyt.

Amebocyt.

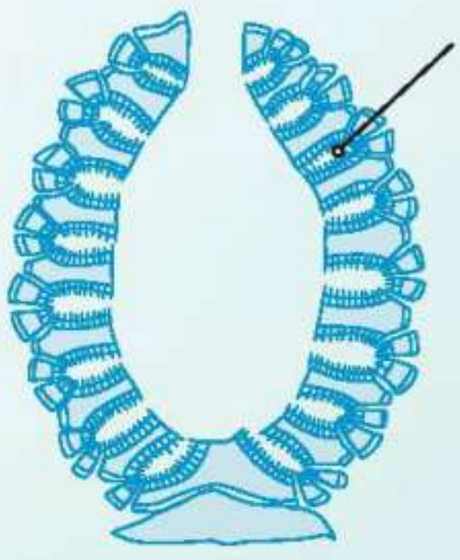
Igły szkieletu.

Typy budowy gąbek

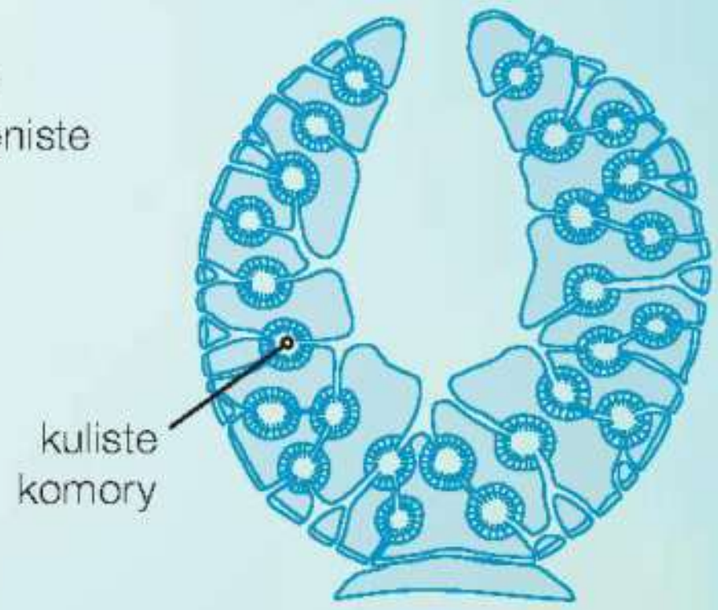
W zależności od rozmieszczenia i liczby komórek kołnierzykowych wyróżnia się trzy typy budowy gąbek. U gąbek typu askon komórki kołnierzykowe wyścielają ściany spongocelu, u gąbek typu sykon – kanały promieniste, a u gąbek typu leukon – kuliste komory.



Askon.



Sykon.



Leukon.

Czynności życiowe gąbek

Większość gąbek należy do **filtratorów**, czyli organizmów, które odżywiają się drobnymi cząstkami pokarmu (np. bakteriami, protistami lub martwą materią organiczną), wychwytywanymi z przepływającej przez ich ciało wody. Gąbki wyłapują pokarm za pomocą choanocytów, a następnie trawią go wewnątrzkomórkowo przy udziale lizosomów. Tylko nieliczne gatunki gąbek należą do **drapieżników**. Ciągły przepływ wody przez ciało gąbek umożliwia ponadto usuwanie zbędnych lub szkodliwych produktów przemiany materii, głównie amoniaku, oraz dostarczanie tlenu na potrzeby oddychania tlenowego.

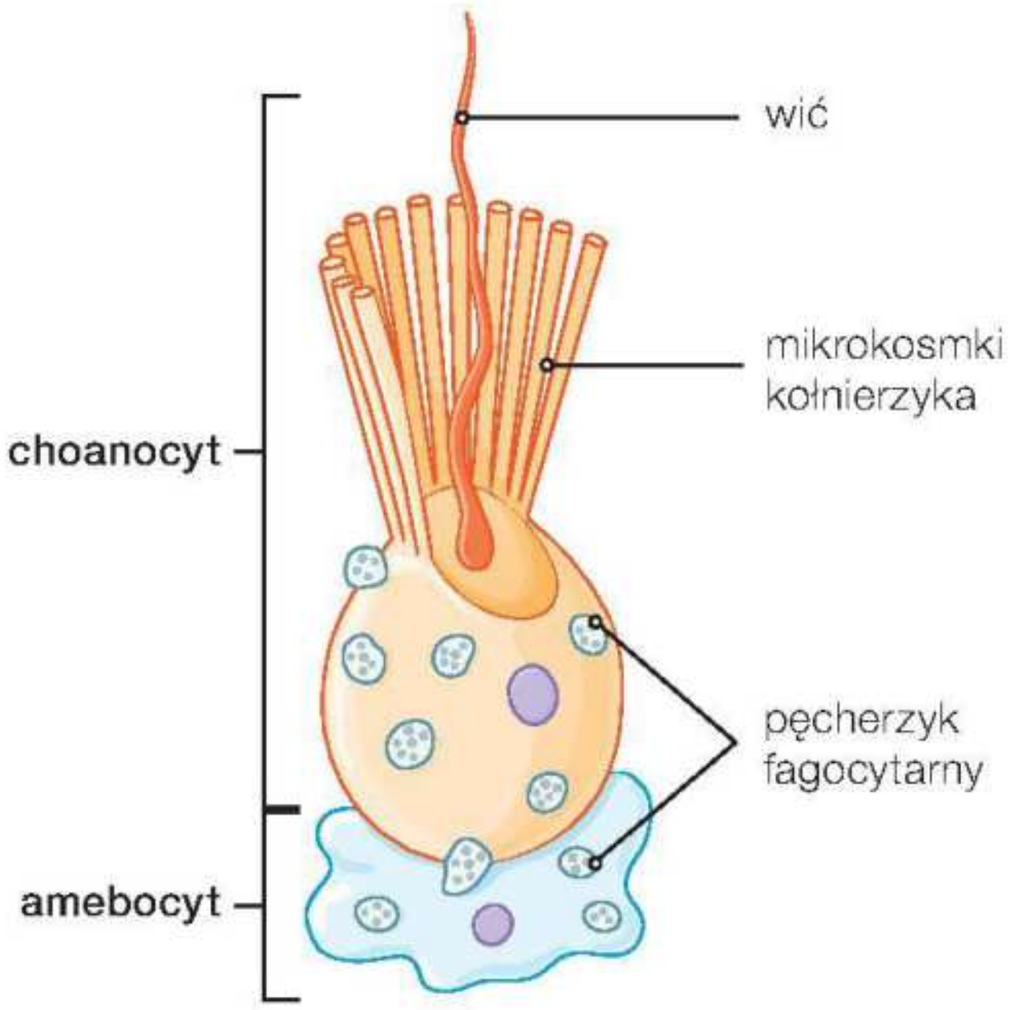
Gąbki **nie mają komórek nerwowych ani mięśniowych**, występujących powszechnie u zwierząt tkankowych. Z tego względu reagują na działanie bodźców pochodzących ze środowiska bardzo słabo – zamykają otwory wlotowe i otwór wypustowy. Zwierzęta te nie wykonują również ruchów lokomocyjnych, umożliwiających czynne przemieszczanie się w przestrzeni.

Gąbki **rozmnażają się zazwyczaj bezpłciowo** – przez podział, fragmentację ciała lub pączkowanie. Rozmnażanie przez **podział** polega na podziale pojedynczego osobnika wzdłuż długiej osi ciała. **Fragmentacja** polega na oddzieleniu się części kolonii, a następnie regeneracji jej brakującego fragmentu. W przypadku **pączkowania** na powierzchni ciała gąbki pojawia się wypukłość, która stopniowo rośnie, rozwijając się w nowe zwierzę. Powstałe w ten sposób osobniki potomne zwykle nie oddzielają się od osobnika macierzystego, lecz tworzą kolonię. W niekorzystnych warunkach środowiska gąbki tworzą pączki przetrwalnikowe, tzw. gemule.

Rozmnażanie płciowe zachodzi u gąbek stosunkowo rzadko. Większość tych organizmów to **osobniki obojnacze** (dwupłciowe, hermafrodytyczne), jednak znane są również gatunki rozdzielnopłciowe. Gąbki nie mają gonad. Ich gamety powstają z komórek obecnych w mezohylu. Dojrzałe plemniki przemieszczają się z mezohylu do spongocelu, a następnie opuszczają organizm przez otwór wypustowy. Wraz z wodą dostają się do spongocelu innych osobników, gdzie są wychwytywane przez choanocyty i transportowane do mezohylu. Tam zapładniają komórki jajowe. Z zapłodnionego jaja rozwija się orzęsiona, swobodnie pływająca larwa, która opuszcza ciało osobnika macierzystego. Po pewnym czasie opada ona na podłoże i ulega przeobrażeniu w dojrzałego osobnika.

Odżywianie się gąbek

Większość gąbek należy do filtratorów, które wychwytują z wody cząstki pokarmowe, m.in. bakterie, protisty lub martwą materię organiczną. Kiedy woda jest wyrzucana ze spongocelu na zewnątrz ciała gąbki, wici oraz mikrokosmki kołnierzyka choanocytów kierują cząstki pokarmowe ku powierzchni tych komórek. Zachodzi wówczas fagocytoza pokarmu i jego trawienie z udziałem lizosomów. Powstałe pęcherzyki fagocytarne wędrują do amebocytów mezohylu, gdzie odbywa się dalszy rozkład pokarmu do drobnocząsteczkowych związków organicznych. Amebocyty rozprowadzają również produkty rozkładu po całym ciele gąbki.



Znaczenie gąbek w przyrodzie i dla człowieka

Tworzenie siedlisk

Gąbki porastające dno zbiorników wodnych tworzą siedliska dla zwierząt, m.in. ryb, skorupiaków lub szkarłupni (np. osiadłych liliowców).

Źródło pokarmu

Ze względu na twardy szkielet gąbki stanowią pokarm dla nielicznych organizmów, m.in. niektórych żółwi morskich i ślimaków.

Udział w oczyszczaniu wód

Gąbki uczestniczą w procesie samooczyszczania się wód, odfiltrowując z wody mikroorganizmy i szczątki organiczne, którymi się żywią.

Zastosowanie w przemyśle farmaceutycznym

Z niektórych gąbek otrzymuje się substancje czynne do produkcji leków. Na przykład gąbki z rodzaju *Halichondria* są źródłem halichondriny – związku hamującego podziały komórek nowotworowych.

Gąbki kąpielowe

Ze względu na dużą chłonność, trwałość i elastyczność sponginowe szkielety niektórych gatunków gąbek są wykorzystywane jako gąbki kąpielowe.

Polecenia kontrolne

1. Wymień cechy odróżniające gąbki od innych zwierząt.
2. Określ, jakie komórki biorą udział w odżywianiu się gąbek.
3. Wyjaśnij, jakie znaczenie dla wykonywania przez gąbki podstawowych czynności życiowych ma ciągły przepływ wody przez ich ciało.

5.3. Tkanki zwierzęce. Tkanka nabłonkowa

Zwróć uwagę na:
- rodzaje tkanek zwierzęcych,
- połączenia międzykomórkowe w tkankach zwierzęcych,
- rodzaje tkanki nabłonkowej,
- związek między budową a funkcjami tkanki nabłonkowej.

Tkanki pierwotne, czyli listki zarodkowe, formują się podczas wczesnych etapów rozwoju zarodkowego. Z nich w późniejszych etapach powstają **tkanki ostateczne – nabłonkowa, łączna, mięśniowa** i **nerwowa**. Tkanki tworzą różne narządy, a te – układy narządów. Zwierzęta zbudowane z tkanek, czyli wszystkie zwierzęta oprócz gąbek, określa się mianem tkankowców.

Pochodzenie tkanek zwierzęcych

Rodzaj tkanki	Pochodzenie tkanki
Nabłonkowa	ektoderma, mezoderma, endoderma
Łączna	mezoderma
Nerwowa	ektoderma
Mięśniowa	mezoderma

Budowa tkanki nabłonkowej

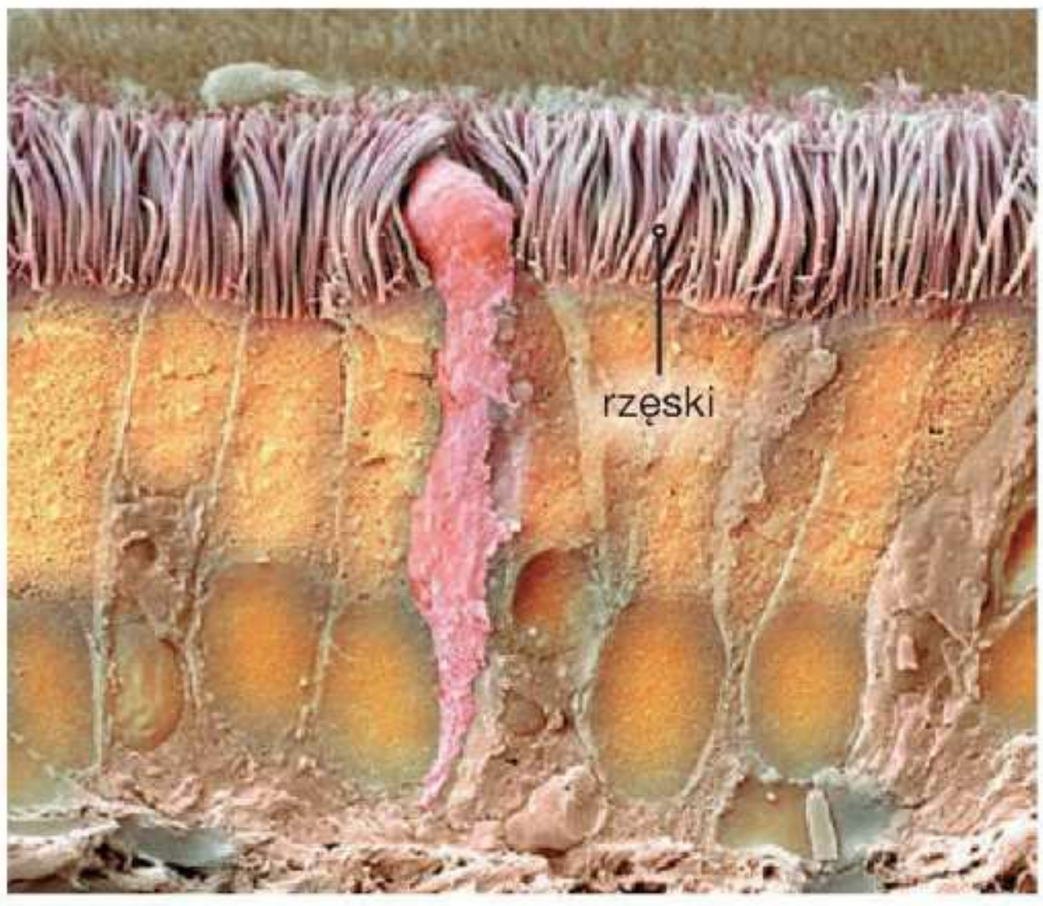
Tkanka nabłonkowa charakteryzuje się zwartym układem komórek. Są one osadzone na **błonie podstawnej**, czyli warstwie substancji międzykomórkowej, której głównym składnikiem jest kolagen. Błona podstawna umożliwia zachowanie kształtu komórek nabłonka i zapewnia transport substancji między nim a sąsiednimi tkankami.

Na podstawie liczby warstw komórek nabłonki można podzielić na jednowarstwowe i wielowarstwowe. Natomiast ze względu na kształt komórek dzieli się je na płaskie, sześcienne i walcowate.

Nabłonki jednowarstwowe składają się z pojedynczej warstwy komórek o podobnym kształcie, leżących bezpośrednio na błonie podstawnej. Szczególnym rodzajem nabłonka jednowarstwowego jest **nabłonek wielorzędowy**. Wszystkie budujące go komórki leżą na błonie podstawnej, ale odznaczają się różną wysokością, co sprawia, że ich jądra tworzą kilka rzędów. Natomiast **nabłonki wielowarstwowe**, charakterystyczne dla kręgowców, składają się z kilku lub kilkunastu warstw komórek, spośród których do błony podstawnej przylega bezpośrednio warstwa położona najbardziej wewnętrznie.

Funkcje tkanki nabłonkowej

Tkanka nabłonkowa pełni w organizmie wiele funkcji. **Nabłonki ochronne** okrywają ciało zwierząt, zabezpieczając je m.in. przed nadmierną utratą wody, urazami mechanicznymi i drobnoustrojami chorobotwórczymi. Wyścielają również jamy narządów wewnętrznych. Jeśli na powierzchni komórek nabłonków ochronnych znajdują się rzęski, nabłonki takie nazywa się **nabłonkami urzęsionymi** lub **migawkowymi**.



Nabłonek urzęsiony tchawicy (obraz spod SEM).

Nabłonki urzęsione występują m.in. w drogach oddechowych kręgowców lądowych, gdzie umożliwiają zatrzymywanie i usuwanie zanieczyszczeń powietrza. U niektórych bezkręgowców nabłonek urzęsiony występuje na powierzchni ciała i współuczestniczy w poruszaniu się. U części zwierząt bezkręgowych nabłonek okrywający ciało wytwarza bezkomórkową warstwę nazywaną **oskórkiem**. Chroni ona organizm m.in. przed wpływem niekorzystnych czynników środowiska. Niekiedy, np. u stawonogów, stanowi również podstawowy element szkieletu zewnętrznego.

Nabłonki transportujące umożliwiają przenikanie substancji z jednej strony nabłonka na drugą. Dzięki nim odbywa się np. transport tlenu i dwutlenku węgla w narządach wymiany gazowej czy produktów trawienia w jelicie cienkim. Funkcję transportującą pełni także nabłonek migawkowy, pokrywający światło jajowodów. Ruch jego rzęsek powoduje przemieszczanie się komórek jajowych od jajników w kierunku macicy.

Nabłonki wydzielnicze tworzą gruczoły, które wytwarzają i wydzielają różne substancje (np. śluz, enzymy, hormony). Ze względu na liczbę komórek gruczoły dzieli się na:

- **jednokomórkowe** – komórki wydzielnicze są rozmieszczone pojedynczo wśród innych komórek nabłonkowych (np. gruczoły śluzowe u mięczaków i ryb),
- **wielokomórkowe** – komórki wydzielnicze tworzą zespoły (np. gruczoły potowe ssaków).

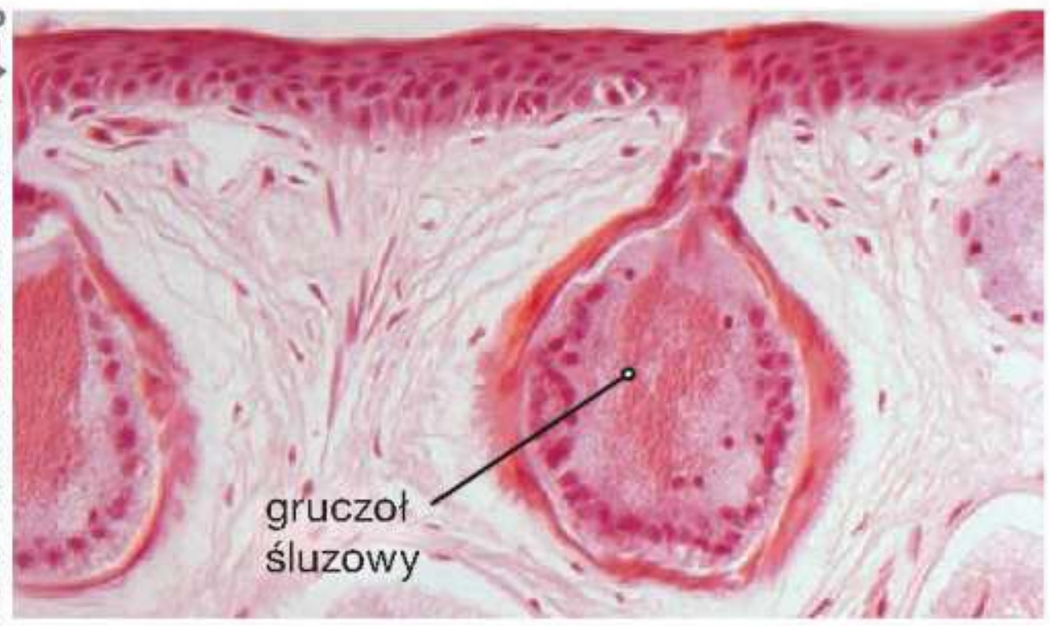
Gruczoły można również podzielić na:

- **gruczoły wydzielania wewnętrznego** – ich wydzielina jest odprowadzana do płynów ustrojowych; należą do nich gruczoły dokrewne, które wydzielają hormony do krwi,
- **gruczoły wydzielania zewnętrznego** – ich wydzielina jest odprowadzana do środowiska zewnętrznego (np. gruczoły potowe) lub do światła narządów (np. wątroba).

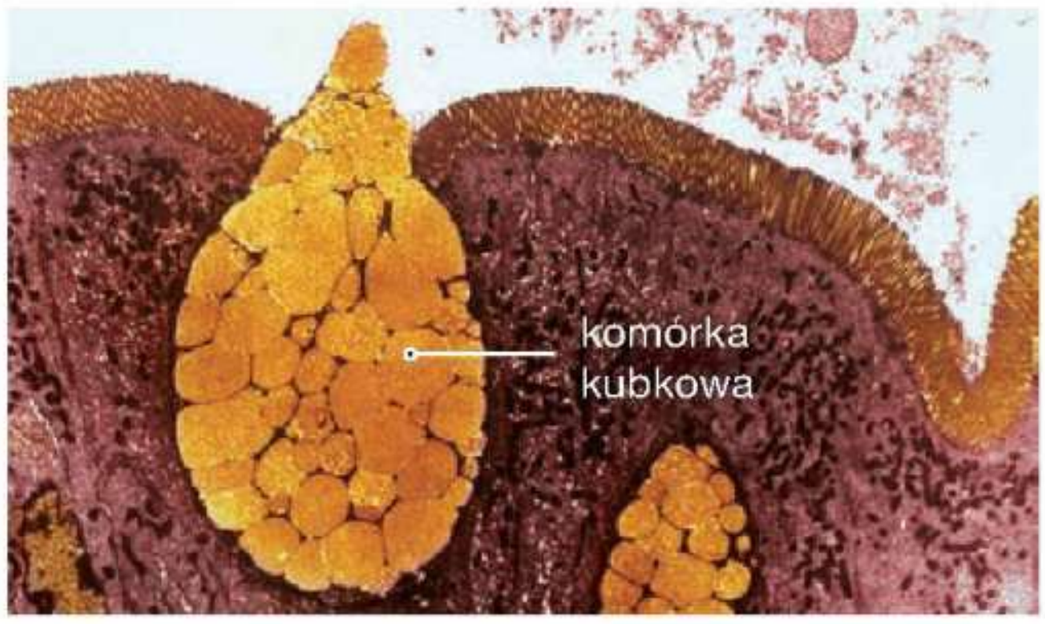
Nabłonkowi przypisuje się również funkcje zmysłowe, bodźce odbierają jednak nie komórki nabłonka, a znajdujące się między nimi neurony. Taką budowę ma m.in. nabłonek węchowy, zlokalizowany w narządzie węchu.

Rodzaje gruczołów

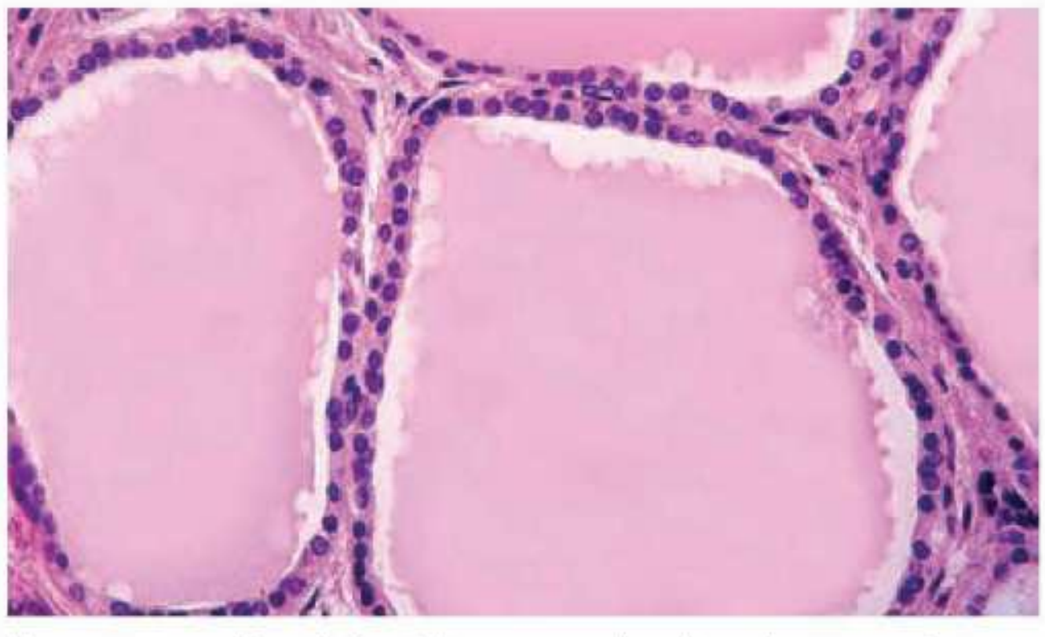
Gruczoły zwierząt są zbudowane z tkanki nabłonkowej. Wydzielają one substancje chemiczne o różnych funkcjach, m.in. ochronnej, sygnałowej lub enzymatycznej.



Gruczoły śluzowe występujące w skórze płazów (obraz spod mikroskopu optycznego) są wielokomórkowymi gruczołami wydzielania zewnętrznego, które wydzielają śluz pokrywający skórę.



Komórki kubkowe jelita cienkiego człowieka (obraz spod TEM) są jednokomórkowymi gruczołami wydzielania zewnętrznego, które wydzielają śluz do światła jelita.



Tarczyca człowieka (obraz spod mikroskopu optycznego) jest wielokomórkowym gruczołem wydzielania wewnętrznego, który wydziela hormony do krwi.

Połączenia międzykomórkowe u zwierząt

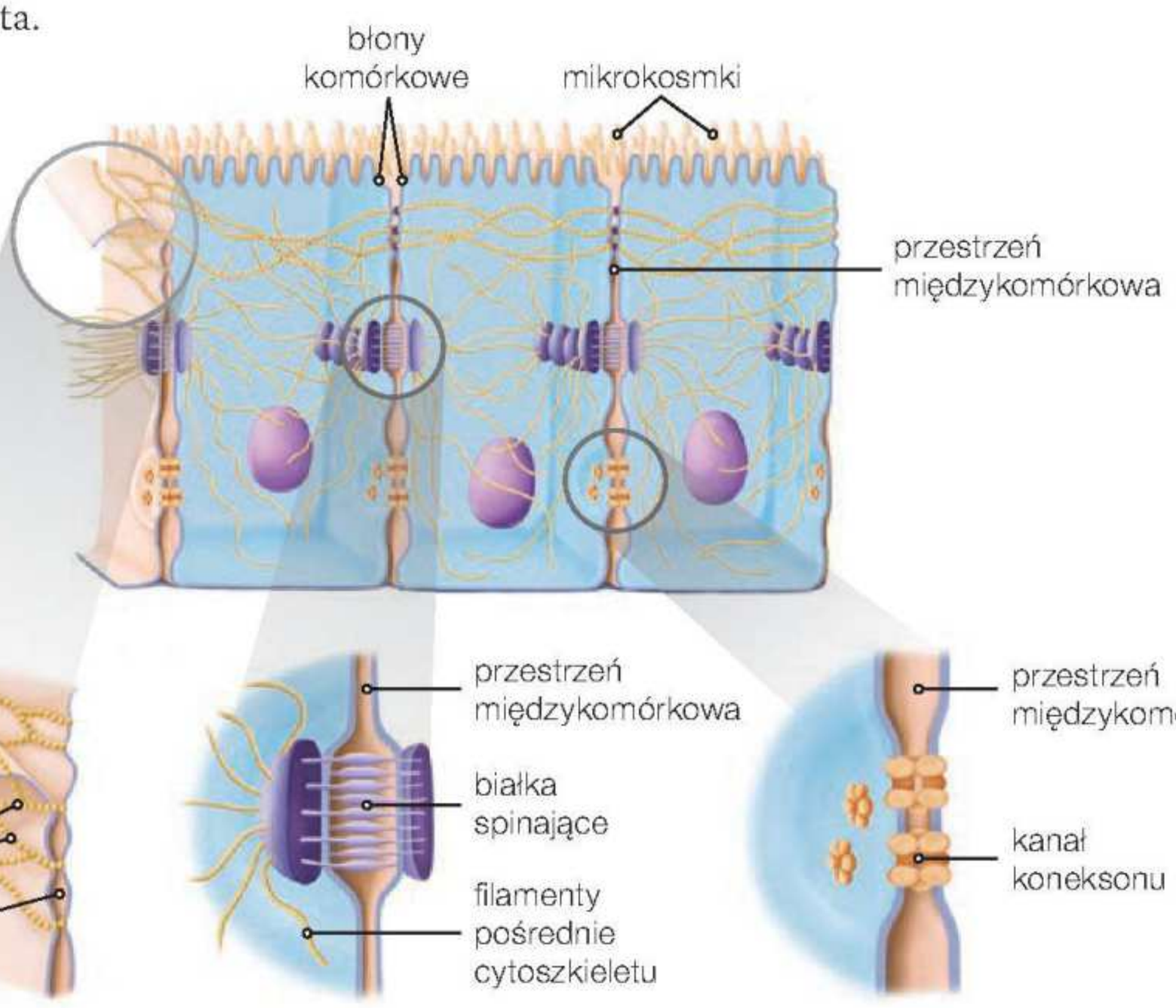
U zwierząt połączenia międzykomórkowe występują w wielu tkankach, m.in. nerwowej i mięśniowej. Jednak największą ich różnorodnością i liczbą charakteryzuje się tkanka nabłonkowa. Niektóre połączenia międzykomórkowe pełnią funkcję barier, zabezpieczających m.in. przed zbyt intensywną wymianą substancji, inne umożliwiają kontakt sąsiadujących komórek.

Do połączeń międzykomórkowych występujących u zwierząt należą m.in.:

- **połączenia zamykające**, które występują wyłącznie w tkance nabłonkowej i są usytuowane w szczytowych częściach komórek. Uszczelniają one warstwę nabłonka, dzięki czemu izolują wewnętrzne środowisko narządu od jego otoczenia;
- **desmosomy**, które łączą sąsiednie komórki tkanek w sposób mechaniczny, podobnie jak nity. Z desmosomami są połączone filamenty pośrednie (keratynowe) cytoszkieletu, dzięki czemu powstaje wytrzymała sieć, która przechodzi przez wszystkie komórki i nadaje tkankom dużą odporność mechaniczną. Z kolei **półdesmosomy** łączą filamenty pośrednie z błoną podstawną, zapewniając tym samym intergralność tkanki;
- **połączenia szczelinowe** (neksus), zbudowane z kompleksów białkowych, tzw. **koneksonów**, tworzą kanały, przez które kontaktują się cytoplazmy sąsiadujących komórek. Umożliwiają one transport jonów i małych cząsteczek polarnych między komórkami. Połączenia szczelinowe występują nie tylko w nabłonkach, lecz także w tkankach nerwowej oraz mięśniowej poprzecznie prążkowanej serca.

Połączenia międzykomórkowe w nabłonkach

Połączenia międzykomórkowe u zwierząt są szczególnie liczne w nabłonkach wyścielających wewnętrzne powierzchnie jam ciała i narządów, m.in. w nabłonku jelita.



Połączenia zamykające. **Desmosomy.** **Połączenia szczelinowe.**

Związek między budową a funkcją nabłonków

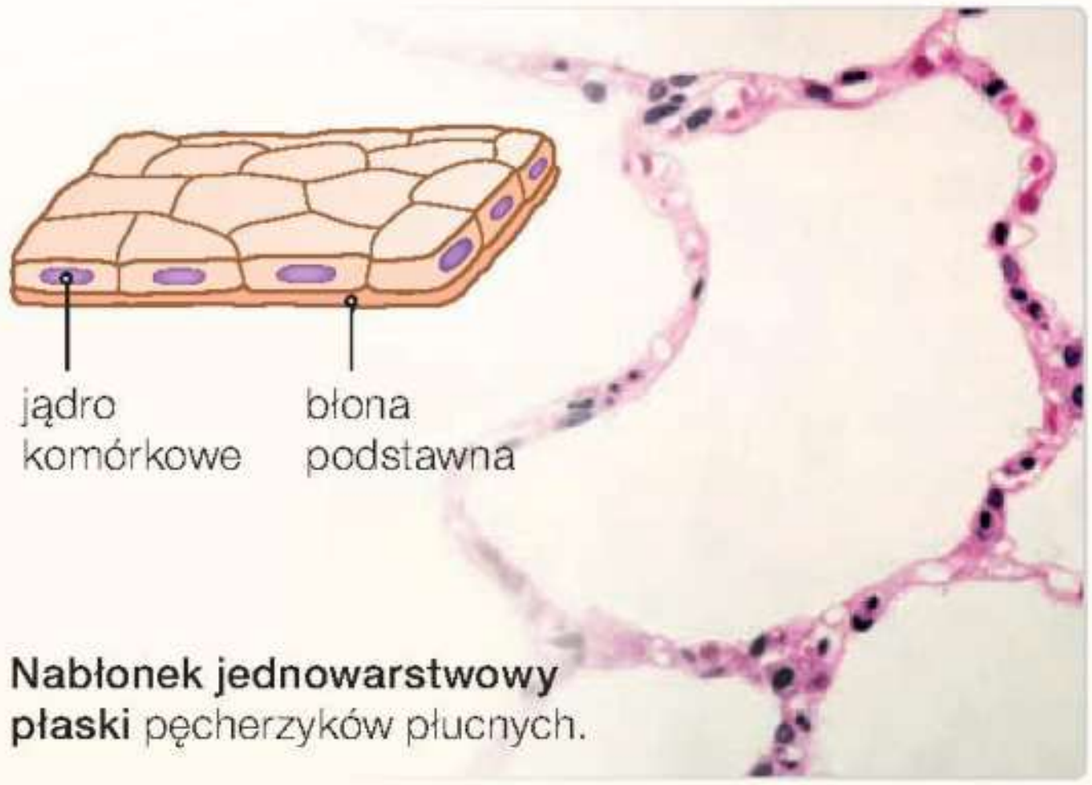
Tkanki nabłonkowe mają różną budowę, uzależnioną od funkcji pełnionych w organizmie.

Nabłonki jednowarstwowe

Nabłonki jednowarstwowe składają się z pojedynczej warstwy komórek o podobnym kształcie, leżących bezpośrednio na błonie podstawnej.

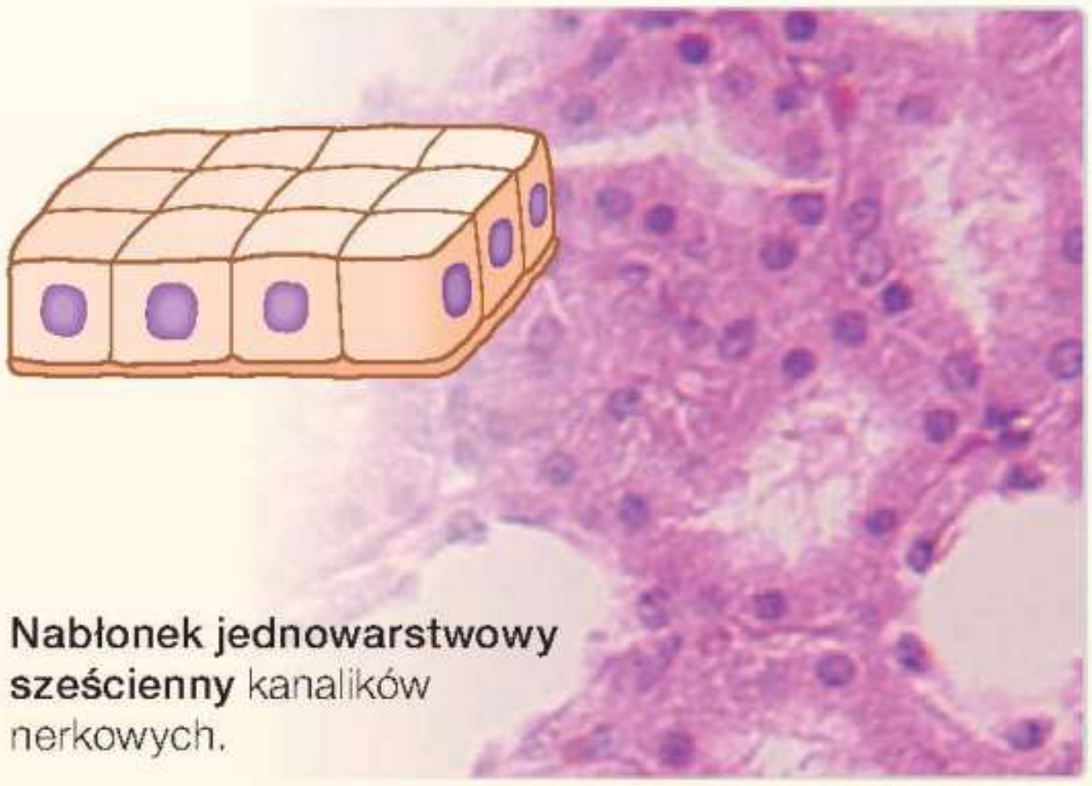
- **Nabłonek jednowarstwowy płaski** jest zbudowany z silnie spłaszczonych komórek o centralnie położonych jądrach komórkowych. Pełni głównie funkcję bariery fizycznej, która jednocześnie umożliwia transport różnych substancji (np. gazów oddechowych) między dwoma oddzielanymi środowiskami. Z tego względu:
  - występuje na powierzchni skrzeli,
  - buduje ściany pęcherzyków płucnych,
  - stanowi wyściółkę naczyń krwionośnych.

  Nabłonek płaski pokrywa także ciało niektórych bezkręgowców, np. płazińców.



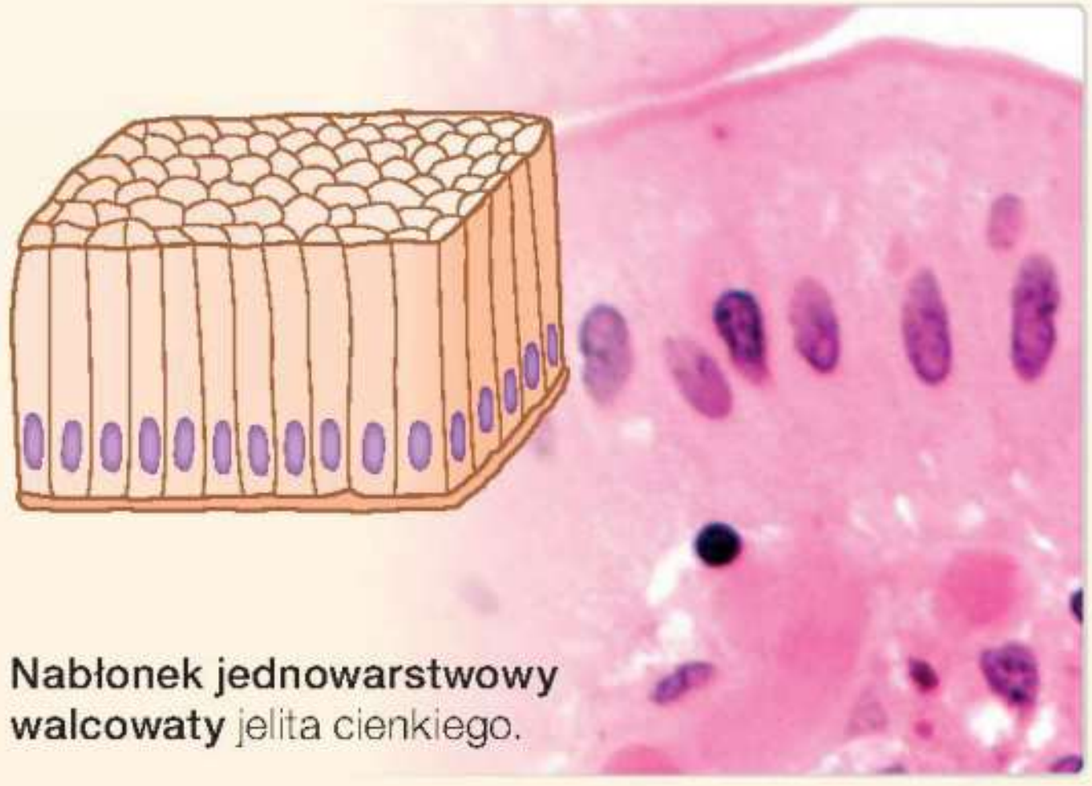
Nabłonek jednowarstwowy płaski pęcherzyków płucnych.

- **Nabłonek jednowarstwowy sześcienny** jest zbudowany z komórek o kształcie sześcianu. Mają one centralnie położone jądra komórkowe, liczne mitochondria i aparaty Golgiego oraz silnie rozbudowaną siateczkę śródplazmatyczną. Z tego względu nabłonek sześcienny pełni głównie funkcje wchłaniania i wydzielania. Występuje m.in. w:
  - częściach wydzielniczych wielu gruczołów,
  - ścianach kanalików nerkowych (jego komórki są zaopatrzone w mikrokosmki).



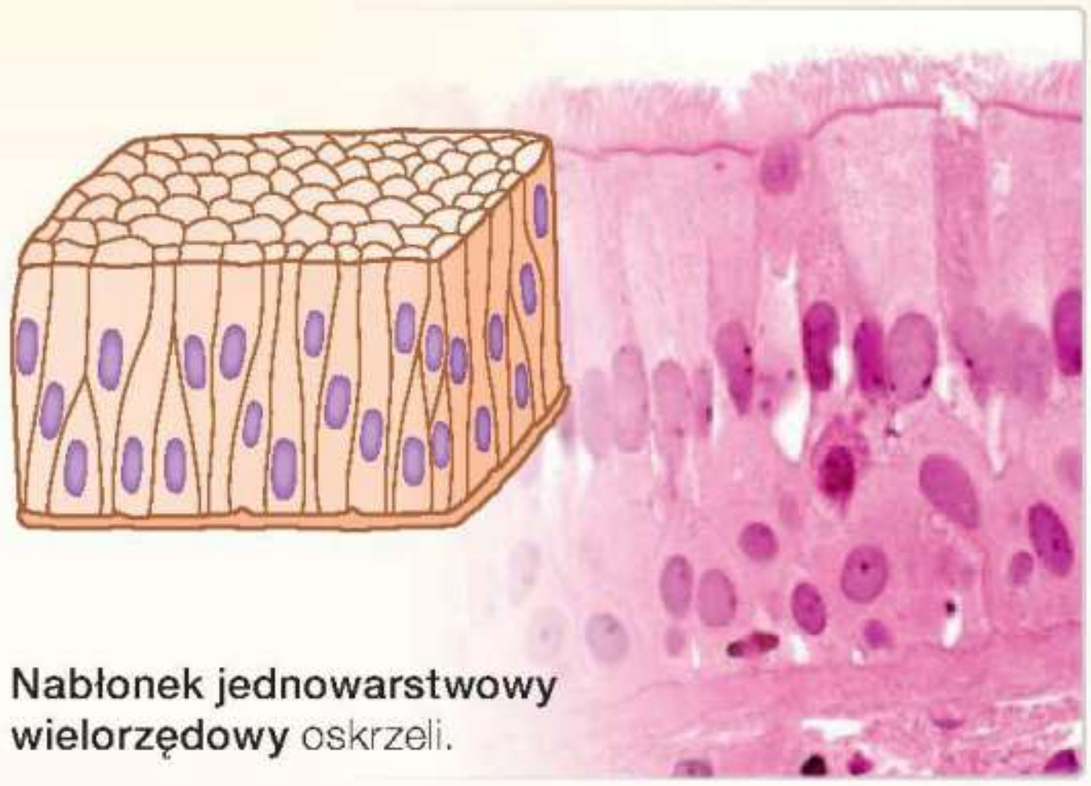
Nabłonek jednowarstwowy sześcienny kanalików nerkowych.

- **Nabłonek jednowarstwowy walcowaty** jest zbudowany z wysokich komórek o kształcie walca. Mają one jądra komórkowe zlokalizowane blisko błony podstawnej, liczne aparaty Golgiego i silnie rozbudowaną siateczkę śródplazmatyczną. Z tego względu nabłonek walcowaty pełni głównie funkcje wchłaniania i wydzielania. Występuje m.in. w większej części przewodu pokarmowego (w jelicie jego komórki zawierają mikrokosmki). Nabłonek walcowaty stanowi również 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, co sprawia, że jądra komórkowe tworzą kilka rzędów. Nabłonek wielorzędowy występuje głównie w drogach oddechowych – jego powierzchnię pokrywają rzęski.



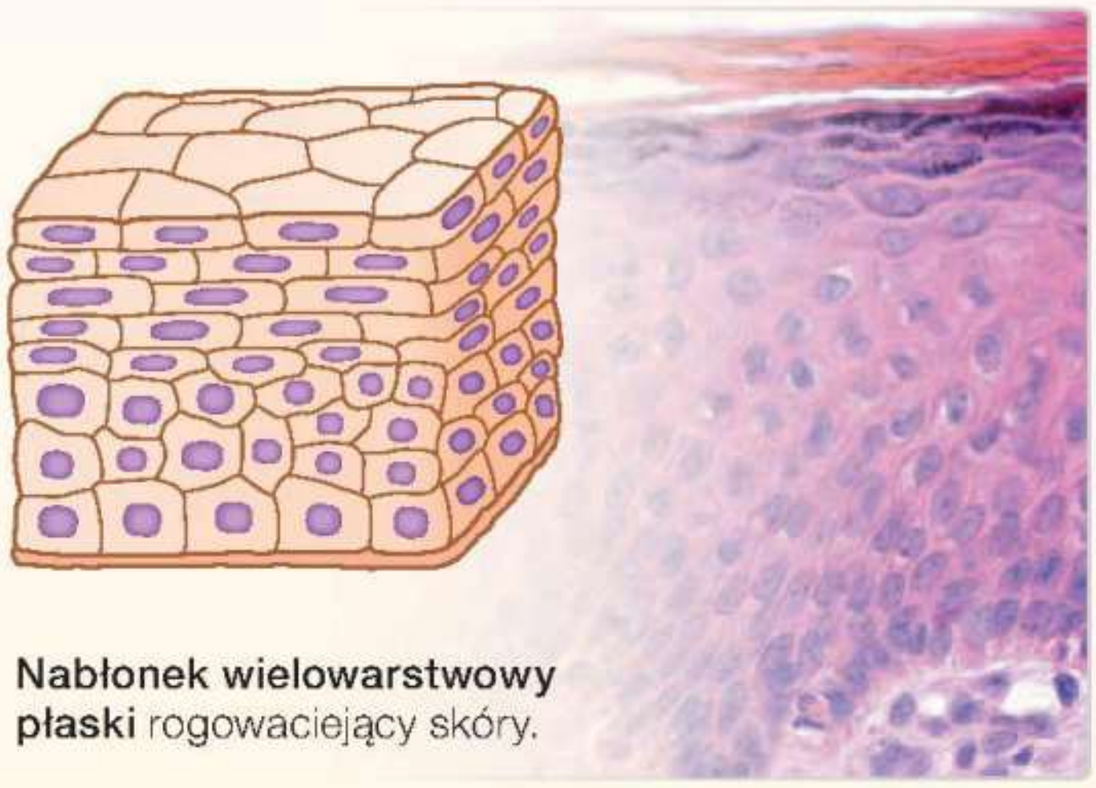
Nabłonek jednowarstwowy wielorzędowy oskrzeli.

Nabłonki wielowarstwowe

Nabłonki wielowarstwowe, zbudowane z wielu warstw komórek, są charakterystyczne dla kręgowców. W zależności od kształtu komórek górnej warstwy można je podzielić na płaskie, sześcienne lub walcowate.

▸ **Nabłonek wielowarstwowy płaski** jest zbudowany z wielu warstw komórek, które spłaszczają się w miarę wzrostu odległości od błony podstawnej. Pełni głównie funkcję ochronną i występuje w postaci:

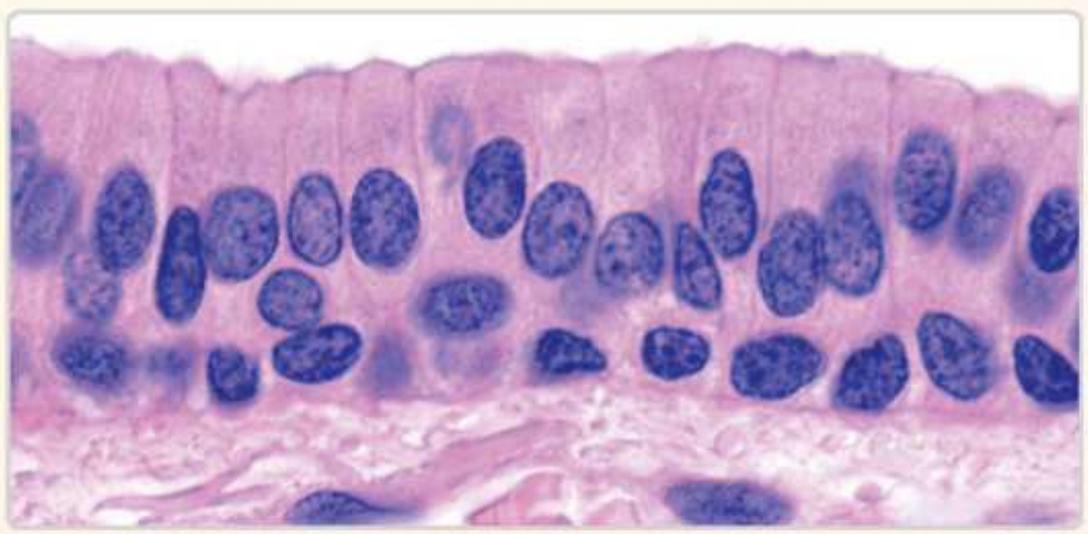
- nabłonka rogowaciejącego, który pokrywa ciało większości kręgowców; jego powierzchniowe warstwy zawierają białko ochronne – keratynę – i ulegają ciągłemu złuszczaniu,
- nabłonka nierogowaciejącego, który występuje m.in. w przełyku, odbycie i pochwie.



Nabłonek wielowarstwowy płaski rogowaciejący skóry.

Inne nabłonki wielowarstwowe

Nabłonek wielowarstwowy sześcienny pęcherza moczowego.



Nabłonek wielowarstwowy walcowaty gruczołów ślinowych.

Polecenia kontrolne

1. Określ różnicę między nabłonkami jednowarstwowymi a nabłonkami wielowarstwowymi.
2. Podaj główne funkcje tkanki nabłonkowej.
3. Omów znaczenie połączeń międzykomórkowych w tkankach zwierzęcych.
4. Wykaż związek między budową a funkcją nabłonka jednowarstwowego sześciennego.

5.4. Tkanka łączna

Zwróć uwagę na:
- rodzaje tkanki łącznej,
- związek między budową a funkcjami tkanki łącznej.

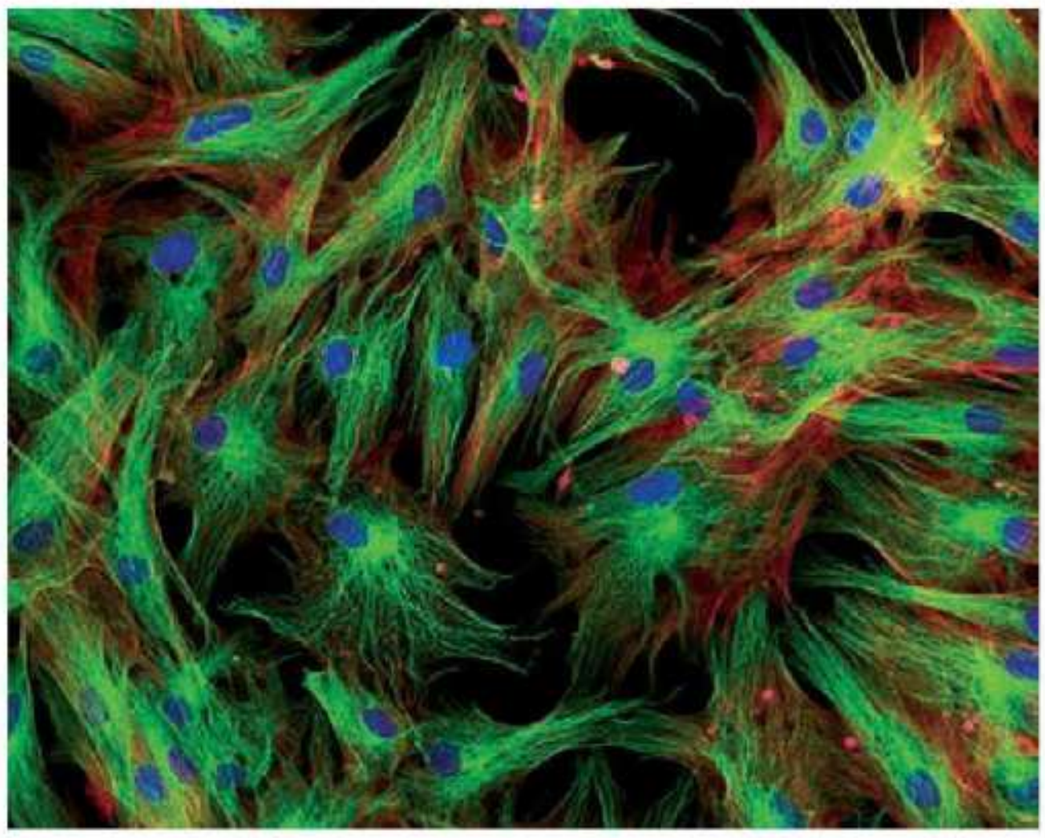
Wszystkie rodzaje tkanki łącznej powstają z **mezenchymy**, czyli tkanki łącznej zarodkowej. Jest ona zbudowana z gwiaździstych komórek oraz galaretowatej substancji międzykomórkowej, w której nie występują włókna. Komórki mezenchymatyczne są ze sobą połączone długimi wypustkami i mają charakter totipotencjalny – mogą przekształcić się w każdy inny rodzaj komórek. Tkanka łączna zarodkowa występuje także jako tkanka ostateczna – mezoglea u parzydełkowców oraz parenchyma u płazińców.

Cechy tkanki łącznej

Tkanka łączna jest zbudowana z luźno ułożonych komórek. Wytwarzają one substancję międzykomórkową, w której skład wchodzą:
- bezpostaciowa substancja podstawowa – rodzaj żelu wiążącego dużą ilość wody, w którym są zanurzone pozostałe elementy tkanki,
- włókna białkowe – wytrzymałe i odporne na rozerwanie włókna kolagenowe oraz rozciągliwe włókna sprężyste zbudowane z elastyny.

Ze względu na budowę i pełnioną funkcję wyróżnia się dwa zasadnicze rodzaje tkanki łącznej: tkankę łączną właściwą oraz tkankę łączną podporową.

Tkanka łączna właściwa jest zbudowana z komórek oraz substancji międzykomórkowej, której podstawowym składnikiem są związki organiczne. Jej głównymi komórkami są wrzecionowate **fibroblasty** wytwarzające liczne wypustki. Tkanka łączna właściwa stanowi zrąb, czyli rusztowanie narządów, na którym opierają się inne tkanki. Pełni również funkcję transportującą – pośredniczy w wymianie substancji między krwią a innymi tkankami oraz bierze udział w reakcjach odpornościowych organizmu i regeneracji narządów.



Fibroblasty (zdjęcie spod mikroskopu fluorescencyjnego) są głównymi komórkami tkanki łącznej właściwej. Mają one wrzecionowaty kształt i liczne wypustki.

Tkanka łączna podporowa (szkieletowa) jest zbudowana z komórek oraz substancji międzykomórkowej, która często zawiera nierozpuszczalne sole mineralne. Tkanka ta pełni głównie funkcje mechaniczne – stanowi przyczep mięśni odpowiadających za ruch oraz utrzymywanie postawy ciała. Jej rolą jest także ochrona narządów wewnętrznych.

Niektórzy naukowcy do tkanek łącznych zaliczają również **krew** i **limfę**. Stanowisko swe popierają mezodermalnym pochodzeniem tych tkanek oraz ich budową, zwłaszcza dużą ilością substancji międzykomórkowej – osocza. Inni traktują krew i limfę jako odrębne tkanki, ponieważ substancja międzykomórkowa jest płynna i powstaje jako wytwór innych tkanek.

Rodzaje tkanki łącznej		
tkanka łączna właściwa	tkanka łączna podporowa	tkanka łączna płynna
• zarodkowa • siateczkowa • włóknista • tłuszczowa	• chrzęstna • kostna	• krew • limfa • hemolimfa

Dowiedz się więcej

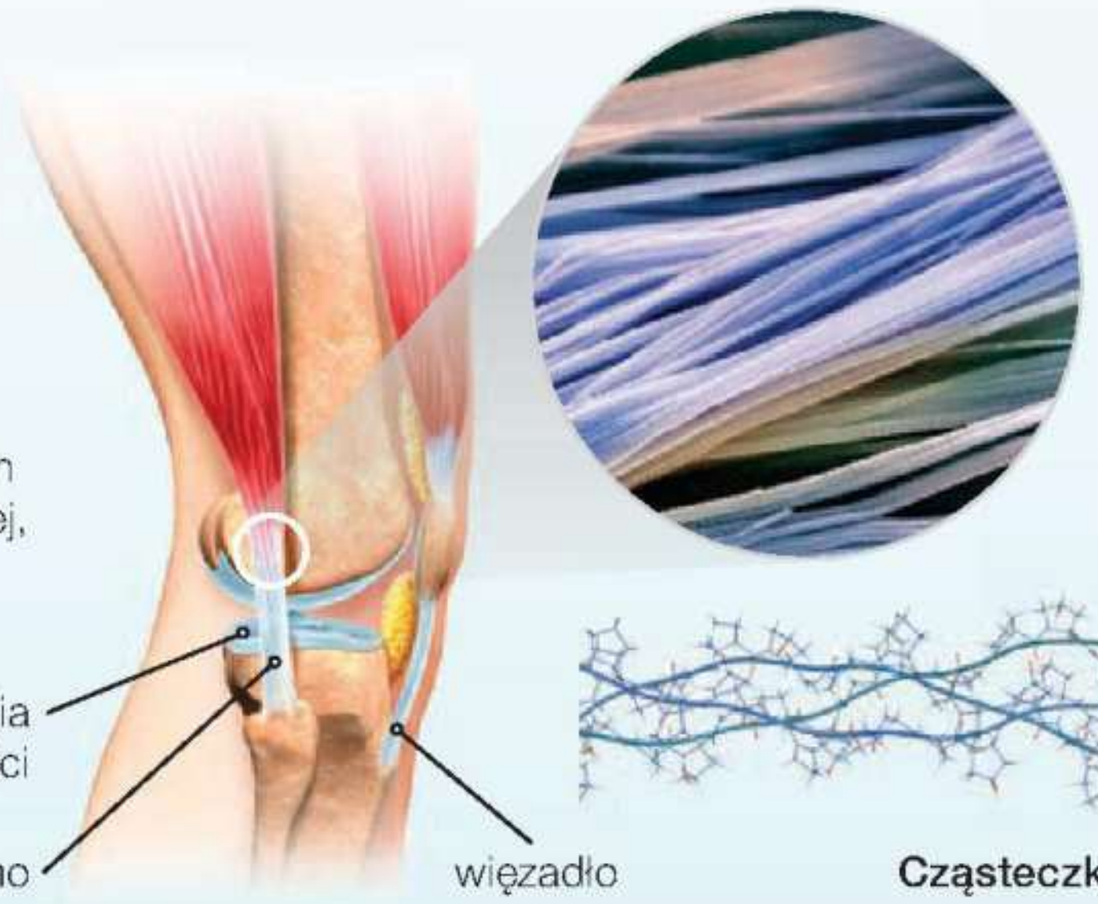
Białka tkanki łącznej

Podstawowymi białkami tkanki łącznej są kolagen i elastyna. Oba związki należą do białek włókienkowych, które nie rozpuszczają się w wodzie.

Kolagen

Kolagen jest wytwarzany w komórkach w formie tropokolagenu, zbudowanego z trzech łańcuchów polipeptydowych zwiniętych spiralnie wokół siebie. Tropokolagen jest usuwany na zewnątrz komórki na drodze egzocytozy i przekształcany w kolagen. Następnie cząsteczki kolagenu łączą się ze sobą, tworząc włókna kolagenowe. Są one bardzo odporne na rozerwanie, dlatego nadają tkankom dużą wytrzymałość mechaniczną.

Szczególnie dużą zawartością kolagenu charakteryzują się ścięgna – włókniste pasma przytwierdzające mięśnie do kości – oraz więzadła – podobne pasma wzmacniające stawy. Białko to jest również podstawowym składnikiem chrząstki szklistej, budującej powierzchnie stawowe kości.



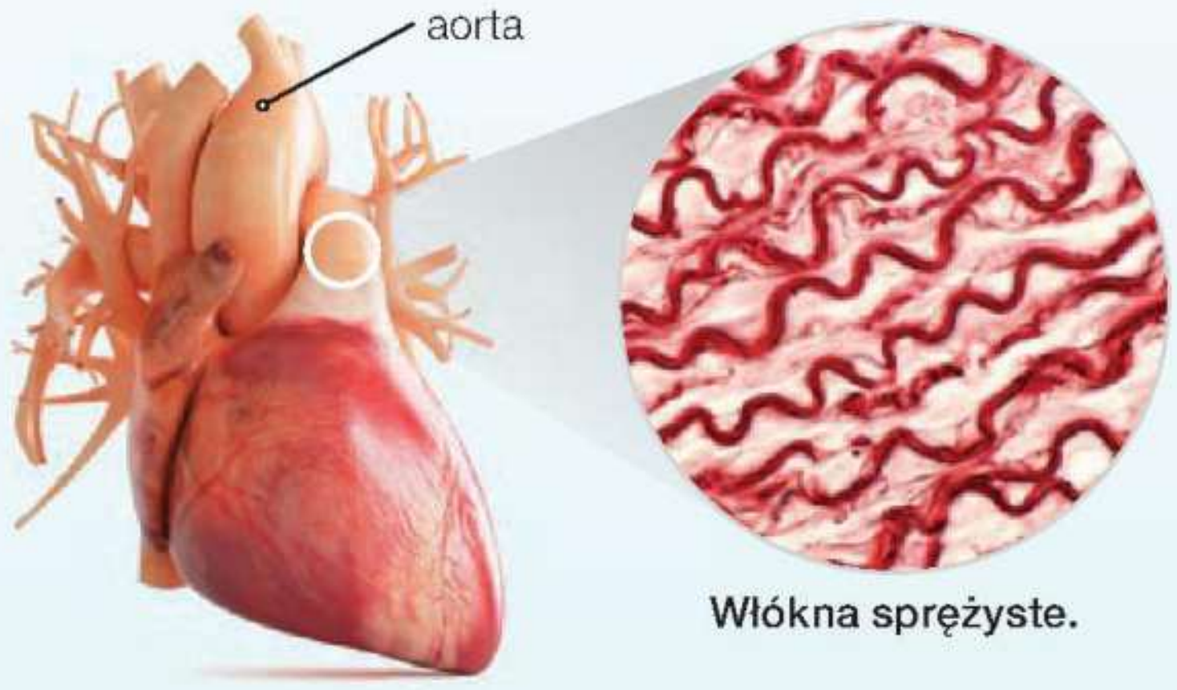
Kolagen należy do glikoprotein. Jego najwyższą strukturą przestrzenną jest struktura czwartorzędowa, utrzymywana głównie mostkami dwusiarczkowymi.

Włókna kolagenowe.

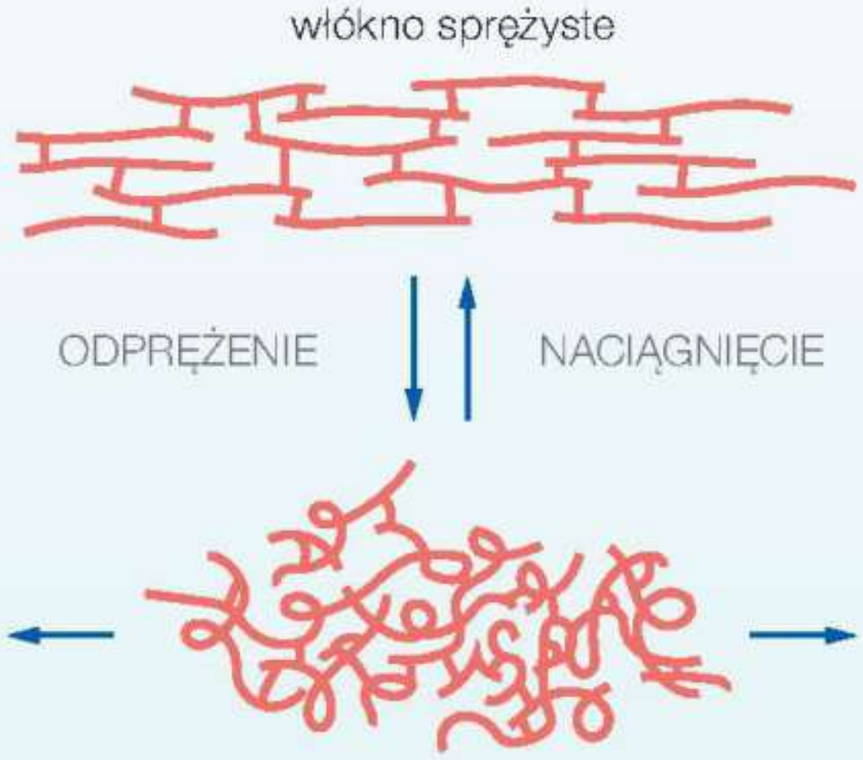
Cząsteczka kolagenu.

Elastyna

Elastyna jest wytwarzana w komórkach w formie tropoelastyny. Łańcuchy polipeptydowe tropoelastyny są usuwane na zewnątrz komórki na drodze egzocytozy i przekształcane w elastynę. Następnie cząsteczki elastyny łączą się ze sobą wiązaniami poprzecznymi, tworząc rozciągliwe włókna sprężyste. Ich elastyczność jest ok. 1000 razy większa niż elastyczność włókien kolagenowych.



Włókna sprężyste.

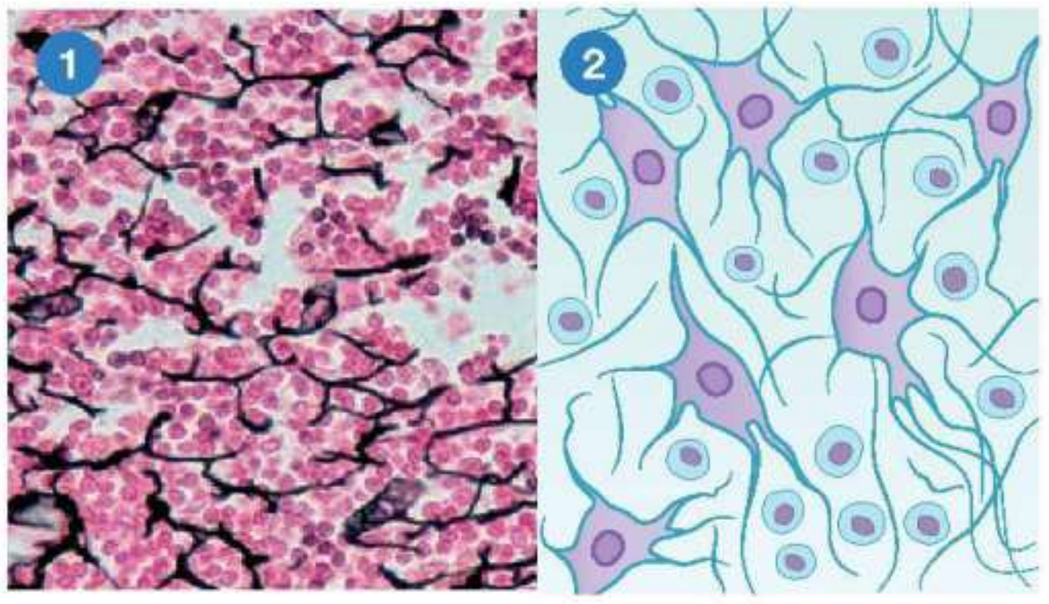


Dużą zawartością elastyny charakteryzują się płuca oraz naczynia krwionośne, zwłaszcza aorta. Dzięki temu mogą się one rozciągać i kurczyć bez ryzyka rozerwania. Elastyna jest także jednym z głównych białek skóry.

Tkanka łączna właściwa

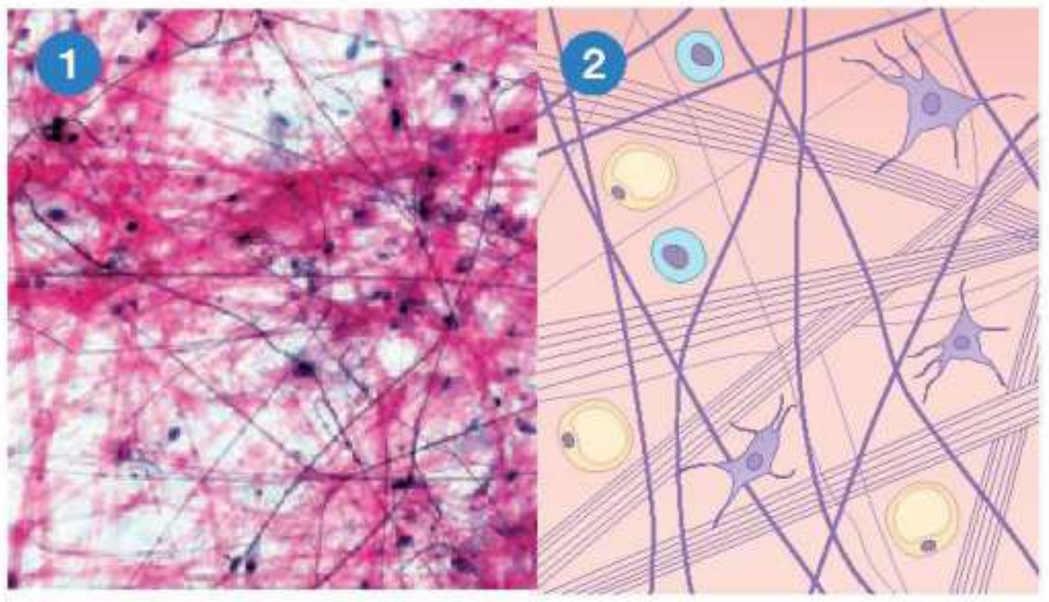
Wyróżnia się kilka rodzajów tkanki łącznej właściwej.

Tkanka siateczkowa jest zbudowana głównie z fibroblastów oraz substancji podstawowej, zawierającej m.in. delikatne włókna kolagenowe. Komórki tej tkanki tworzą charakterystyczną sieć, w której okach znajduje się substancja międzykomórkowa. Tkanka siateczkowa jest podstawową tkanką tworzącą szpik kostny, węzły limfatyczne i śledzionę.



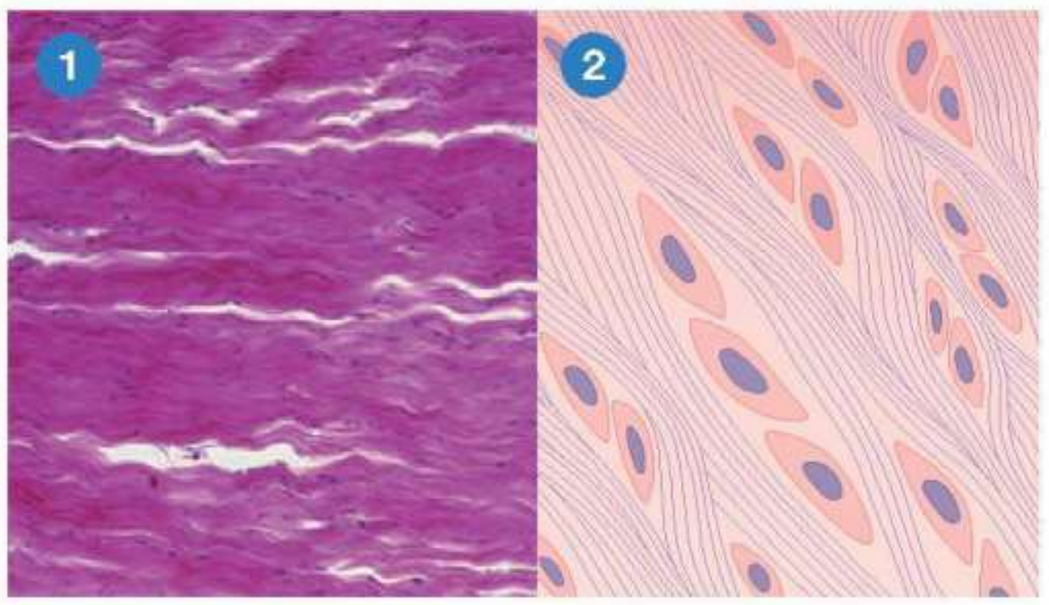
W okach sieci tkanki siateczkowej często znajdują się limfocyty.

Tkanka włóknista luźna (wiotka) składa się z różnych rodzajów komórek, m.in. fibroblastów, oraz dużej ilości substancji podstawowej, w której zanurzone są nieregularnie ułożone włókna kolagenowe i sprężyste. Tkanka ta stanowi zrąb, czyli rusztowanie, na którym opierają się inne tkanki budujące narządy, a także wypełnia wolne przestrzenie między narządami. Występuje u większości zwierząt.



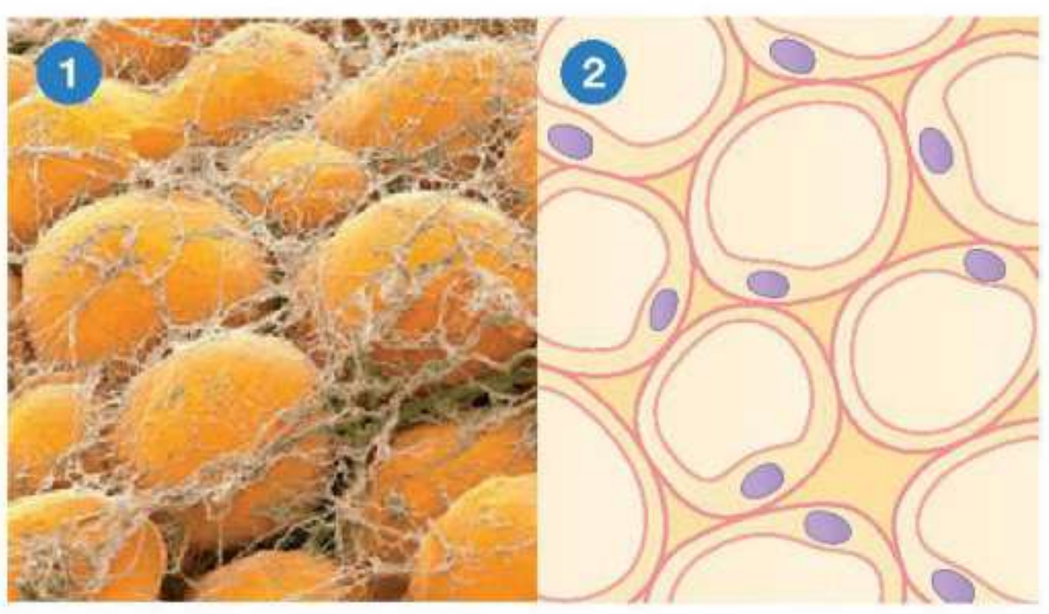
Tkanka włóknista luźna to najczęściej występująca tkanka łączna.

Tkanka włóknista zbita (zwarta) składa się z niewielkiej liczby komórek, małej ilości substancji podstawowej oraz licznych włókien białkowych, głównie kolagenowych, zgrupowanych w pęczki. Tkanka zbita, w której włókna ułożone są równolegle, buduje m.in. ścięgna i więzadła, natomiast tkanka zbita o nieregularnym układzie włókien – skórę właściwą kręgowców.



W ścięgnach włókna tkanki włóknistej zbitej są gęsto ułożone. Dlatego ścięgna są wytrzymałe na rozciąganie.

Tkanka tłuszczowa występuje w dwóch postaciach: żółtej i brunatnej. Komórki tej pierwszej zawierają zwykle jedną dużą kroplę tłuszczu, natomiast drugiej – wiele drobnych kropli tłuszczu. **Tkanka tłuszczowa żółta** występuje u zwierząt pod skórą i wokół narządów wewnętrznych. Pełni funkcję termoizolacyjną, amortyzującą oraz zapasową. **Tkankę tłuszczową brunatną** mają zwierzęta zapadające w sen zimowy i niewielkie ssaki, które szybko tracą ciepło ze względu na dużą powierzchnię ciała w stosunku do jego masy. U człowieka tkanka tłuszczowa brunatna występuje u niemowląt oraz u osób szczupłych. Tkanka ta pełni funkcję termoregulacyjną. W czasie rozkładu tłuszczu brunatnego niemal całość uwolnionej energii zamienia się w ciepło, co umożliwia szybkie podniesienie temperatury ciała.



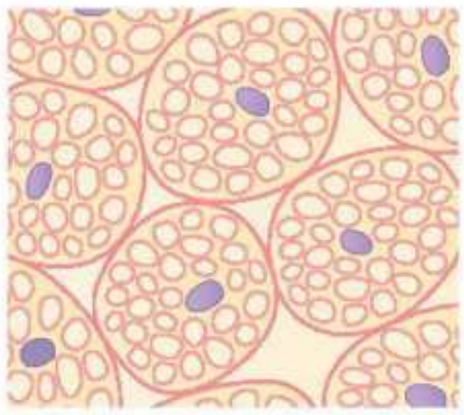
Tkanka tłuszczowa składa się głównie z komórek wypełnionych tłuszczem – adipocytów.

1 Obraz spod mikroskopu. 2 Rysunek.

Dowiedz się więcej

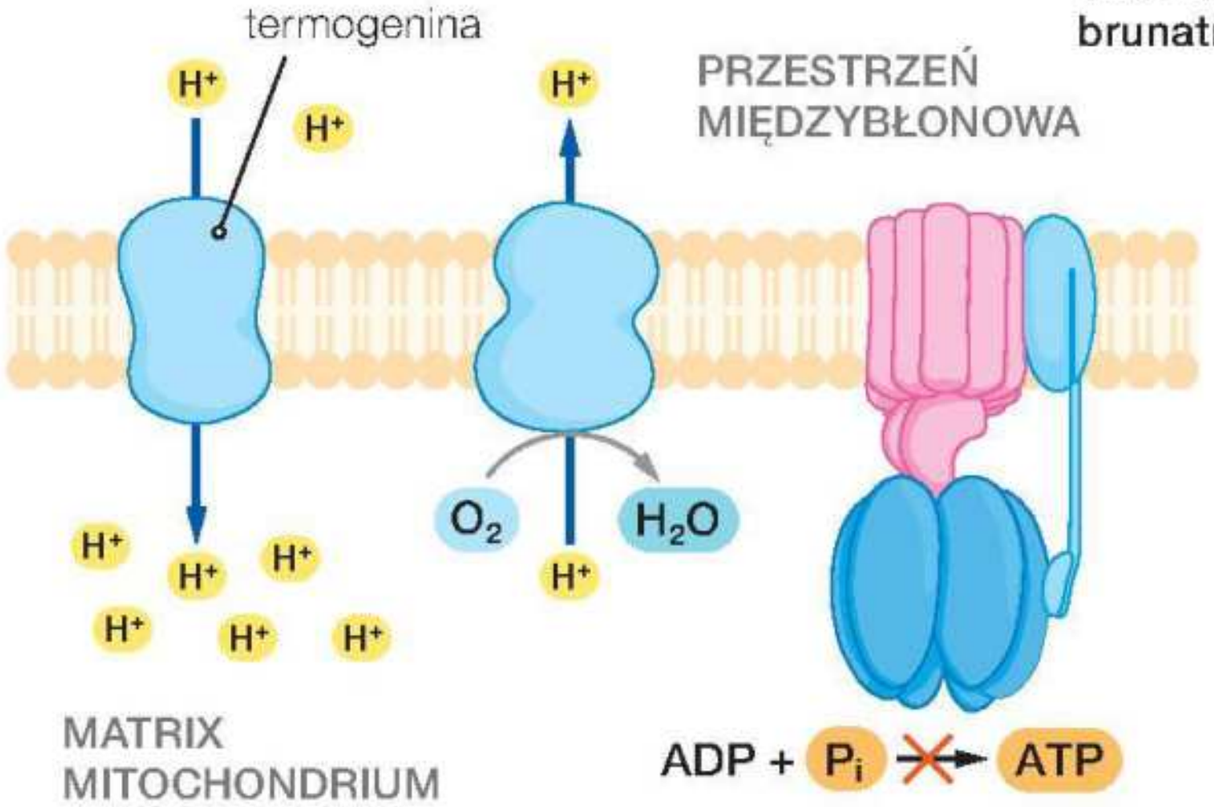
Tkanka tłuszczowa brunatna

Tkanka tłuszczowa brunatna pełni funkcję termoregulacyjną. Zawiera wiele małych kropli tłuszczu oraz liczne mitochondria. Podczas utleniania tłuszczu w mitochonriach tej tkanki zamiast syntezy ATP zachodzi uwalnianie ciepła. Umożliwia to szybkie podniesienie temperatury ciała. Tkanka tłuszczowa brunatna zawiera też liczne naczynia krwionośne, które rozszerzają się pod wpływem zimna. Dzięki temu ciepło jest rozprowadzane po całym ciele.



Tkanka tłuszczowa brunatna.

W wewnątrznej błonie mitochondriów tkanki tłuszczowej brunatnej znajduje się białko kanałowe zwane termogeniną. Białko to transportuje protony zmagazynowane w przestrzeni międzybłonowej do matrix mitochondrium. Dzięki temu przez kanał syntazy ATP przepływa niewiele protonów, a energia transportu elektronów rozprasza się w postaci ciepła.



Tkanka łączna podporowa

Tkanka łączna podporowa występuje u kręgowców oraz u jednej grupy bezkręgowców – głowonogów. Pełni ona funkcję podporową oraz ochronną. Wyróżnia się dwa zasadnicze rodzaje tkanki łącznej podporowej: tkankę chrzęstną i tkankę kostną.

Tkanka chrzęstna (chrząstka) jest zbudowana z owalnych **komórek chrzęstnych** (chondrocytów) i substancji międzykomórkowej wytwarzanej przez niedojrzałą postać tych komórek, czyli przez **komórki chrząstkotwórcze** (chondroblasty). Komórki chrzęstne występują pojedynczo lub po kilka w jamkach chrzęstnych znajdujących się w substancji międzykomórkowej. Niektóre komórki tkanki chrzęstnej, zwane **komórkami chrząstkogubnymi** (chondroklastami), uczestniczą w jej rozkładzie. Ma to duże znaczenie podczas przebudowy i wzrostu szkieletu, kiedy tkanka chrzęstna zastępowana jest tkanką kostną. Głównym składnikiem tkanki chrzęstnej jest substancja międzykomórkowa, zawierająca przede wszystkim liczne włókna kolagenowe. W tkance tej nie występują naczynia krwionośne i nerwy. Transport substancji między chrząstką a innymi tkankami zachodzi na drodze dyfuzji przez substancję międzykomórkową.

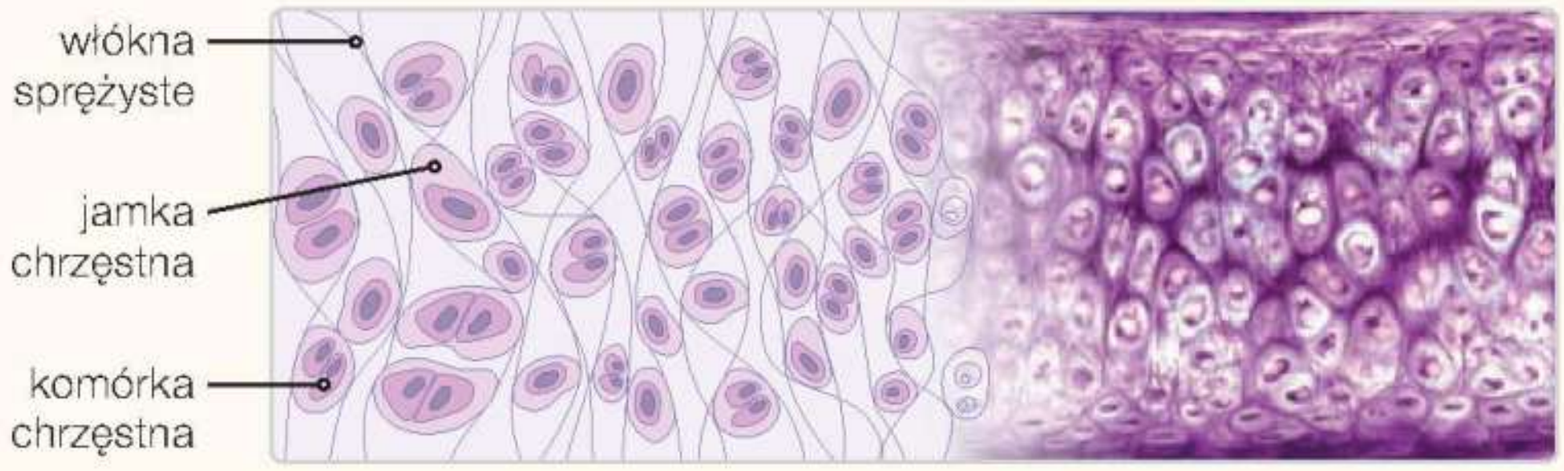
Tkanka kostna jest zbudowana z trzech rodzajów komórek oraz substancji międzykomórkowej. **Komórki kościotwórcze** (osteoblasty) dają początek dojrzałym **komórkom kostnym** (osteocytom) oraz wytwarzają składniki substancji międzykomórkowej. Komórki kościotwórcze odpowiadają za wzrost kości oraz ich regenerację po złamaniach. Natomiast **komórki kościogubne** (osteoklasty) umożliwiają niszczenie martwej lub zbędnej tkanki kostnej. Substancja międzykomórkowa tkanki kostnej zawiera sole mineralne, głównie **fosforan wapnia**, oraz **włókna kolagenowe**. Dzięki takiej budowie tkanka jest jednocześnie twarda i elastyczna. W substancji międzykomórkowej, tworzącej **blaszki kostne**, znajdują się liczne jamki kostne połączone wąskimi kanalikami kostnymi. Każda jamka zawiera pojedynczą komórkę kostną. Tkanka kostna zawiera także naczynia krwionośne i nerwy.

Tkanka podporowa w organizmie człowieka

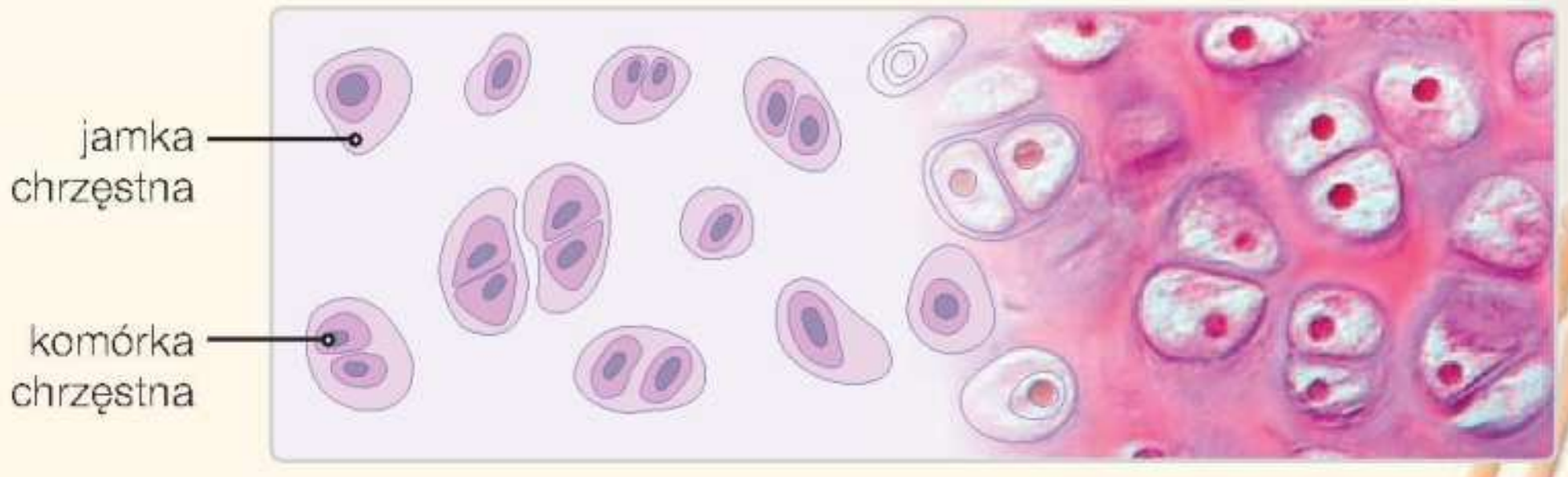
Tkanka podporowa pełni funkcje ochronną oraz mechaniczną – utrzymuje organizm we właściwej pozycji i umożliwia ruch. Wyróżnia się dwa zasadnicze rodzaje tkanki podporowej: tkankę chrzęstną i tkankę kostną.

Rodzaje tkanki chrzęstnej

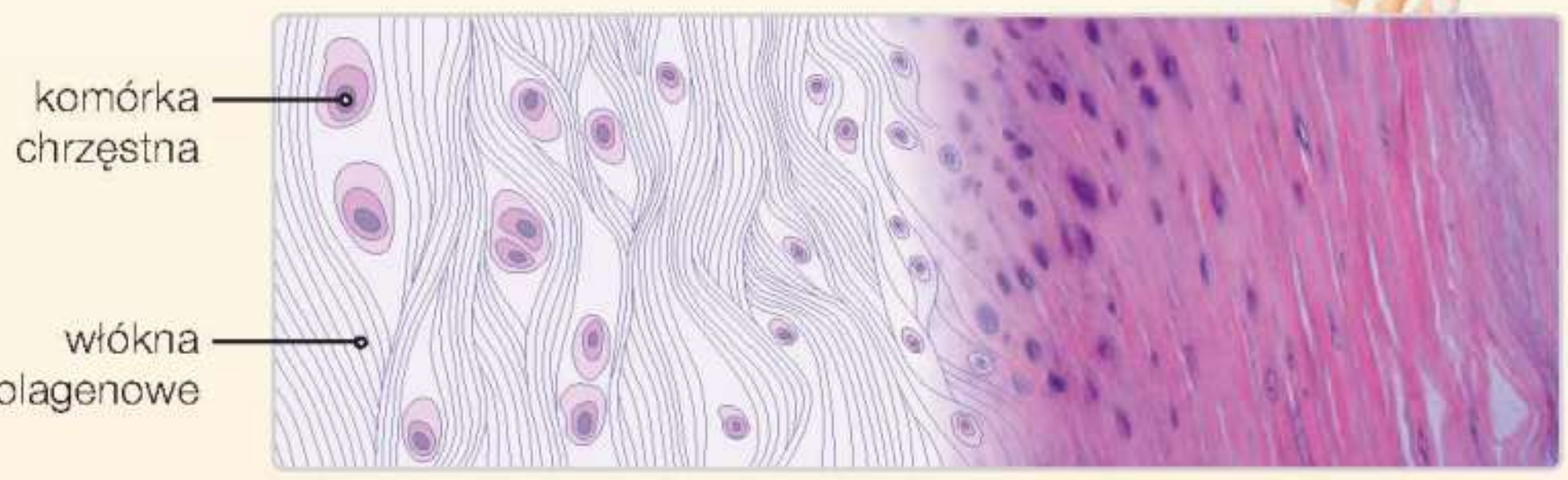
Istnieją trzy rodzaje tkanki chrzęstnej: tkanka chrzęstna sprężysta, tkanka chrzęstna szklista oraz tkanka chrzęstna włóknista. Różnią się one budową oraz funkcjami, jakie pełnią w organizmie.



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 wyjątkowo wytrzymała na rozerwanie dzięki grubym, równolegle ułożonym pęczkom włókien kolagenowych. Tkanka ta buduje m.in. krążki międzykręgowe i spojenie łonowe.

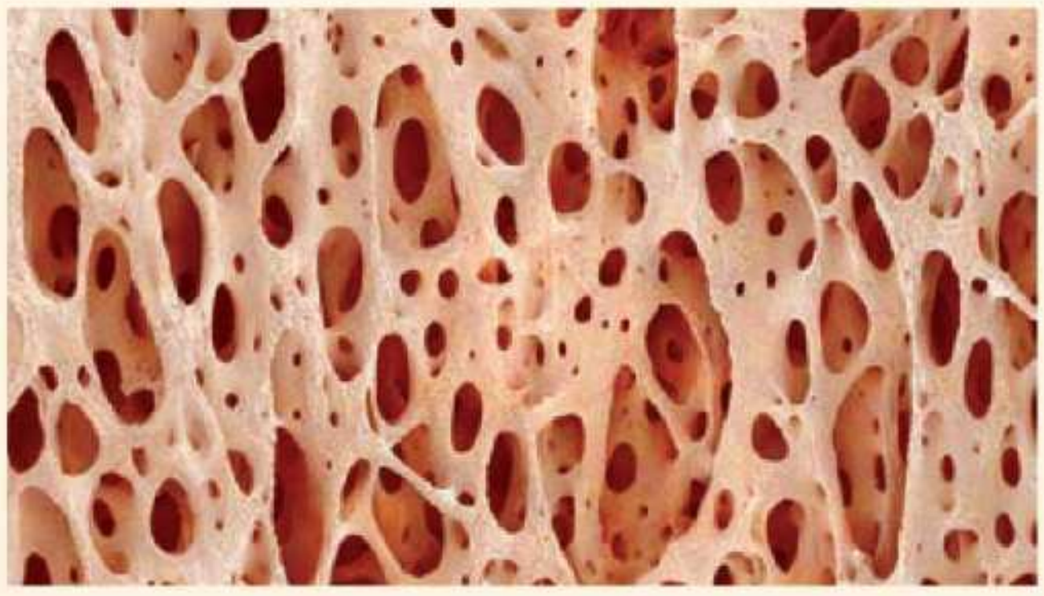
Rodzaje tkanki kostnej

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. Tkanka kostna gąbczasta występuje w nasadach kości długich i wewnątrz kości płaskich. Pełni funkcje podporowe oraz jest magazynem soli mineralnych (głównie fosforanu wapnia), które mogą być wykorzystywane odpowiednio do potrzeb organizmu.

W tkance kostnej gąbczastej blaszki kostne tworzą beleczki kostne o luźnym układzie, zależnym od kierunku sił działających na kość.

W tkance kostnej zbitej blaszki kostne układają się w osteony, które są podstawowym elementem strukturalnym kości. Osteony biegną równolegle do siebie, a przestrzeń między nimi wypełniają dodatkowe blaszki.

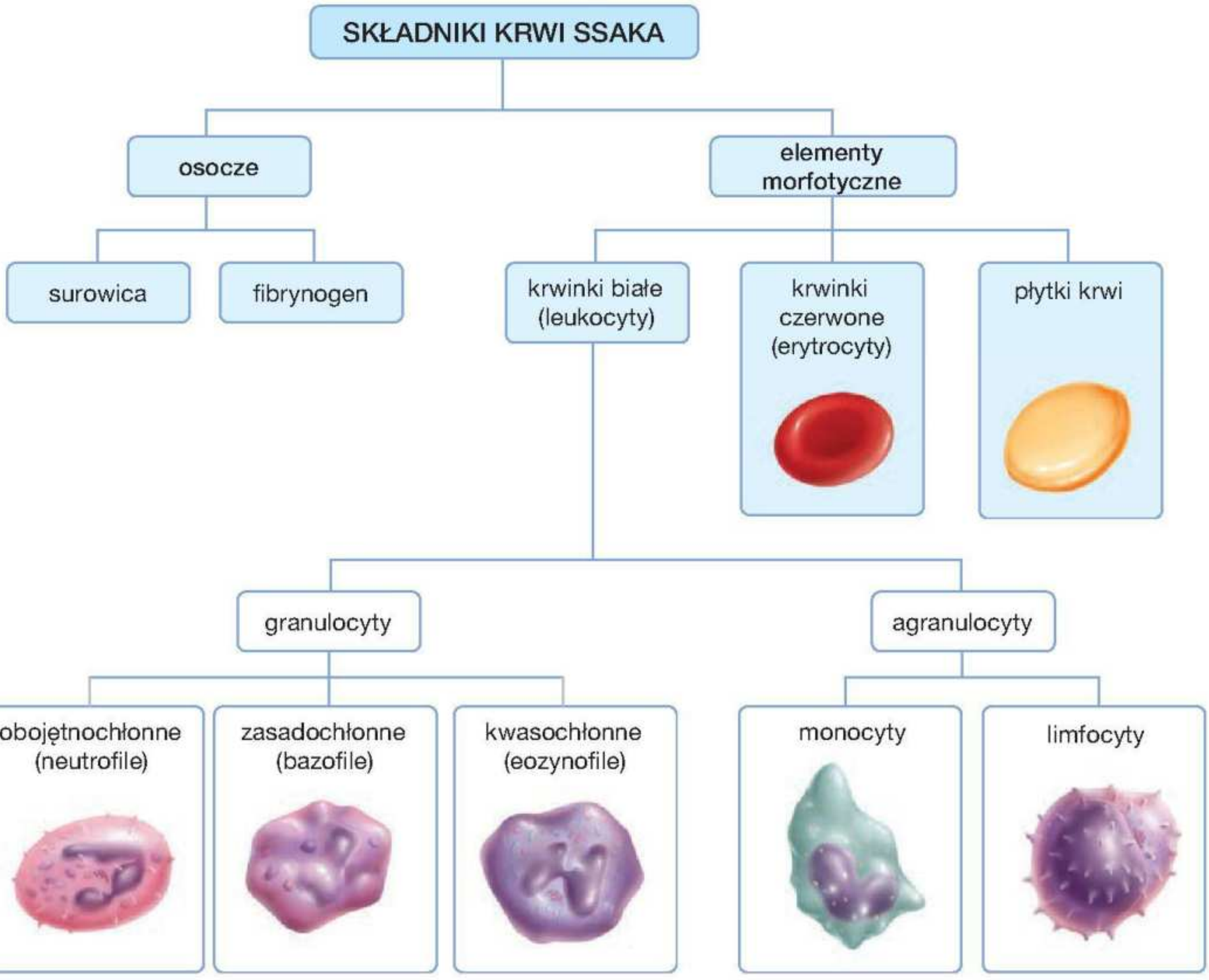
Osteony są zbudowane z blaszek kostnych ułożonych koncentrycznie wokół kanału osteonu (tzw. kanału Haversa). Kanałem tym biegną naczynia krwionośne odżywiające kość oraz nerwy.



W tkance kostnej gąbczastej luźno ułożone beleczki kostne tworzą przestrzenną sieć. Między nimi znajduje się szpik kostny.

Krew

Krew jest tkanką płynną, która transportuje substancje odżywcze oraz produkty przemiany materii. Za jej pośrednictwem u większości zwierząt do komórek trafia tlen, a odprowadzany jest dwutlenek węgla. Krew wspomaga również reakcje odpornościowe organizmu oraz bierze udział w termoregulacji, rozprowadzając ciepło po całym ciele. Krew składa się z **osocza**, czyli płynnej substancji międzykomórkowej, i z **elementów morfotycznych**. Osocze ma postać płynu o słomkowym zabarwieniu. Składa się głównie z wody (ok. 90%), innych związków nieorganicznych (ok. 1%) oraz ze związków organicznych (ok. 9%). Wśród nieorganicznych składników osocza dominują kationy sodu (Na^+) oraz aniony chlorkowe(Cl^-) i wodorowęglanowe (HCO_3^-). Mają one istotne znaczenie w utrzymywaniu na stałym poziomie ciśnienia osmotycznego i pH krwi. Wśród związków organicznych przeważają białka, m.in. **immunoglobuliny** (przeciwciała) uczestniczące w unieszkodliwianiu antygenów i **fibrynogen** biorący udział w krzepnięciu krwi. Osocze pozbawione fibrynogenu nazywa się surowicą krwi. Oprócz białek osocze zawiera inne związki organiczne, m.in. substancje odżywcze dostarczane do komórek (np. glukozę, aminokwasy, witaminy) i zbędne produkty przemiany materii (np. mocznik, kwas moczowy) oraz hormony. We krwi występują trzy rodzaje elementów morfotycznych. Są to **erytrocyty**, **leukocyty** i **trombocyty** lub **płytki krwi**.



Erytrocyty (krwinki czerwone) są najliczniejszymi spośród wszystkich elementów morfotycznych krwi. Ich podstawową funkcją jest transport tlenu i dwutlenku węgla. Umożliwia to zawarty w erytrocytach barwnik – **hemoglobina** – stanowiący prawie 30% masy komórki. Erytrocyty kręgowców są przeważnie owalnymi komórkami zawierającymi jedno jądro komórkowe. Jedynie u ssaków dojrzałe erytrocyty mają kształt dwuwklęsłych krążków i nie zawierają jąder komórkowych oraz większości organelli. Erytrocyty giną stosunkowo szybko, np. u człowieka po ok. 120 dniach, dlatego są sukcesywnie zastępowane przez nowe komórki. Powstają one w szpiku kostnym, a rozkładane są w śledzionie i wątrobie.

Leukocyty (krwinki białe) są najbardziej różnorodną pod względem budowy grupą elementów morfotycznych. W odróżnieniu od erytrocytów ssaków mają jądro komórkowe i wykazują zdolność ruchu. Komórki te są bezbarwne, dlatego można je zobaczyć w obrazie mikroskopowym dopiero po zastosowaniu odpowiednich metod barwienia. Leukocyty powstają w szpiku kostnym i w węzłach chłonnych. Uczestniczą w reakcjach obronnych organizmu. Ze względu na zróżnicowanie budowy i czynności dzieli się je na **granulocyty** (krwinki zawierające ziarnistości w cytoplazmie) i **agranulocyty** (krwinki bez ziarnistości). Ziarnistości cytoplazmy granulocytów wykazują różną zdolność do wchodzenia w reakcje z barwnikami. Z tego powodu granulocyty podzielono na: **neutrofile** (obojętnochłonne), **eozynofile** (kwasochłonne) i **bazofile** (zasadochłonne). Wszystkie granulocyty mają zdolność fagocytowania pasożytów. Neutrofile unieszkodliwiają głównie bakterie, natomiast eozynofile – pasożyty wielokomórkowe. Bazofile, oprócz właściwości żernych, wykazują m.in. działanie przeciwzakrzepowe. Agranulocyty dzielą się na **limfocyty** i **monocyty**. Zadaniem limfocytów jest wytwarzanie przeciwciał, rozpoznawanie antygenów oraz niszczenie zainfekowanych komórek. Monocyty, największe z elementów morfotycznych krwi, pochłaniają bakterie i martwe komórki organizmu. Długość życia leukocytow jest różna, np. monocyty żyją 3–5 dni, a niektóre limfocyty – nawet kilka lat.

Trombocyty większości zwierząt kręgowych mają postać wrzecionowatych komórek z dużym owalnym jądrem komórkowym. U ssaków są to różnego kształtu fragmenty cytoplazmy niezawierające jądra komórkowego, nazywane płytkami krwi. Uczestniczą one w procesie krzepnięcia krwi. Jeśli nie zostaną wykorzystane, po 8–10 dniach ulegają rozpadowi w śledzionie lub wątrobie.

Limfa

Limfa (chłonka) powstaje na skutek przenikania nadmiaru płynu tkankowego z przestrzeni międzykomórkowych do włosowatych naczyń limfatycznych. Jej skład jest podobny do składu osocza. W limfie występują duże ilości limfocytów, które pochodzą z narządów limfatycznych znajdujących się na drodze jej przepływu. Tkanka ta pełni funkcje transportowe i uczestniczy w reakcjach obronnych organizmu.

Hemolimfa

Hemolimfa występuje u niektórych zwierząt bezkręgowych o otwartym układzie krwionośnym, m.in. u stawonogów i mięczaków. Jej składnikami są zdolne do fagocytozy komórki pełzakowate, a także rozpuszczone w osoczu barwniki przenoszące tlen i dwutlenek węgla. Pełni funkcje analogiczne do krwi i limfy.

Polecenia kontrolne

1. Podaj charakterystyczne cechy wszystkich rodzajów tkanki łącznej.
2. Omów właściwości i funkcje głównych białek tkanki łącznej.
3. Skonstruuj tabelę, w której porównasz rodzaje tkanki chrzęstnej. W tabeli uwzględnij budowę tkanek, ich funkcje oraz miejsca występowania w organizmie człowieka.
4. Wyjaśnij, jakie znaczenie mają komórki kościotwórcze i komórki kościogubne w przypadku złamania kości.

5.5. Tkanki pobudliwe – nerwowa i mięśniowa

Zwróć uwagę na:
- związek między budową a funkcjami tkanek: nerwowej i mięśniowej,
- rodzaje tkanki mięśniowej,
- poziomy organizacji ciała zwierząt.

Tkanki nerwowa i mięśniowa są nazywane **tkankami pobudliwymi**. Ich komórki charakteryzują się **pobudliwością**, czyli zdolnością do reagowania na bodźce docierające ze środowiska zewnętrznego lub środowiska wewnętrznego organizmu. Odbiór bodźca wywołuje w komórce **stan pobudzenia**. Reakcją na pobudzenie może być zmiana struktury komórki lub rozpoczęcie, nasilenie bądź osłabienie wykonywanej przez nią czynności.

Tkanka nerwowa

Tkanka nerwowa buduje układ nerwowy, który koordynuje i kontroluje wszystkie czynności organizmu, a także umożliwia jego funkcjonowanie jako całości.

W skład tkanki nerwowej wchodzą **komórki nerwowe – neurony** – i **komórki glejowe**. Oba rodzaje komórek wywodzą się głównie z ektodermy. Neurony odbierają informacje pochodzące z wnętrza organizmu, lub ze środowiska zewnętrznego. Następnie przetwarzają je i przesyłają dalej w postaci impulsów elektrycznych, zwanych **impulsami nerwowymi**. Impulsy nerwowe docierają ostatecznie do komórek mięśniowych lub gruczołów, które reagują odpowiednio skurczem lub wydzielaniem substancji.

Typowy neuron składa się z **ciała komórki** (perykarionu), które zawiera wszystkie organelle, i z dwóch rodzajów wypustek:
- **dendrytów** – zwykle licznych, stosunkowo krótkich i rozgałęzionych wypustek doprowadzających impuls do ciała komórki,
- **aksonu** – pojedynczej, długiej i rozgałęzionej na końcu wypustki przekazującej impuls z ciała komórki w kierunku innego neuronu, komórki mięśniowej lub gruczołu.

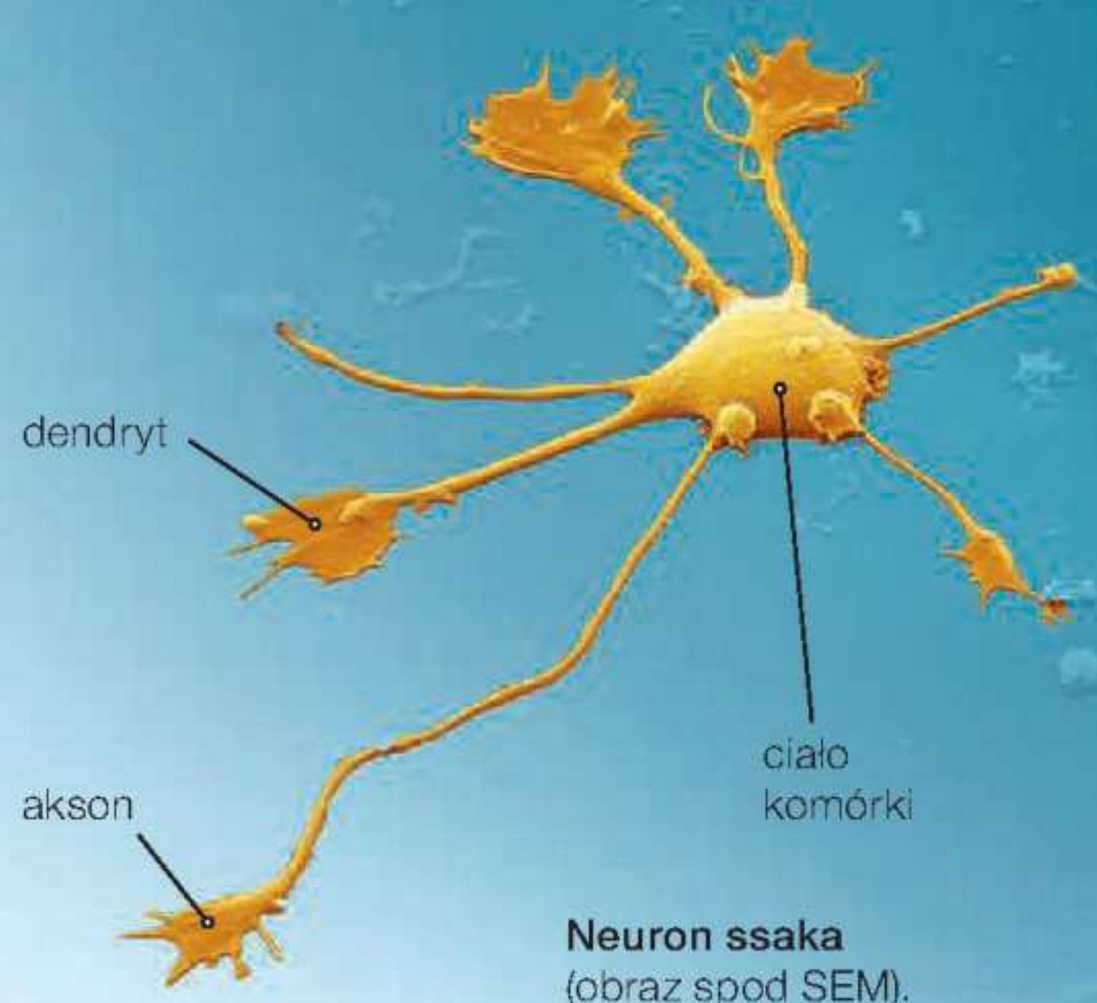
W warunkach fizjologicznych neurony przewodzą impulsy nerwowe tylko w jednym kierunku: od dendrytów przez ciało komórki do zakończeń aksonu. Między aksonami a innymi komórkami nerwowymi, mięśniowymi lub gruczołowymi powstają **synapsy** – wyspecjalizowane połączenia pozwalające na przekazywanie impulsu nerwowego. Wyróżnia się dwa rodzaje synaps:
- synapsy chemiczne, w których impuls nerwowy jest przekazywany za pomocą związku chemicznego – neuroprzekaźnika,
- synapsy elektryczne, w których impuls nerwowy jest przekazywany bezpośrednio z jednej komórki do drugiej przez kanały konekso-nów (połączenia szczelinowe).

Aksony niektórych komórek nerwowych są osłonięte wyłącznie błoną komórkową. Nazywa się je **włóknami bezmielinowymi** lub **bezrdzennymi**. Istnieją również komórki nerwowe, których aksony są otoczone komórkami glejowymi – **lemocytami**. Owijają się one wielokrotnie dookoła aksonu, tworząc **osłonkę mielinową**. Takie aksony noszą nazwę **włókien mielinowych** lub **rdzennych**. Osłonka mielinowa pełni funkcję ochronną oraz zwiększa prędkość przepływu impulsów nerwowych. Prędkość przepływu impulsów rośnie także wraz ze zwiększaniem się grubości włókna. Z największą prędkością (do 120 m/s) przewodzą impulsy niektóre włókna występujące u zwierząt kręgowych.

Komórki glejowe pełnią również inne funkcje, m.in.:
- dostarczają neuronom substancje odżywcze,
- izolują neurony od innych tkanek i narządów,
- uczestniczą w procesach regeneracji tkanki nerwowej.

Budowa neuronów

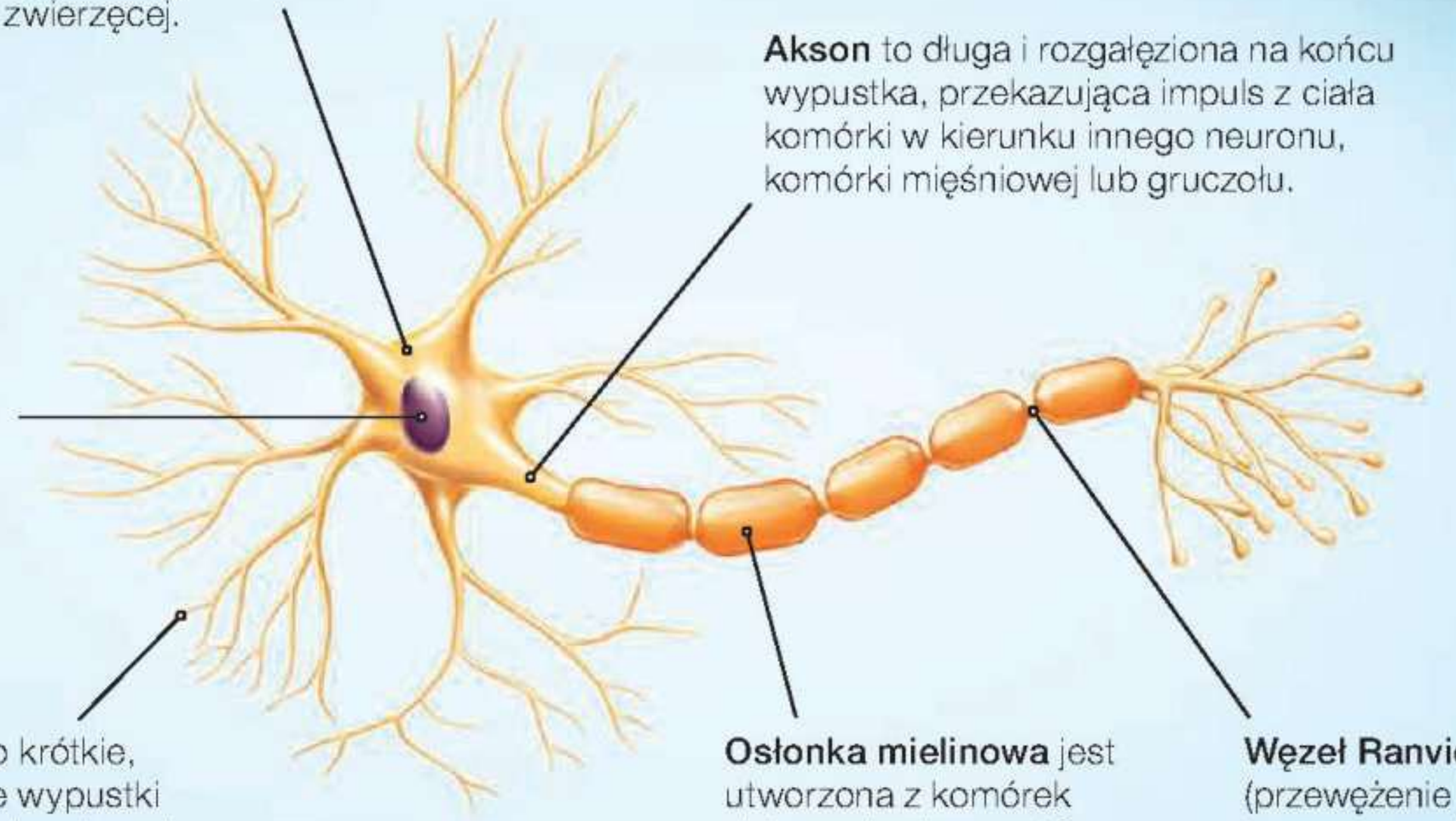
Komórki nerwowe charakteryzują się m.in. rozbudowanym aparatem Golgiego, dużą liczbą mitochondriów oraz dobrze rozwiniętą siateczką śródplazmatyczną. Zwykle są zbudowane z ciała komórki nerwowej oraz z dwóch rodzajów wypustek – dendrytów i aksonów.



Neuron ssaka (obraz spod SEM).

Ciało komórki to część neuronu zawierająca jądro komórkowe i pozostałe organelle typowe dla komórki zwierzęcej.

Akson to długa i rozgałęziona na końcu wypustka, przekazująca impuls z ciała komórki w kierunku innego neuronu, komórki mięśniowej lub gruczołu.



Dendryty to krótkie, rozgałęzione wypustki doprowadzające impuls do ciała komórki.

Osłonka mielinowa jest utworzona z komórek glejowych – lemocytów.

Węzeł Ranviera (przewężenie Ranviera) to przerwa między segmentami osłonki mielinowej.

Budowa typowego neuronu.

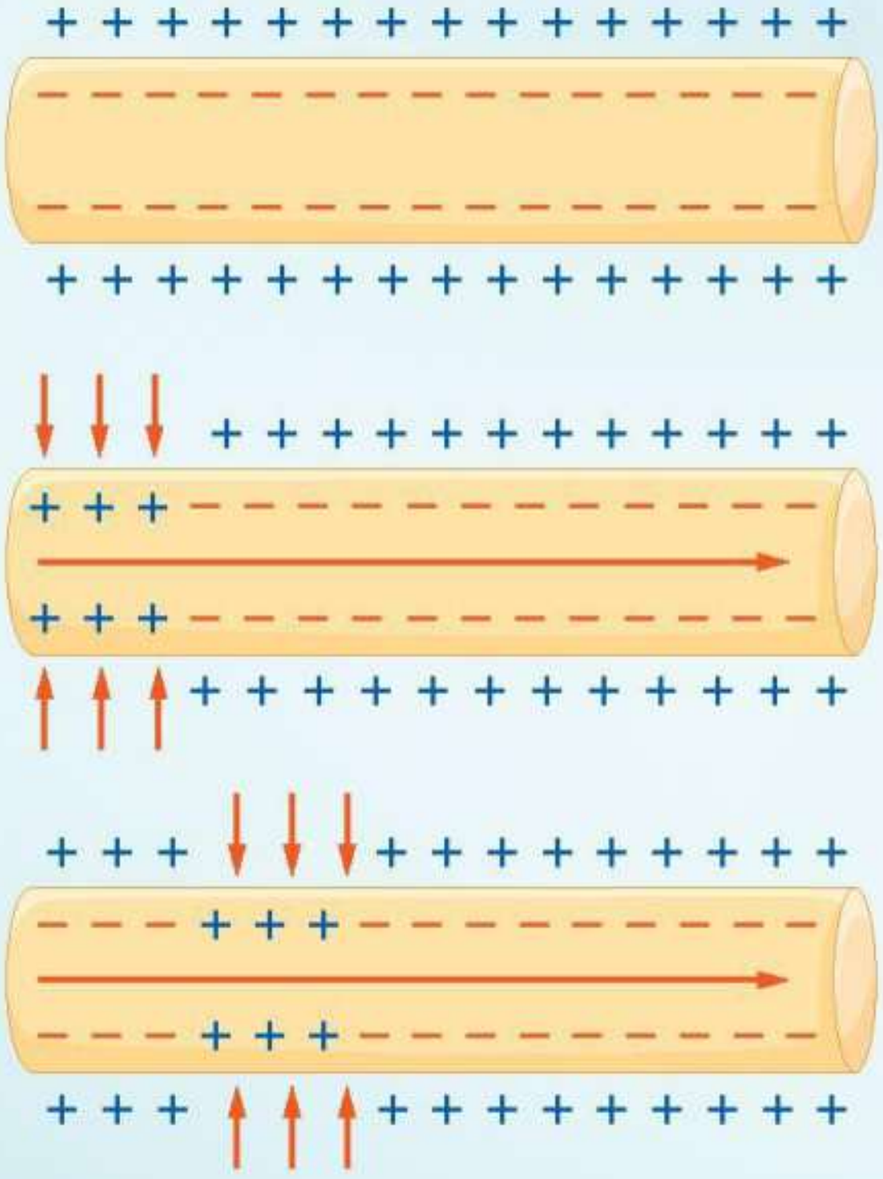
Neurony różnią się od siebie pod względem budowy zewnętrznej. Różnice te dotyczą kształtu komórki, długości wypustek oraz liczby dendrytów. Na przykład w siatkówce oka kręgowców znajdują się neurony dwubiegnowe, które mają tylko dwie wypustki – jeden akson i jeden dendryt.

Neuron dwubiegunowy.

Funkcjonowanie neuronów

Neurony cechują się pobudliwością – 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.

Komórki nerwowe.



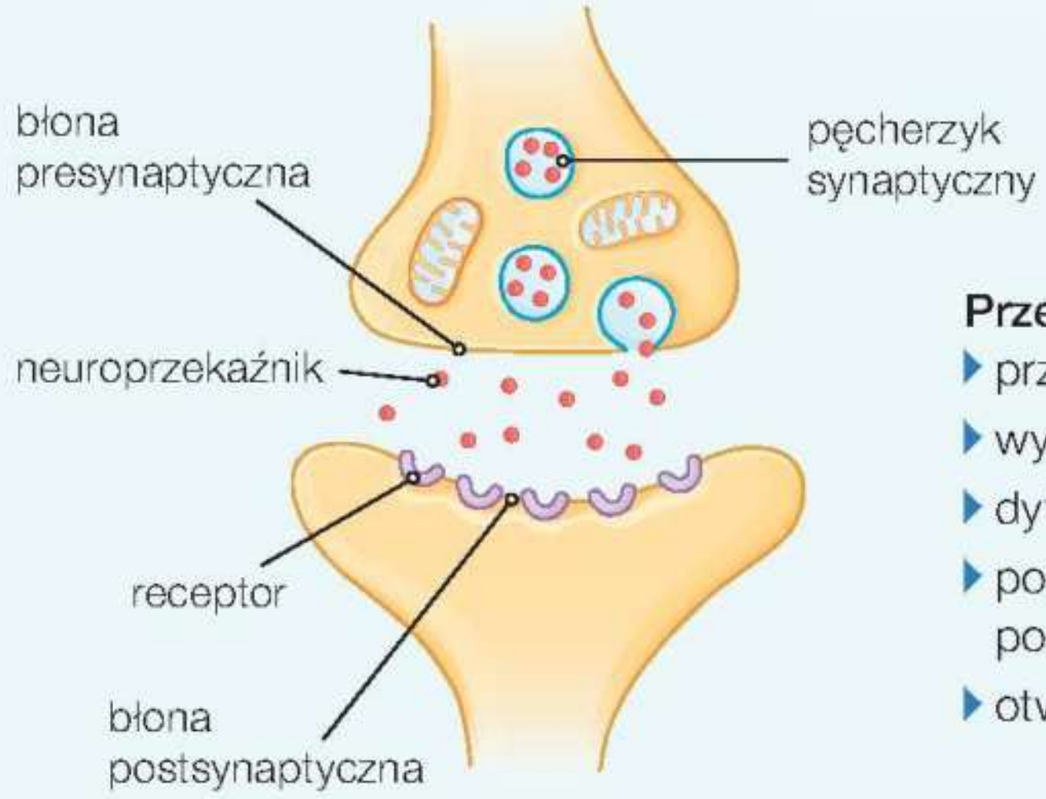
W stanie spoczynku wewnątrz neuronu znajduje się więcej jonów ujemnych niż dodatnich, a w płynie pozakomórkowym – więcej jonów dodatnich niż ujemnych.

Odbiór bodźca wywołuje w neuronie stan pobudzenia. Jest on spowodowany masowym przepływem jonów dodatnich z płynu pozakomórkowego do wnętrza neuronu i chwilową zmianą proporcji ładunków między dwoma środowiskami.

Stan pobudzenia przemieszcza się wzdłuż neuronu. Jednocześnie poprzednie odcinki neuronu przechodzą w stan spoczynku.

Synapsy chemiczne

Impuls nerwowy po dotarciu do zakończenia aksonu jest przekazywany do następnej komórki za pomocą synapsy. Synapsa składa się z błony presynaptycznej, szczeliny synaptycznej i błony postsynaptycznej. Część presynaptyczna należy do komórki nerwowej, która przesyła pobudzenie. Natomiast część postsynaptyczna należy do komórki, która przyjmuje impuls i przekazuje go dalej.



Przesyłanie pobudzenia w synapsie chemicznej:

- przepływ impulsu nerwowego do zakończenia aksonu,
- wydzielenie neuroprzekaźnika do szczeliny synaptycznej,
- dyfuzja neuroprzekaźnika przez szczelinę synaptyczną,
- połączenie neuroprzekaźnika z receptorami w błonie postsynaptycznej,
- otwarcie kanałów jonowych, wywołujące impuls nerwowy.

Łuk odruchowy

Do odbioru bodźców w układzie nerwowym służą **receptory**, do których należą wolne zakończenia nerwowe lub wyspecjalizowane komórki zmysłowe. Receptory mogą być rozproszone w ciele lub skupione w narządach zmysłów, np. w oku.

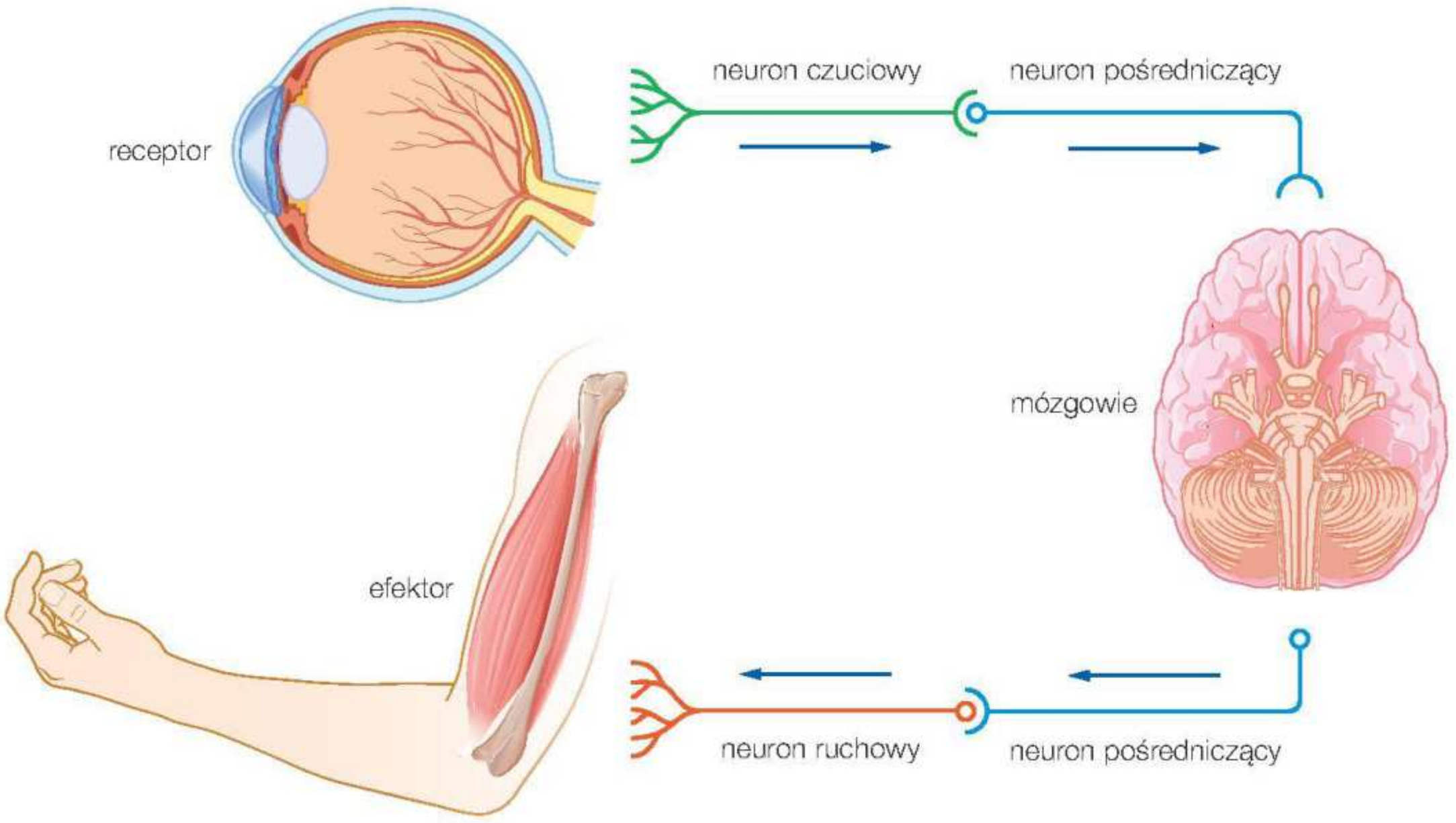
Ze względu na miejsce pochodzenia bodźca receptory dzieli się na:

- **eksteroreceptory**, które odbierają bodźce pochodzące ze środowiska zewnętrznego, np. fotoreceptory w oku pochłaniają światło o określonej długości fali,
- **interoreceptory**, które odbierają bodźce pochodzące z wnętrza organizmu, np. baroreceptory w ścianach naczyń krwionośnych reagują na zmianę ciśnienia krwi przepływającej tym naczyniem.

Natomiast ze względu na rodzaj odbieranego bodźca receptory dzieli się na:

- **mechanoreceptory** – odbierają bodźce mechaniczne, np. ucisk, dotyk, rozciąganie. Są zlokalizowane przede wszystkim w powłokach ciała, narządach słuchu i równowagi oraz w naczyniach krwionośnych (baroreceptory reagujące na zmiany ciśnienia krwi);
- **chemoreceptory** – odbierają bodźce chemiczne, m.in. smakowe i węchowe. Znajdują się głównie w powłokach ciała, narządach jamy gębowej, narządach węchu i ścianach naczyń krwionośnych (osmoreceptory reagujące na zmiany ciśnienia osmotycznego płynów ustrojowych);
- **termoreceptory** – odbierają zmiany temperatury. Znajdują się zwykle w powłokach ciała oraz narządach wewnętrznych;
- **fotoreceptory** – odbierają bodźce świetlne, np. zmiany barwy i natężenia światła. Mieszczą się zwykle w narządach wzroku – oczkach i oczach;
- **elektroreceptory** – odbierają zmiany natężenia i kierunku pola elektrycznego. Są zlokalizowane w powłokach ciała.

Informacja odebrana przez receptory jest analizowana w określonych strukturach ośrodkowego układu nerwowego, czyli w mózgowiu lub rdzeniu kręgowym. W rezultacie organizm zwierzęcia reaguje na bodziec. Reakcja na bodziec zachodzi dzięki **efektorom**, głównie mięśniom lub gruczołom. Droga, którą przebywa impuls nerwowy od receptora do efektora, nosi nazwę **łuku odruchowego**. Łuk odruchowy



W łuku odruchowym uczestniczą co najmniej dwa neurony – czuciowy oraz ruchowy. Oprócz nich mogą występować również neurony pośredniczące.

jest podłożem **odruchu**, czyli automatycznej, wrodzonej reakcji organizmu na bodziec. U kręgowców wyróżnia się odruchy rdzeniowe oraz odruchy zachodzące z udziałem mózgowia. Na bazie odruchów powstają **instynkty** – wrodzone mechanizmy zachowania zwierząt, które nie wymagają uprzedniej nauki i są charakterystyczne dla danego gatunku. W miarę rozwoju ewolucyjnego znaczenie instynktów maleje, wykształcają się natomiast zdolności **uczenia się** oraz **myślenia**, związane głównie z czynnością kory mózgowej.

Tkanka mięśniowa

Tkanka mięśniowa powstaje z mezodermy. Cechami charakterystycznymi tej tkanki są:

- **pobudliwość**, czyli zdolność reagowania na bodźce dopływające ze środowiska zewnętrznego lub wewnętrznego organizmu,
- **kurczliwość**, czyli zdolność wykonywania skurczów, których wynikiem jest zmiana długości lub napięcia komórek mięśniowych. Kurczliwość tkanki mięśniowej pozwala organizmom na **wykonywanie ruchów** oraz **utrzymywanie postawy ciała**. Ma również znaczenie termoregulacyjne, ponieważ pracy mięśni zawsze towarzyszy wytwarzanie ciepła.

Pojedynczym elementem strukturalnym tkanki mięśniowej jest **komórka mięśniowa**, czyli miocyt. Zawiera ona podstawowe organelle właściwe komórce zwierzęcej oraz elementy cytoszkieletu zbudowane z białek – **aktyny** (miofilamenty cienkie) i **miozyny** (miofilamenty grube). Miofilamenty mogą być rozmieszczone w cytoplazmie równomiernie lub tworzyć wyraźne pęczki zwane **miofibrylami**. W zależności od budowy i sposobu funkcjonowania wyróżnia się trzy rodzaje tkanki mięśniowej: poprzecznie prążkowaną szkieletową, poprzecznie prążkowaną serca oraz gładką.

Z **tkanki mięśniowej poprzecznie prążkowanej szkieletowej** są zbudowane mięśnie szkieletowe, które umożliwiają ruch całego organizmu lub jego części oraz utrzymują odpowiednią postawę ciała. Podstawowym elementem strukturalnym tej tkanki są długie (nawet do kilkudziesięciu centymetrów) i cylindryczne komórki mięśniowe, zwane również włóknami mięśniowymi. Odznaczają się one dużą liczbą jąder, które leżą w peryferycznej części włókna, pod błoną komórkową. Skurcz mięśni poprzecznie prążkowanych jest zwykle zależny od woli.

Uwaga! Włókna mięśni poprzecznie prążkowanych szkieletowych powstają w rozwoju zarodkowym w wyniku łączenia się wielu pojedynczych jednojądrowych komórek mięśniowych, zwanych mioblastami. Są więc syncytiami (zespólniami). Z tego powodu niektórzy naukowcy nie uważają ich za komórki.

Tkanka mięśniowa poprzecznie prążkowana serca buduje mięsień sercowy, którego skurcze umożliwiają rozprowadzanie krwi po całym organizmie. Komórki tej tkanki, zwane również kardiomiocytami lub włóknami mięśniowymi, mają widlasto rozgałęzione końce oraz jedno lub dwa jądra położone centralnie. Komórki przylegają do siebie, a miejsca ich styku są widoczne jako tzw. wstawki. Dzięki nim kardiomiocyty tworzą przestrzenną sieć, której skurcz zmniejsza objętość jam serca. Mięsień sercowy kurczy się niezależnie od woli.

Tkanka mięśniowa gładka buduje ściany wielu narządów wewnętrznych, m.in. naczyń krwionośnych, jelita, żołądka i macicy, umożliwiając ich prawidłowe funkcjonowanie. Komórki tej tkanki mają wrzecionowaty kształt. W ich centralnej części znajduje się zazwyczaj jedno jądro komórkowe. Mięśnie gładkie kurczą się niezależnie od woli.

Skurcz mięśnia

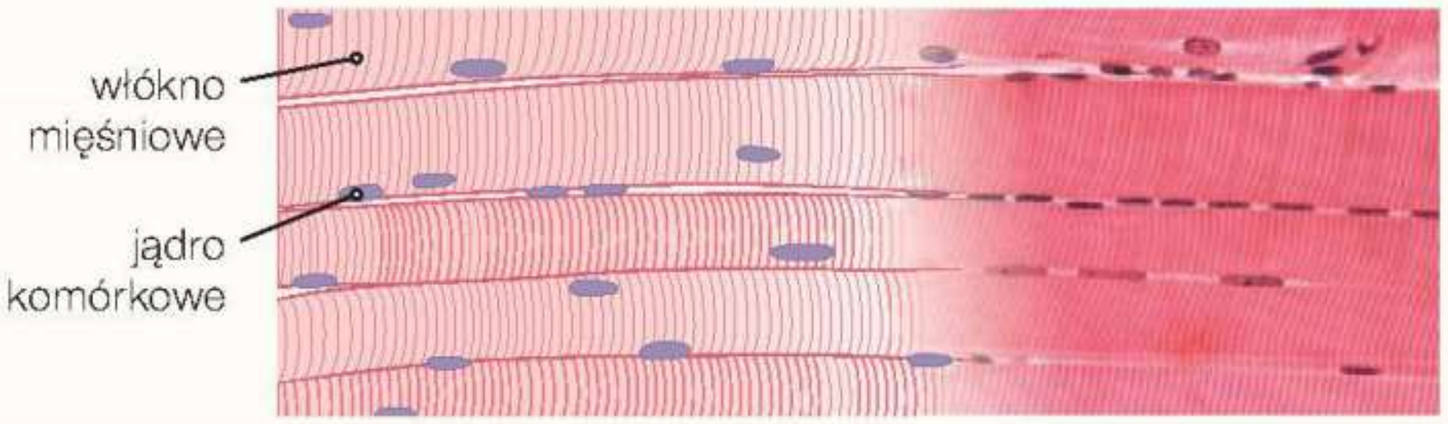
Do skurczu mięśnia dochodzi zwykle pod wpływem pobudzenia przesyłanego przez neurony. Mięsień tworzy z neuronami synapsy nerwowo-mięśniowe. Neuroprzekaźnik wydzielany do szczeliny synaptycznej przez zakończenie aksonu wywołuje stan pobudzenia błony komórkowej komórki mięśniowej. Stan ten skutkuje przesuwaniem się względem siebie miofilamentów aktynowych i miozynowych, czyli skurczem mięśnia.

Budowa tkanki mięśniowej a jej funkcjonowanie

Specyficzna budowa poszczególnych rodzajów tkanki mięśniowej jest związana ze sposobami jej funkcjonowania.

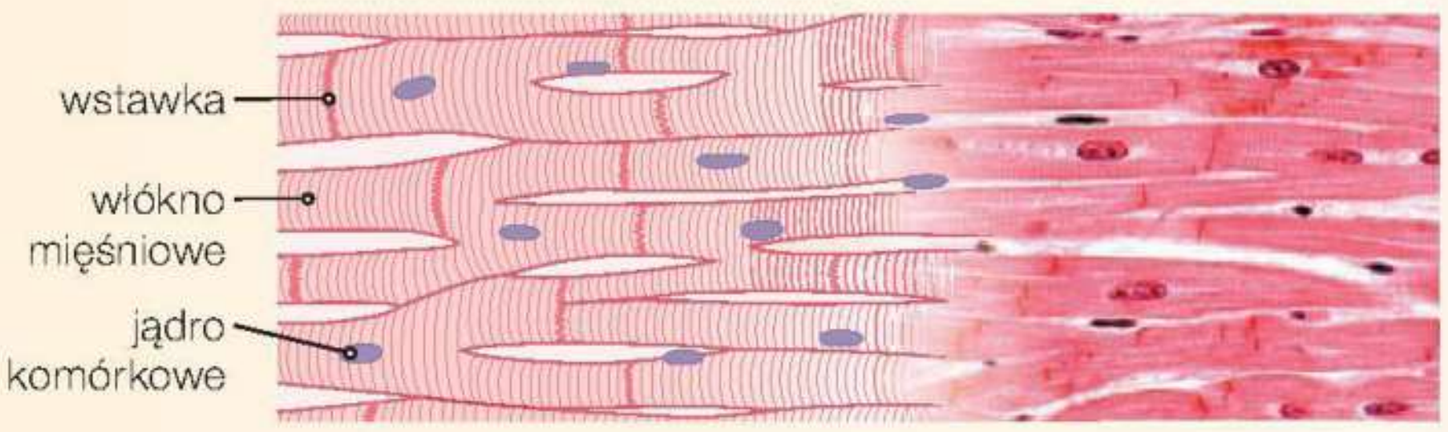
Tkanka mięśniowa poprzecznie prążkowana szkieletowa

W tej tkance miofilamenty cienkie i grube są ułożone na przemian. Zachodzą na siebie częściowo, co w mikroskopie optycznym daje obraz poprzecznego prążkowania. Miofibryle wypełniają niemal całkowicie włókno mięśniowe. Taki regularny układ pozwala na wykonywanie szybkich i silnych skurczów.



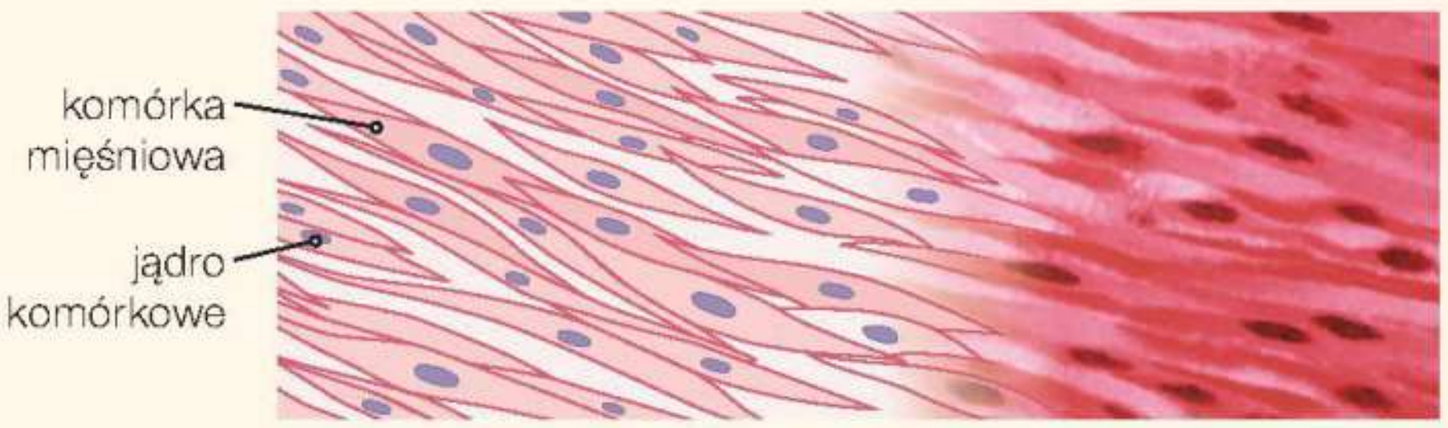
Tkanka mięśniowa poprzecznie prążkowana serca

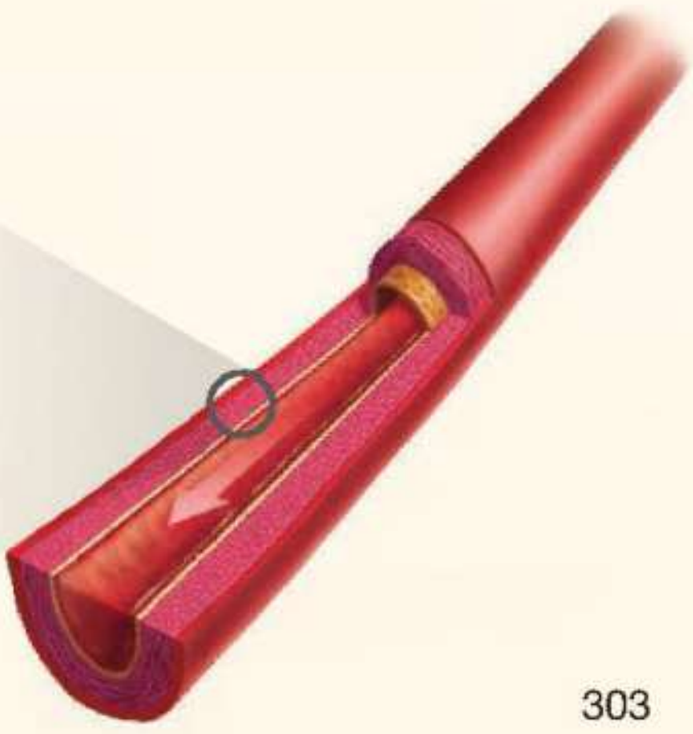
W tej tkance ułożenie miofilamentów i miofibryli jest podobne jak w tkance mięśniowej szkieletowej. W mięśniu serca jest jednak mniej miofibryli, co powoduje, że jego skurcze są szybkie, ale słabsze niż skurcze mięśni szkieletowych.



Tkanka mięśniowa gładka

W tej tkance liczba miofilamentów oraz miofibryli jest kilkakrotnie mniejsza niż w tkankach poprzecznie prążkowanych. Skurcze mięśni gładkich są powolne i trwają dłużej niż skurcze mięśni szkieletowych.





Ruch mięśniowy

Ruch jest jedną z podstawowych czynności życiowych organizmów. U zwierząt ruch umożliwia zdobywanie pokarmu, obronę przed napastnikiem lub ewentualną ucieczkę. W zależności od rozmiarów ciała zwierzęta wykształciły dwa sposoby poruszania się:

- rzęskowy, oparty na ruchu rzęsek i wici,
- mięśniowy, oparty na skurczach komórek nabłonkowo-mięśniowych (parzydełkowce) lub mięśni (pozostałe zwierzęta tkankowe).

Ruch mięśniowy może być ruchem lokomotorycznym lub może dotyczyć tylko określonych części ciała. **Ruch lokomotoryczny polega na czynnym przemieszczaniu się całego zwierzęcia w przestrzeni**. Jego podstawowymi rodzajami są: pełzanie, kroczenie, lot oraz pływanie. Ruch lokomotoryczny umożliwia m.in. aktywne poszukiwanie pokarmu lub partnera czy miejsca do rozrodu, a także ucieczkę lub obronę przed niebezpieczeństwem.

Prędkość poruszania się zwierząt jest różna i zależy od wielu czynników, m.in. od trybu życia i rozmiarów ciała. Niektóre zwierzęta, np. ukwiały, przemieszczają się bardzo wolno – tylko ok. 2 cm/godz. Inne, np. koty drapieżne, mogą osiągać prędkość 100 km/godz., a nawet większą. Zróżnicowany jest także zasięg pokonywanych odległości. Jedne z najdłuższych dystansów pokonują ptaki wędrowne, np. szlamnik zwyczajny (*Limosa lapponica*) może bez odpoczynku przelecieć ponad 10 tys. km.

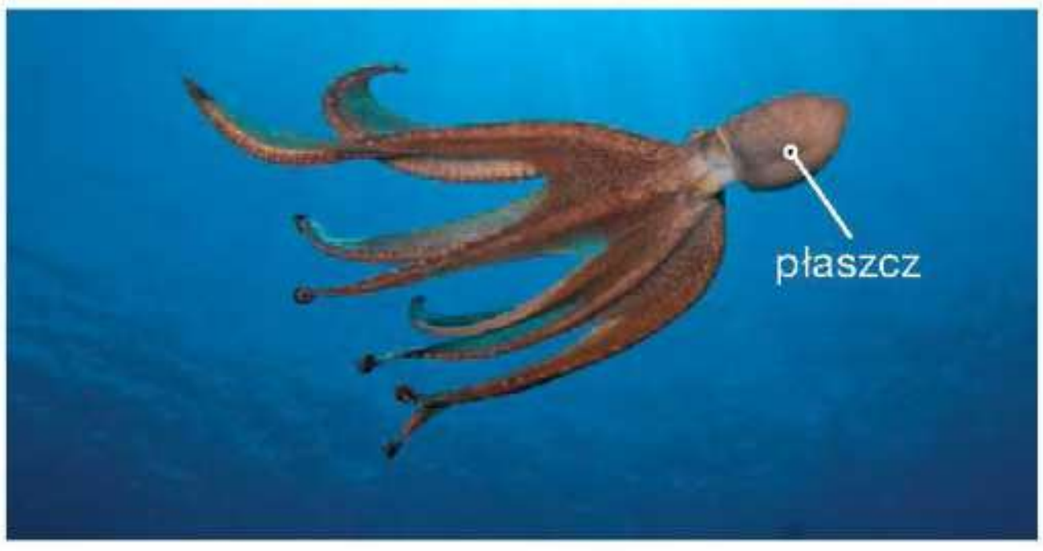
Rodzaje ruchu lokomotorycznego

Do podstawowych rodzajów ruchu lokomotorycznego zalicza się:
pełzanie, ruch kroczący (chód, bieg i skakanie), lot oraz pływanie.

Do zwierząt sprawnie biegających należą drapieżniki, np. gepard, oraz ssaki kopytne, np. antylopy. Zdolność szybkiego ruchu zawdzięczają doskonale rozwiniętym mięśniom kończyn.

Lądowe ślimaki poruszają się, pełzając po podłożu. Ruch umożliwiają im silne mięśnie narządu zwanego nogą.

Do zwierząt latających należy większość owadów, np. motyle. W czasie sezonowych migracji monarchy (*Danaus plexippus*) potrafią przebyć dystans ok. 3 tys. km. Poruszanie skrzydłami umożliwiają im potężne mięśnie zlokalizowane w tułowiu.



Ośmiornice pływają głównie ruchem odrzutowym. Wciągają wodę do umięśnionego narządu zwanego płaszczem, a następnie wyrzucają ją stamtąd z dużą siłą. Dzięki temu przemieszczają się w kierunku przeciwnym do kierunku wyrzucanej wody.

Ruch określonych części ciała bez przemieszczania się służy u zwierząt lądowych m.in. do komunikacji (np. ruchy ogona u ssaków) czy usuwania pasożytów (np. drapanie się). U osiadłych zwierząt wodnych ruchy części ciała mogą napędzać cząstki pożywienia lub służyć do bezpośredniego chwytania pokarmu.

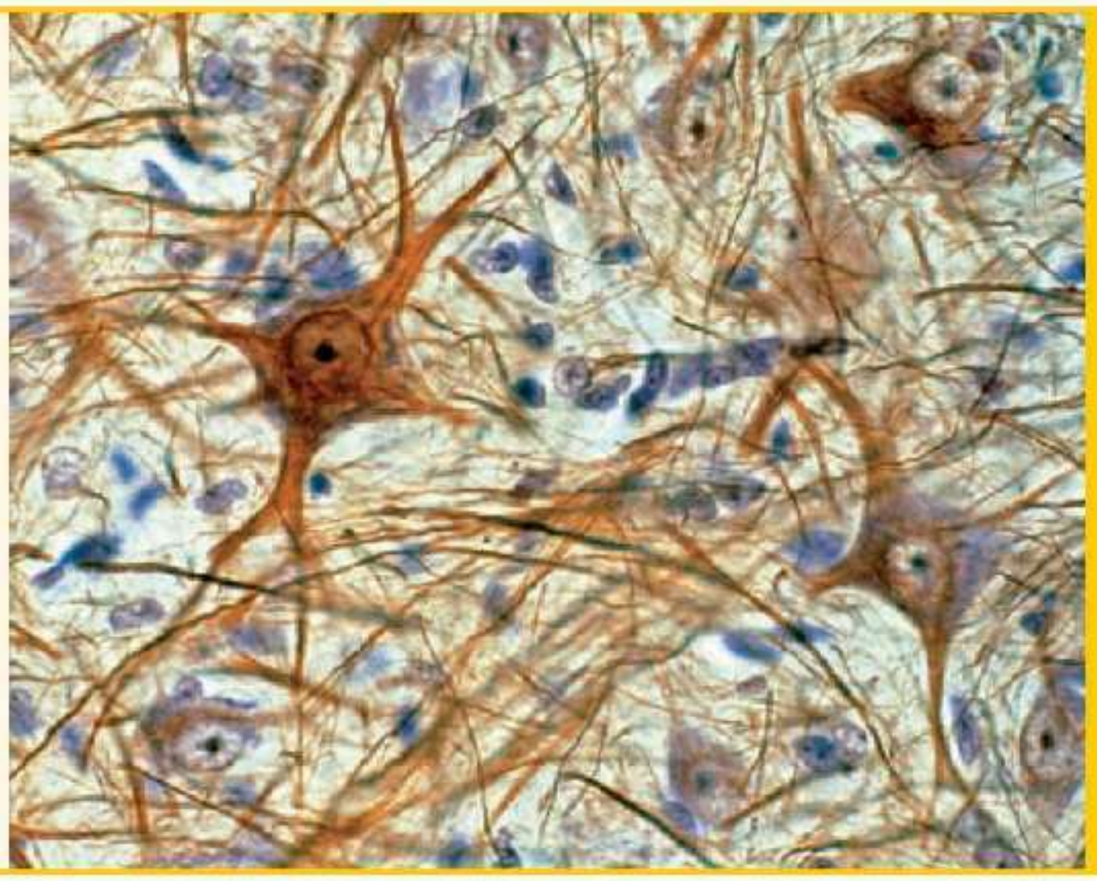
Poziomy organizacji ciała: tkanka, narząd, układ narządów

W organizmach zwierząt **tkanki** tworzą **narządy** – struktury wyspecjalizowane w pełnieniu określonych czynności. Narządy mogą być zbudowane z jednego bądź kilku typów tkanek. Na przykład mózgowie składa się tylko z tkanki nerwowej, natomiast serce jest zbudowane głównie z tkanki mięśniowej, ale jego powierzchnię oraz jamy pokrywają tkanki nabłonkowa i łączna, a pracę kontroluje tkanka nerwowa. Narządy, które współuczestniczą w określonych czynnościach życiowych zwierząt, tworzą **układy narządów**. Większość grup zwierząt tkankowych ma 11 zasadniczych układów narządów: powłokowy, szkieletowy, mięśniowy, pokarmowy, oddechowy, krwionośny, limfatyczny, wydalniczy, dokrewny, nerwowy i rozrodczy. U niektórych zwierząt pewne układy narządów nie występują. Na przykład parzydełkowce nie mają układów: oddechowego, wydalniczego czy krwionośnego. Z kolei inne zwierzęta mają układy charakterystyczne wyłącznie dla nich. Na przykład u szkarłupni występuje układ wodny, niespotykany u innych zwierząt.

Hierarchiczna budowa organizmu.

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 widoczne są wszystkie opisane w podręczniku elementy tkanek?



Tkanka nerwowa (obraz spod mikroskopu optycznego).

Obserwacja

Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij, na czym polega pobudliwość tkanek: nerwowej i mięśniowej.
2. Wymień przystosowania budowy neuronu do przewodzenia i przekazywania impulsów nerwowych.
3. Skonstruuj tabelę, w której porównasz rodzaje tkanki mięśniowej. W tabeli uwzględnij budowę tkanek, pełnione funkcje oraz miejsca występowania w organizmie człowieka.

5.6. Parzydełkowce – tkankowe zwierzęta dwuwarstwowe

Zwróć uwagę na:
- budowę i czynności życiowe parzydełkowców,
- znaczenie parzydełkowców w przyrodzie i dla człowieka.

Parzydełkowce (Cnidaria) to tkankowe zwierzęta dwuwarstwowe o promienistej symetrii ciała. Swoją nazwę zawdzięczają **komórkom parzydełkowym** – knidocystom – które służą do atakowania potencjalnych ofiar bądź obrony przed drapieżnikami. Parzydełkowce żyją we wszystkich strefach klimatycznych, wyłącznie w środowisku wodnym, głównie w morzach i oceanach. Zwierzęta te 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**.

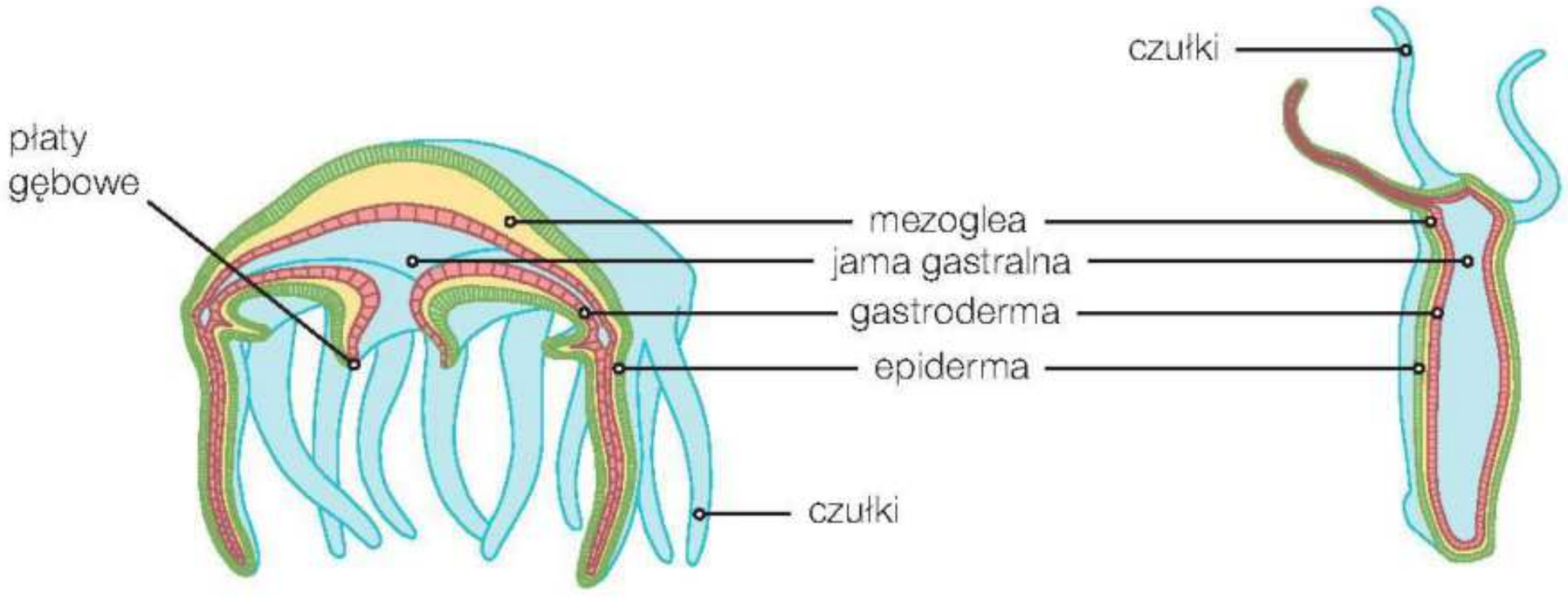
Ogólna budowa ciała parzydełkowców

Parzydełkowce są tkankowcami, a ponieważ ich tkanki wywodzą się z dwóch listków zarodkowych: ektodermy i endodermy, zalicza się je do dwuwarstwowców. Ciało tych zwierząt ma prosty plan budowy, przypominający wczesne stadium gastruli. Na jednym z jego biegunów znajduje się **otwór gębowy** otoczony **czułkami** i **płatami gębowymi**. Oprócz pobierania pokarmu służy on również do usuwania niestrawionych resztek pożywienia oraz uwalniania gamet. Otwór gębowy prowadzi do **jamy gastralnej** (jamy chłonąco-trawiącej), która jest tożsama z prajelitem gastruli. Ścianę ciała parzydełkowców budują dwie warstwy komórek: **epiderma** – okrywająca ciało od zewnątrz – oraz **gastroderma** – wyścielająca jamę gastralną. Warstwy te są rozdzielone galaretowatą substancją – **mezogleą**.

Charakterystyczną cechą parzydełkowców jest **dwupostaciowość**, czyli występowanie dorosłych osobników w dwóch formach: polipa i meduzy.

Polip jest zwykle formą osiadłą, przytwierdzoną do podłoża za pomocą stopy. Jego otwór gębowy otacza wieniec ruchliwych czułków, które ułatwiają zdobywanie pokarmu, a epidermę oddziela od gastrodermy cienka warstwa mezoglei. Polip jest najczęściej formą długowieczną – może żyć nawet kilkadziesiąt lat.

Meduza to forma wolno żyjąca. Jej otwór gębowy jest otoczony ruchliwymi płatami gębowymi, a czułki są krótkie i wyrastają z brzegów ciała. Występuje u niej gruba warstwa mezoglei. Meduza jest zwykle formą krótkotrwałą, żyje najczęściej kilka miesięcy.



Ciało meduzy ma kształt parasola, przy czym otwór gębowy znajduje się na jego dolnej stronie.

Ciało polipa ma kształt cylindra, przy czym otwór gębowy znajduje się na jego górnej stronie.

Budowa wewnętrzna parzydełkowców

Ścianę ciała parzydełkowców budują dwie warstwy komórek:

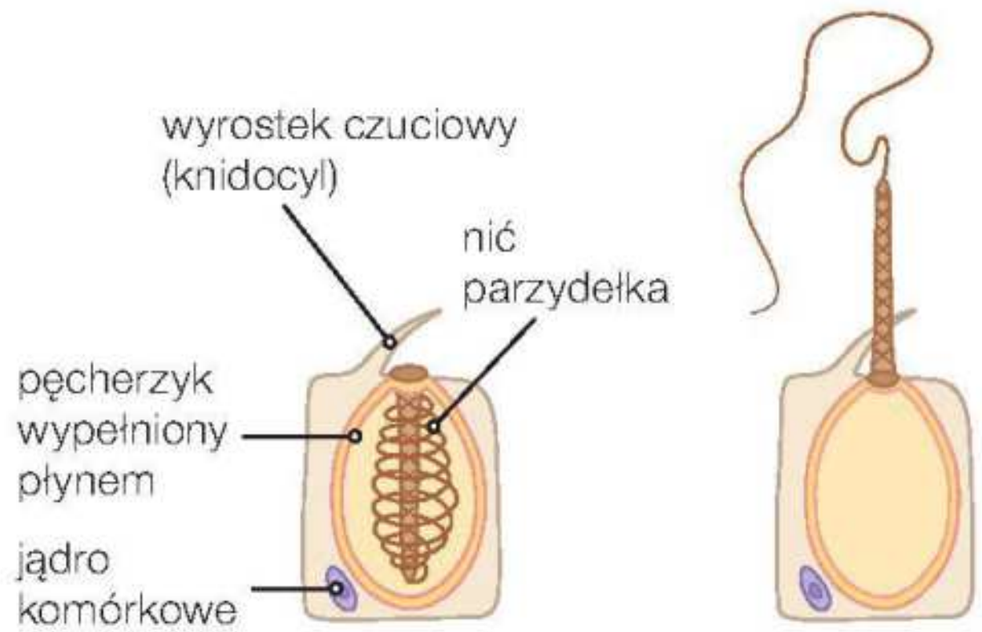
- epiderma – warstwa wywodząca się z ektodermy i okrywająca ciało od zewnątrz,
- gastroderma – warstwa wewnętrzna powstała z endodermy i wyścielająca jamę gastralną.

Warstwy te są rozdzielone galaretowatą substancją – mezogleą – która może mieć budowę bezkomórkową lub zawierać komórki (mezenchyma). Ciało wielu parzydełkowców jest wzmocnione zewnętrznym lub wewnętrznym szkieletem, zbudowanym z substancji podobnej do chityny albo z węglanu wapnia.

W skład epidermy i gastrodermy wchodzi kilka rodzajów komórek. Są to:

- komórki nabłonkowo-mięśniowe, które umożliwiają wykonywanie ruchów,
- komórki parzydełkowe, które służą do ataku i obrony,
- komórki nerwowe, które umożliwiają reagowanie na bodźce,
- komórki gruczołowe, które wydzielają enzymy trawienne do jamy gastralnej,
- komórki interstycjalne, które mają zdolność przemieszczania się i przekształcania w komórki innego typu.

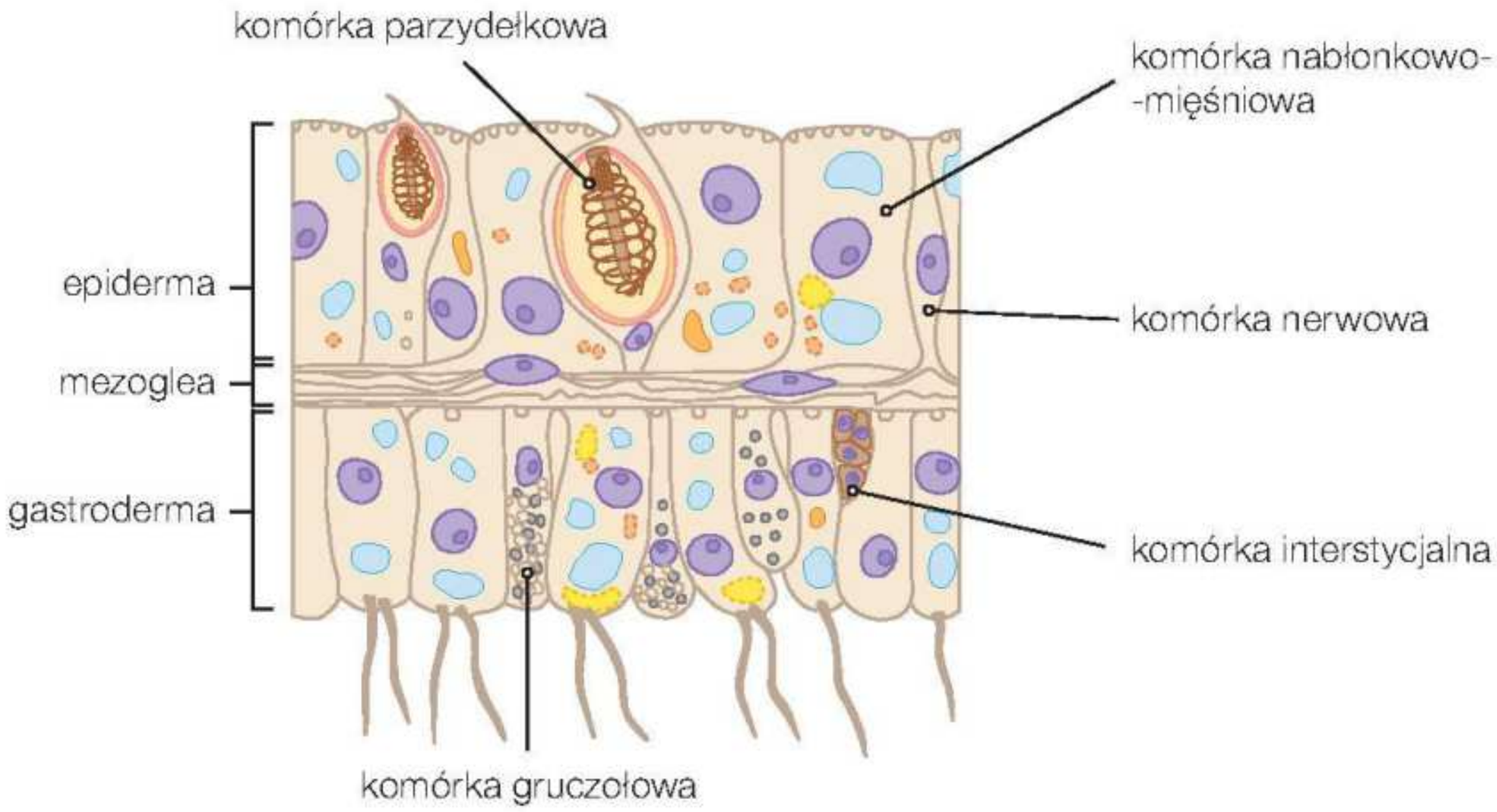
Komórkami charakterystycznymi dla parzydełkowców są komórki parzydełkowe występujące najliczniej na czułkach i płatach gębowych. Są one zbudowane z wyrostka czuciowego (knidocylu) oraz pęcherzyka, w którym znajdują się paraliżujący lub trujący płyn oraz spiralnie zwinięta nić. Podrażnienie wyrostka czuciowego powoduje wyrzucenie nici, która wbija się w ciało ofiary. Jednocześnie z pęcherzyka wypływa płyn obezwładniający ofiarę.



Budowa komórki parzydełkowej.

Ściana ciała parzydełkowców

W skład epidermy i gastrodermy wchodzi kilka rodzajów komórek. Niektóre z nich, np. komórki nabłonkowo-mięśniowe, występują w obu warstwach, inne, np. komórki parzydełkowe, znajdują się tylko w jednej z nich.



Dowiedz się więcej

Różnorodność parzydełkowców

Krążkopławy

Krążkopławy żyją wyłącznie w wodach słonych. Dominującą formą jest u nich kolista meduza, która żyje dłużej od polipa i osiąga dużo większe rozmiary.

Bełtwa festonowa (*Cyanea capillata*) zamieszkuje głównie zimne wody głębinowe. Należy do największych bezkręgowców świata: jej średnica może liczyć 2 m, a długość czułków dochodzi do 30 m.

Stułbiopławy

Zwierzęta te żyją w wodach słonych i słodkich. Osobniki dorosłe występują zarówno w postaci polipa, jak i meduzy, przy czym formą dominującą jest polip. Niektóre gatunki występują wyłącznie w postaci polipa.

Stułbia płowa (*Hydra vulgaris*) jest gatunkiem słodkowodnym. Występuje wyłącznie w postaci polipa, osiągającego ok. 1 cm wysokości.

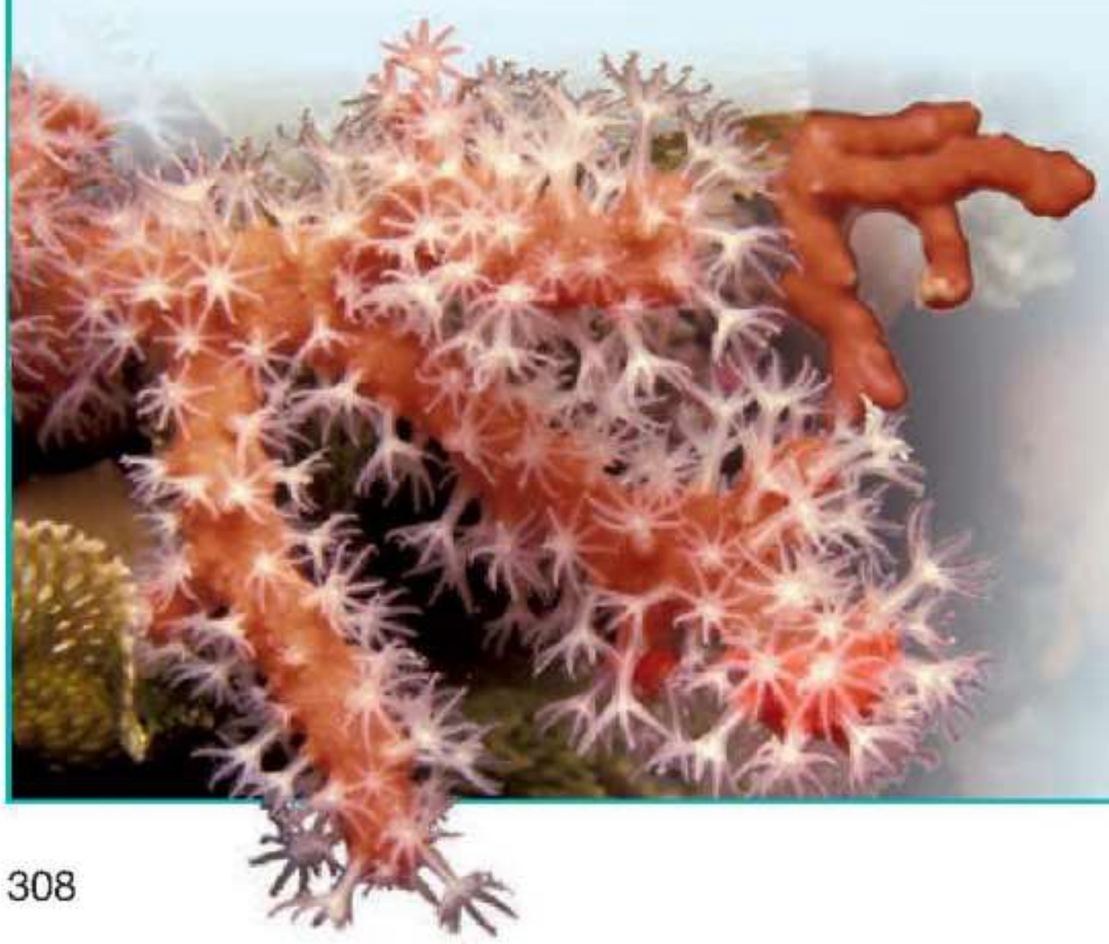
Kubopławy

Do tej grupy należą parzydełkowce żyjące w ciepłych wodach morskich. Formą dominującą jest u nich meduza, która w odróżnieniu od meduzy krążkopławów ma sześcienny kształt.

Osa morska (*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 i wyłącznie w postaci polipów. Żyją pojedynczo lub w koloniach.



Ukwiał koński (*Actinia equina*) zamieszkuje ciepłe morza o dużym zasoleniu. Podobnie jak inne ukwiały nie wytwarza szkieletu i żyje pojedynczo.

Koral szlachetny (*Corallium rubrum*) występuje przede wszystkim w wodach Morza Śródziemnego, tworząc drzewkowate kolonie osiągające ok. 30 cm wysokości. Jego osobniki są wzmocnione twardym szkieletem.

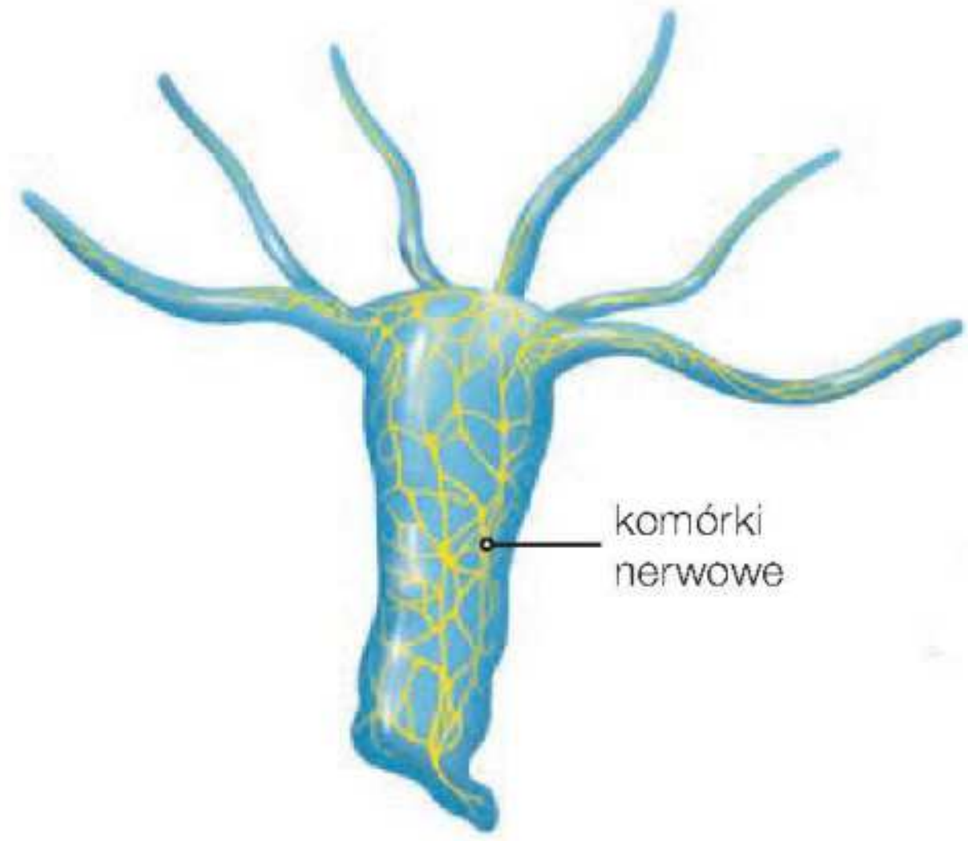
Podstawowe czynności życiowe parzydełkowców

Parzydełkowce są zwierzętami drapieżnymi. Chwytają zdobycz za pomocą płatów gębowych lub czułków, obezwładniają ją parzydełkami, a następnie wprowadzają przez otwór gębowy do jamy gastralnej. Tam zachodzi trawienie pokarmu, które obejmuje dwa etapy:

- **trawienie zewnątrzkomórkowe** przy udziale enzymów wydzielanych do jamy gastralnej przez komórki gruczołowe gastrodermy,
- **trawienie wewnątrzkomórkowe** przy udziale lizosomów znajdujących się w komórkach trawiennych gastrodermy.

Jama gastralna meduz składa się z części centralnej i odchodzących od niej w kierunku brzegów parasola kanałów promienistych. Łączą się one z kanałem okrężnym biegnącym wzdłuż krawędzi ciała. Wszystkie kanały tworzą **układ pokarmowo-naczyniowy**, który pełni funkcję trawienną i rozprowadza substancje pokarmowe w obrębie ciała meduzy. Niestrawione resztki pokarmu są usuwane na zewnątrz przez otwór gębowy. Do parzydełkowców należą także liczne **gatunki żyjące w symbiozie z fotosyntetyzującymi protistami**, od których czerpią część związków organicznych. W taki sposób odżywiają się m.in. korale madreporowe oraz niektóre stułbiopławy.

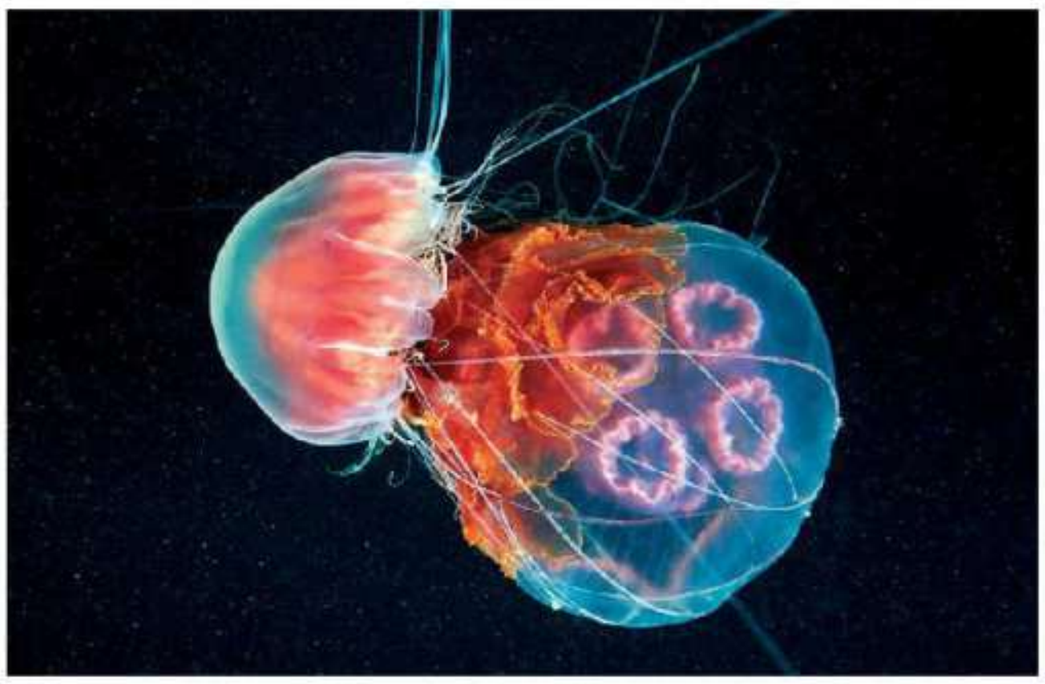
Układ nerwowy parzydełkowców jest bardzo prosty. Tworzą go gwiaździste komórki nerwowe epidermy i gastrodermy połączone ze sobą długimi wypustkami w sieć. Taki układ nerwowy nazywa się **rozproszonym** lub **siateczkowym**.



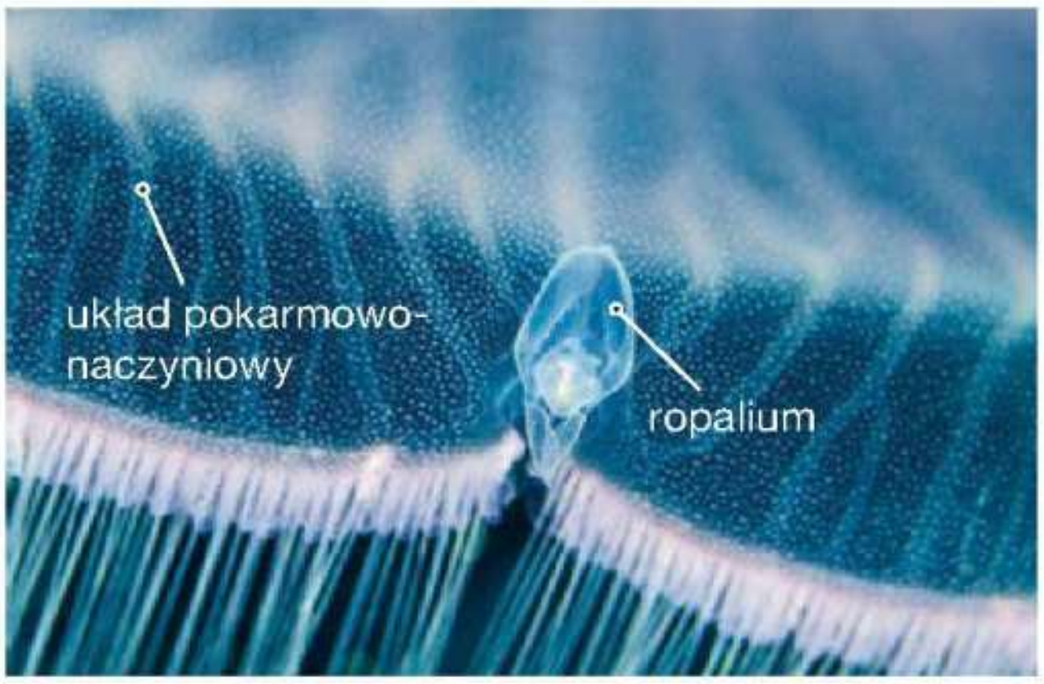
Rozproszony układ nerwowy stanowi najniższy stopień rozwoju układu nerwowego tkankowców.

Również **narządy zmysłów** są u parzydełkowców słabo wykształcone. Bodźce mechaniczne i chemiczne docierające ze środowiska są odbierane przez wyspecjalizowane komórki zmysłowe epidermy. Meduzy mają w obwodowej części parasola ciałka brzeżne, zwane ropaliami. Zawierają one narządy równowagi – statocysty, receptory chemiczne oraz skupiska komórek światłoczułych, tzw. oczka.

Parzydełkowce nie mają układów: oddechowego, wydalniczego i krwionośnego. Wymiana gazowa, wydalanie i osmoregulacja odbywają się u nich całą powierzchnią ciała.



Parzydełkowce, które nie wykształcają szkieletu, mogą się żywić zwierzętami niewiele mniejszymi od siebie. Po pochłonięciu ofiary przechodzą one w stan spoczynku i powoli trawią zdobycz.

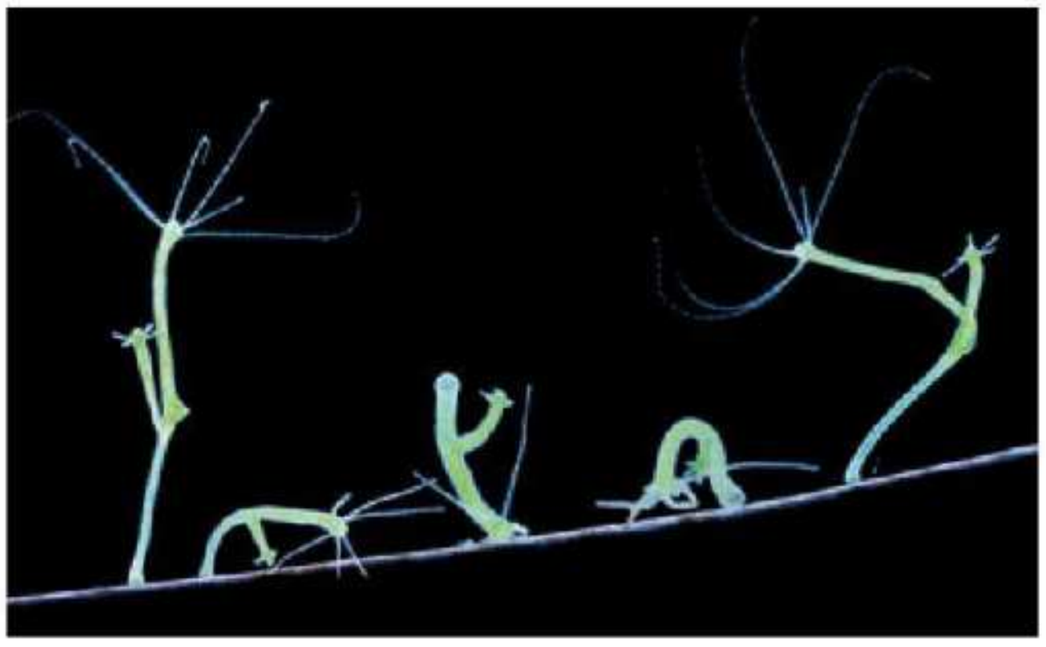


W ropaliach znajdują się statocysty. Są to wyścielane komórkami zmysłowymi pęcherzyki, które zawierają mineralny statolit. Ruch statolitu pobudza komórki zmysłowe, informując o zmianie położenia ciała.

Wykonywanie ruchów umożliwiają parzydełkowcom **komórki nabłonkowo-mięśniowe** epidermy i gastrodermy. Jedynie stadia larwalne – planule – poruszają się za pomocą licznych, krótkich **rzęsek**. Meduzy przemieszczają się **ruchem odrzutowym**, wyrzucając wodę spod parasola dzięki rytmicznym skurczom całego ciała.

Gwałtowny skurcz ciała meduzy powoduje wyrzucenie wody i ruch zwierzęcia na zasadzie odrzutu.

Polipy przez większą część życia są przytwierdzone do podłoża, ale mogą okresowo zmieniać miejsce pobytu. Poruszają się, pełzając lub koziołkując po podłożu. Podczas koziołkowania najpierw wyginają się i dotykają podłoża ramionami, następnie odrywają stopę od podłoża i po wykonaniu koziołka z powrotem ją przyczepiają.



Polip może przemieszczać się, koziołkując. Zwierzę opiera się wówczas o podłoże raz stopą, raz czułkami.

Rozmnażanie się parzydełkowców

Parzydełkowce rozmnażają się bezpłciowo i płciowo. **Rozmnażanie bezpłciowe** występuje głównie u polipów i odbywa się najczęściej przez **pączkowanie** lub **strobilizację**. Podczas pączkowania młody osobnik rozwija się ze ściany ciała osobnika dorosłego. Niekiedy nowe, powstałe w wyniku pączkowania polipy nie oddzielają się od osobnika macierzystego, co prowadzi do powstania kolonii. Strobilizacja polega na poprzecznym podziale ciała polipa na liczne krążki, które stopniowo odrywają się i przekształcają w młodociane stadia meduz, zwane **efyrami**. W ciągu kilku tygodni przeobrażają się one w postać dorosłą.

U niektórych, rzadkich gatunków parzydełkowców rozmnażanie bezpłciowe ma postać **partenogenezy** (dzieworództwa), czyli rozwoju osobników potomnych z niezapłodnionych komórek jajowych.

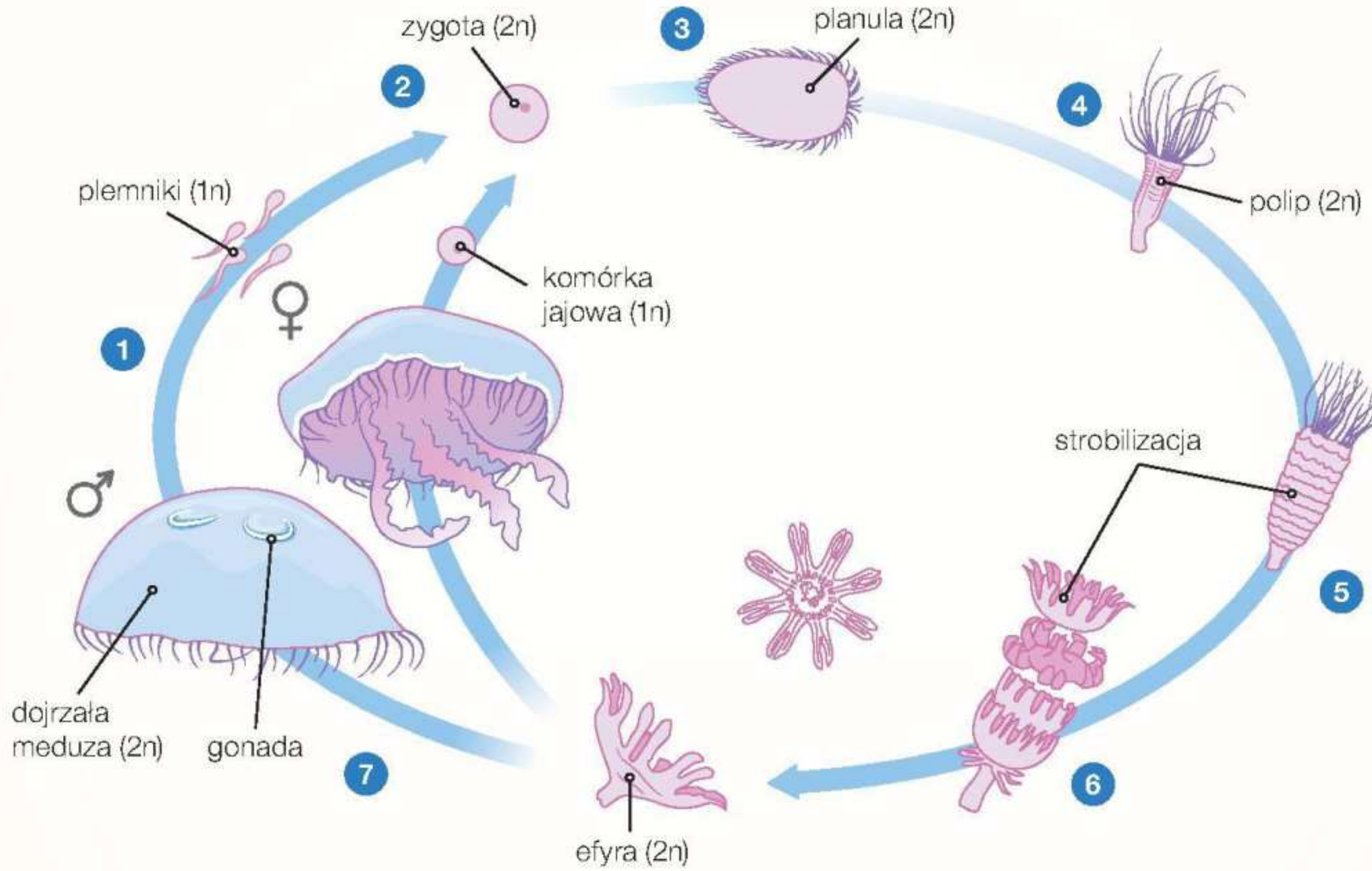
Uwaga! Wielu naukowców traktuje partenogenezę jako rodzaj rozmnażania płciowego, ponieważ odbywa się ona z udziałem gamety.

Rozmnażanie płciowe występuje najczęściej u meduz. Parzydełkowce są z reguły rozdzielnopłciowe, rzadko spotyka się gatunki obojnacze. U meduz gamety powstają z komórek interstycjalnych znajdujących się w gonadach. U korali i niektórych stułbi gamety są wytwarzane przez polipy. W zależności od gatunku **zapłodnienie** może być **zewnętrzne** – odbywa się wodzie – lub **wewnętrzne** – odbywa się wewnątrz ciała osobnika rodzicielskiego. Dominującą formą rozrodu jest jajorodność, choć spotyka się również jajożyworodność i żyworodność.

Większość gatunków parzydełkowców charakteryzuje się **przemianą pokoleń**. Polega ona na następowaniu po sobie rozmnażających się płciowo meduz i rozmnażających się bezpłciowo polipów. W odróżnieniu od przemiany pokoleń występującej u roślin oba pokolenia parzydłkowców są diploidalne. Z tego powodu przemianę pokoleń u parzydełkowców określa się mianem **metagenezy**.

Przemiana pokoleń u parzydełkowców

U wielu parzydełkowców zachodzi przemiana pokoleń polegająca na następowaniu po sobie rozmnażających się płciowo meduz i rozmnażających się bezpłciowo polipów. Występuje ona m.in. w cyklu rozwojowym chełbi modrej (*Aurelia aurita*).



1. Dojrzałe meduzy wytwarzają gamety, które są wyrzucane do wody przez otwór gębowy.
2. Gamety łączą się ze sobą – dochodzi do zapłodnienia. Ma ono charakter zewnętrzny, ponieważ odbywa się poza ciałem osobnika rodzicielskiego.
3. Z zygoty rozwija się swobodnie pływająca, urzęsiona larwa – planula.
4. Po kilku dniach planula opada na dno i przekształca się w polipa.
5. Gdy polip osiągnie odpowiednią wielkość, zaczyna rozmnażać się bezpłciowo przez strobilizację.
6. Od polipa odrywają się efyry – młode meduzy.
7. Po kilku miesiącach efyry dojrzewają i przekształcają się w dorosłe meduzy.

Przemiana pokoleń u kubopławów

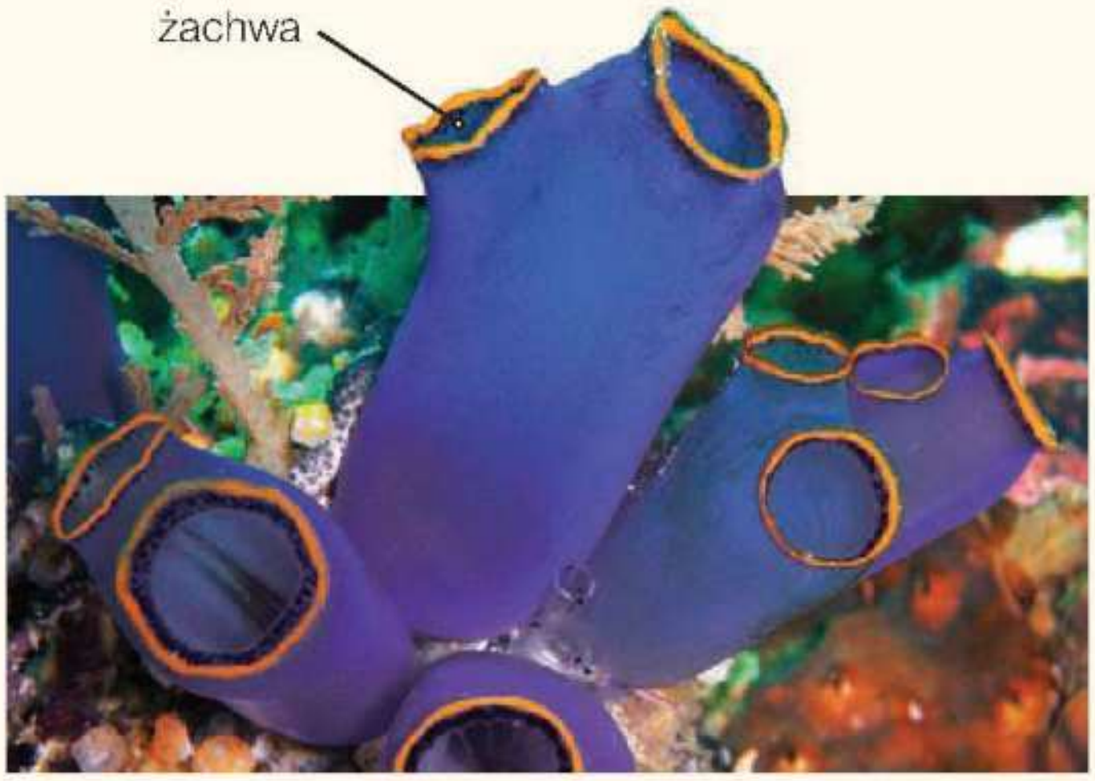
U kubopławów metageneza zachodzi nieco inaczej niż u większości parzydełkowców. W meduzę przekształca się u nich cały polip – tym samym z jednego polipa powstaje jedna meduza.

Stadium larwalne kubopława.

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, tam, gdzie temperatura wody nie spada poniżej 20°C, a zasolenie jest odpowiednio wysokie. Korale madreporowe żyją w olbrzymich koloniach, tworząc rafy koralowe – jedne z najbogatszych ekosystemów świata. W sprzyjających warunkach kolonie te przyrastają nawet o kilkadziesiąt centymetrów rocznie. 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. żachw (Ascidiacea).

Koralowcami żywią się m.in. żółwie morskie, niektóre ryby i szkarłupnie. Szczególnie niebezpieczne są rozgwiazdy z gatunku *Acanthaster planci*, których masowe pojawy niszczą duże obszary raf koralowych, zagrażając ich biocenozom.

Kolonie koralowców są schronieniem wielu zwierząt wodnych, np. pigmejskiego pławikonika morskiego (*Hippocampus bargibanti*). Ryba ta przypomina wyglądem fragment kolonii.

Nietypowa obrona

Niektóre zwierzęta, np. ślimak *Glaucus atlanticus*, po spożyciu parzydełkowców wbudowują zjedzone parzydełka we własny organizm i używają ich do obrony.

Medycyna i biologia molekularna

Z meduzy *Aequorea victoria* izoluje się białko GFP, które po naświetleniu światłem o odpowiedniej długości fali wykazuje zieloną fluorescencję. Białko to stosuje się m.in. w badaniach ekspresji genów oraz lokalizacji i transportu białek w komórce.

Materiał jubilerski

Koral szlachetny, którego szkielet ma barwę różową, czerwoną lub białą, jest cenionym przez jubilerów materiałem do wyrobu ozdób, m.in. biżuterii.

Zagrożenie dla zdrowia człowieka

Wiele gatunków parzydełkowców może stanowić zagrożenie dla zdrowia, a nawet życia człowieka. Szczególnie niebezpieczne są kubopławy, które wytwarzają bardzo silny jad.

Polecenia kontrolne

1. Scharakteryzuj ogólną budowę polipa i meduzy.
2. Opisz rodzaje komórek występujących w ciele parzydełkowców.
3. Wymień różnice w budowie epidermy i gastrodermy parzydełkowców.
4. Opisz sposoby poruszania się parzydełkowców.
5. Przedstaw cykl rozwojowy chełbi modrej. Określ, które stadium rozmnaża się płciowo, a które bezpłciowo.

5.7. Płazińce – zwierzęta spłaszczone grzbieto-brzusznie

Zwróć uwagę na:
- budowę i czynności życiowe płazińców,
- cykle rozwojowe płazińców,
- znaczenie płazińców w przyrodzie i dla człowieka.

Płazińce (Platyhelminthes) to zwierzęta o wydłużonym, spłaszczonym grzbieto-brzusznie ciele, które przybiera najczęściej kształt liścia lub taśmy. Ze względu na te cechy nazywa się je również robakami płaskimi. Do płazińców należą m.in. **wirkokształtne**, zasiedlające głównie środowiska wodne, oraz **przywry** i **tasiemce**, które pasożytują na zwierzętach.

Ogólna budowa ciała płazińców

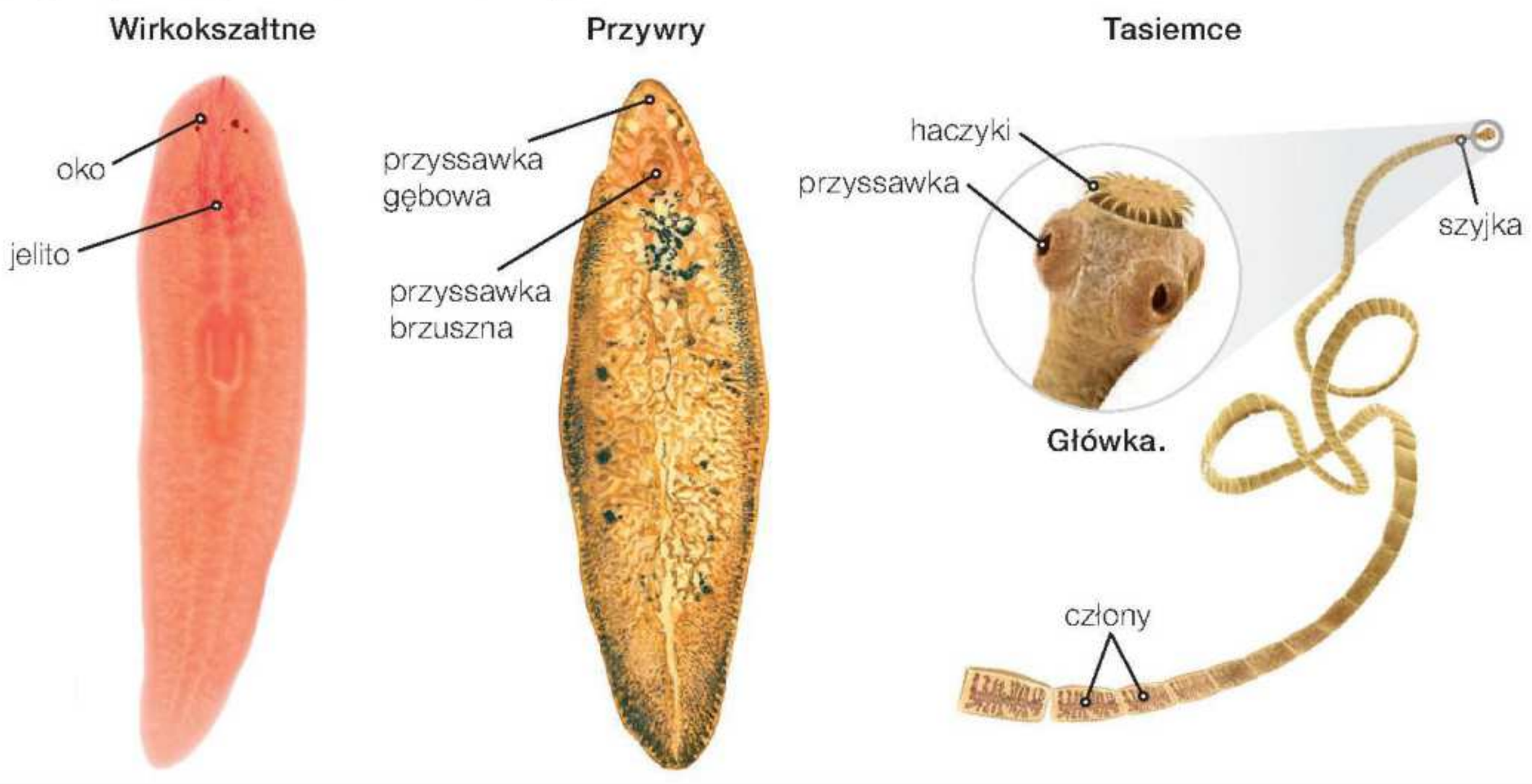
Płazińce należą do **zwierząt trójwarstwowych** – w ich rozwoju pojawia się mezoderma. Nową cechą w porównaniu z parzydełkowcami jest również wykształcenie narządów i ich układów. W związku z pojawieniem się symetrii dwubocznej w ciele płazińców wyróżnia się strony prawą i lewą, przednią i tylną oraz grzbietową i brzuszną. Zwierzęta te nie mają celomy, a pierwotną jamę ciała wypełnia **parenchyma**. Ta wywodząca się z mezodermy tkanka składa się z różnokształtnych komórek, które m.in. rozprowadzają substancje odżywcze do innych tkanek. W parenchymie występują mięśnie grzbietobrzuszne, które powodują spłaszczenie ciała płazińców.

Pokrycie ciała płazińców

Ścianę ciała płazińców stanowi **wór powłokowo-mięśniowy** zbudowany z jednowarstwowego nabłonka i kilku warstw mięśni pozwalających na wykonywanie skomplikowanych ruchów. U wirkokształtnych – zwierząt

Budowa ciała płazińców

Płazińce są zróżnicowane pod względem budowy ciała. Wirkokształtne i przywry mają ciało nieczłonowane, natomiast ciało tasiemców (strobila) składa się z licznych członów (proglotydów), główki (skoleksu) i szyjki.



wolno żyjących – komórki nabłonka wytwarzają rzęski, które wspólnie z mięśniami umożliwiają ruch lokomotoryczny. Tkanka ta zawiera również gruczoły śluzowe oraz **rabdity** – struktury w kształcie pręcików. Śluz chroni ciało przed urazami, u gatunków wodnych ułatwia poruszanie się, a u gatunków lądowych – wspomaga wymianę gazową i zabezpiecza przed wysychaniem. Z kolei rabdity pełnią funkcje obronne i ułatwiają zdobywanie pokarmu. Mogą być wyrzucane na zewnątrz ciała w razie jego podrażnienia. Pod warstwą nabłonka wirkokształtnych znajdują się mięśnie okrężne, skośne i podłużne. U **płazińców pasożytniczych** komórki nabłonka zlewają się ze sobą, tworząc **syncytium**. Zewnętrzna powierzchnia błon komórkowych komórek nabłonka jest pokryta **glikokaliksem**, który chroni ciało pasożytów przed enzymami trawiennymi gospodarza oraz przed uszkodzeniami mechanicznymi. U tasiemców nabłonek wytwarza **mikrokosmki**, które zwiększają jego powierzchnię chłonną. Pod warstwą nabłonka tasiemców znajdują się tylko mięśnie okrężne i podłużne.

Układ pokarmowy płazińców

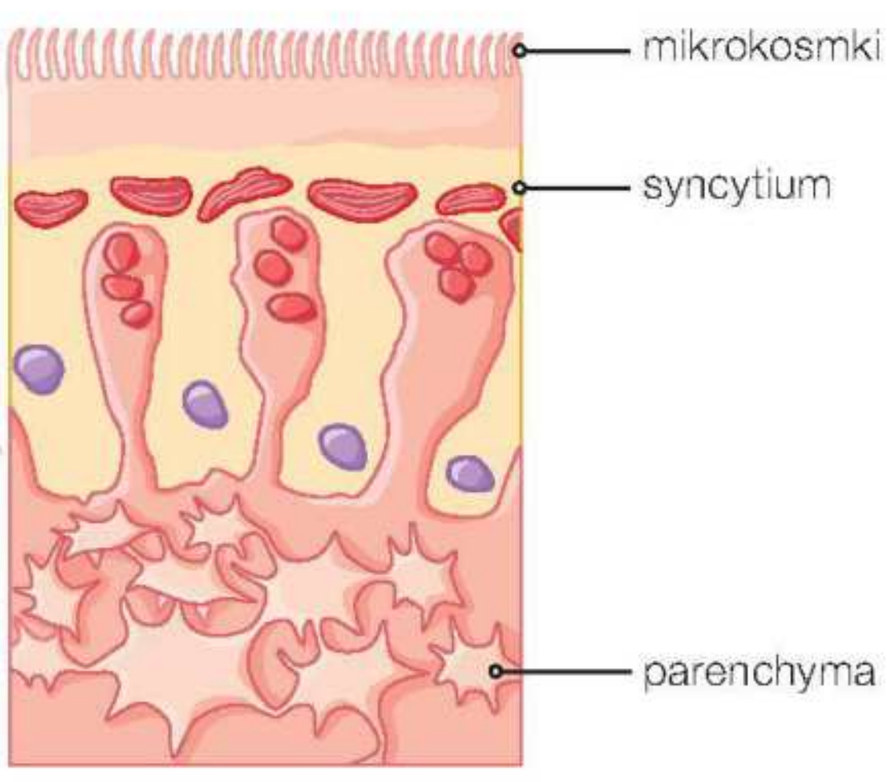
Większość płazińców to pasożyty zwierząt. Gatunki wolno żyjące są zwykle drapieżnikami. Układ pokarmowy płazińców rozpoczyna się **otworem gębowym**, który prowadzi do **jelita przedniego**. Jego pierwszym odcinkiem jest **gardziel** służąca do zdobywania pokarmu. Za jelitem przednim znajduje się **jelito środkowe**, w którym zachodzi trawienie. Jelito środkowe jest silnie rozgałęzione, co pozwala na rozprowadzanie substancji pokarmowych po całym ciele. Płazińce nie mają jelita tylnego i otworu odbytowego. Niestrawione resztki pokarmu są usuwane na zewnątrz ciała przez otwór gębowy. W związku z tym następna porcja pożywienia może być pobrana dopiero po strawieniu poprzedniej. Niektóre płazińce pasożytnicze, m.in. tasiemce, nie mają układu pokarmowego. Zanurzone w treści pokarmowej jelit gospodarza wchłaniają cząsteczki substancji pokarmowych całą powierzchnią ciała.

Oddychanie płazińców

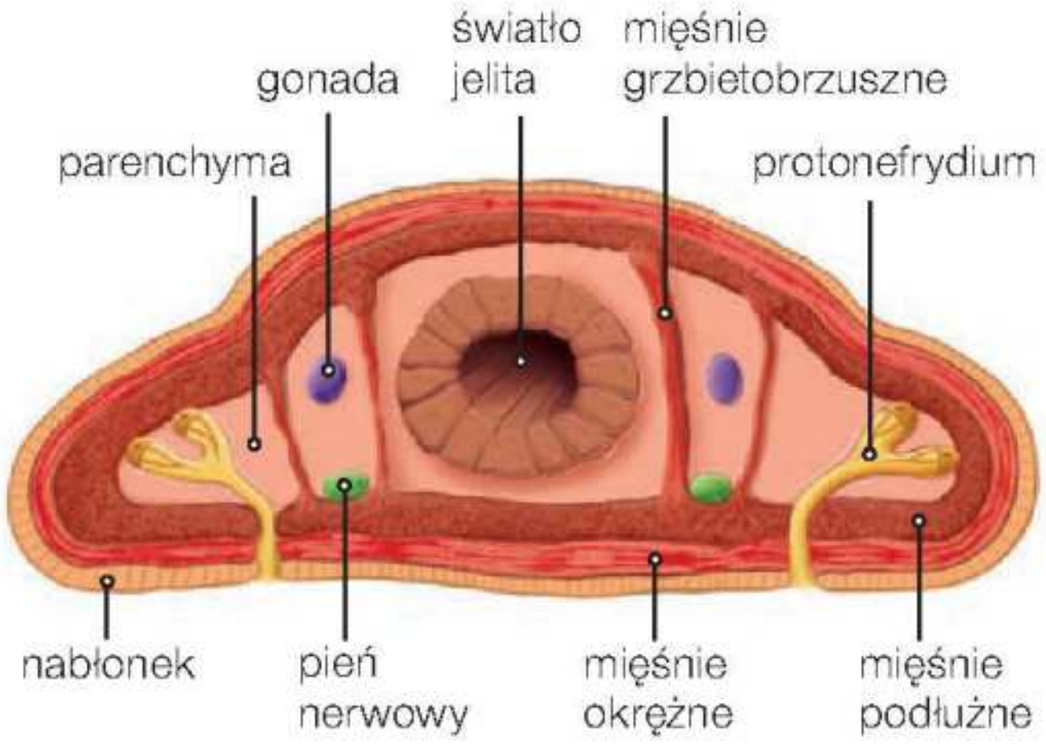
U płazińców **nie występuje układ oddechowy**. Pasożyty wewnętrzne, m.in. tasiemce, uzyskują energię dzięki **fermentacji**. Mimo małej wydajności energetycznej fermentacja całkowicie zaspokaja potrzeby energetyczne tych zwierząt ze względu na ich niewielką aktywność ruchową. U płazińców wolno żyjących występuje **oddychanie tlenowe**. Jednak korzystny stosunek powierzchni ciała do jego objętości sprawia, że wymiana gazowa może zachodzić u nich całą powierzchnią ciała, bez udziału wyspecjalizowanych narządów.

Transport substancji u płazińców

Płazińce **nie mają układu krwionośnego**. Transport substancji w obrębie ciała odbywa się za pośrednictwem płynu, w którym są zanurzone komórki parenchymy, oraz (u niektórych gatunków) silnie rozgałęzionego jelita.



Powłoka ciała tasiemców.



Przekrój poprzeczny przez ciało płazińca.

Układ nerwowy płazińców

Płazińce mają układ nerwowy **typu pasmowego**. U większości gatunków składa się on z dwóch **zwojów nerwowych** umieszczonych w przedniej części ciała i odchodzących od nich podłużnych **pni nerwowych**, połączonych zwykle **spoidłami poprzecznymi**. W porównaniu z płazińcami wolno żyjącymi gatunki pasożytnicze mają mniej pni nerwowych i słabiej rozwiniętą sieć połączeń między nimi.

Od trybu życia zależy również stopień rozwoju narządów zmysłów. Wolno żyjące, zwykle drapieżne wirkokształtne mają dobrze wykształcone **narządy zmysłów**. Należą do nich: fotoreceptory w postaci oczu, chemoreceptory w postaci jamek rzęskowych, włoski czuciowe odbierające bodźce mechaniczne oraz statocysty, czyli narządy równowagi.

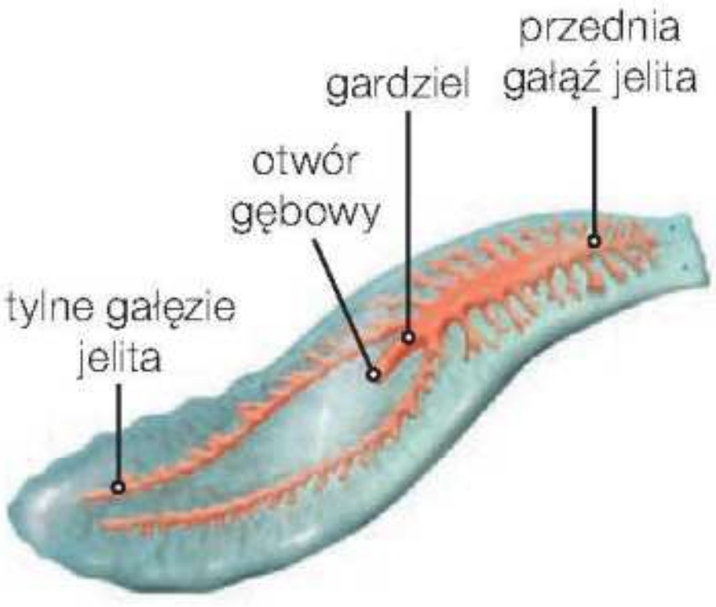
U płazińców pasożytniczych narządy zmysłów są słabo rozwinięte. Jest to związane z funkcjonowaniem pasożytów wewnętrznych tylko w jednym miejscu.

Układ wydalniczy płazińców

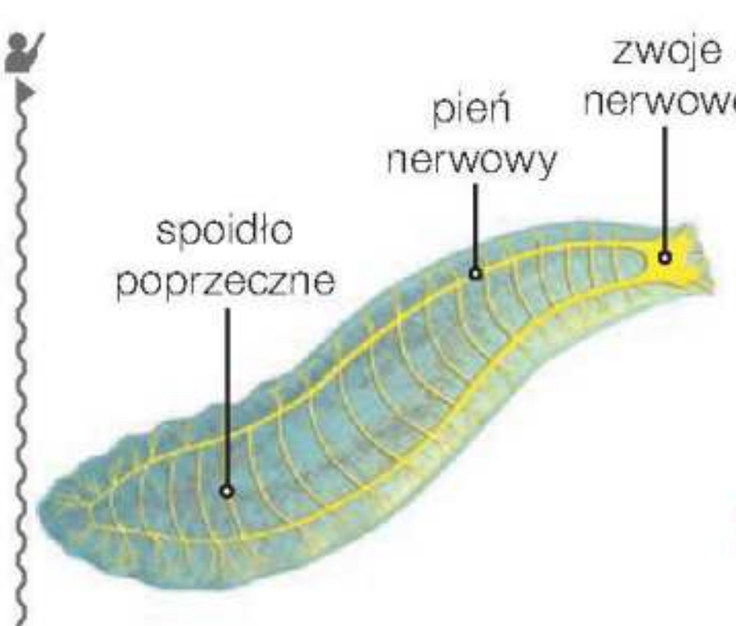
Płazińce mają układ wydalniczy **typu protonefrydialnego**. Składa się on z systemu biegnących wzdłuż ciała, rozgałęzionych **kanałów**, które z jednej strony otwierają się na zewnątrz **otworami wydalniczymi**, a z drugiej strony są zakończone **komórkami płomykowymi**. Od każdej z tych komórek do światła kanalika wydalniczego odchodzi pęczek stale poruszających się wici, ułożonych w kształt płomienia. Komórki płomykowe odprowadzają z parenchymy nadmiar wody i produkty przemiany materii, a ruch wici powoduje przemieszczanie się tych związków w kierunku otworów wydalniczych. Układ wydalniczy służy głównie do regulacji ciśnienia osmotycznego, dlatego jest dobrze rozwinięty u płazińców słodkowodnych, które muszą stale usuwać nadmiar wody napływającej osmotycznie do wnętrza ich ciała. Z kolei płazińce pasożytnicze żyją w środowisku izotonicznym, dlatego nie potrzebują skomplikowanych mechanizmów osmoregulacji.

Budowa wewnętrzna wypławka

Najlepiej poznanym gatunkiem płazińca jest wypławek biały (*Dendrocoelum lacteum*), który należy do wirkokształtnych.



W układzie pokarmowym po stronie brzusznej znajduje się otwór gębowy, za którym jest usytuowana umięśniona gardziel. Może być ona wysuwana na zewnątrz ciała i służyć do chwytania pokarmu.



W układzie nerwowym można wyróżnić część ośrodkową i obwodową. Część ośrodkowa składa się ze zwojów nerwowych, a część obwodowa z pni nerwowych i spoideł poprzecznych.

Układ wydalniczy tworzą komórki płomykowe wyposażone w wici. Ruch wici popycha wydalane substancje do kanałów zbiorczych, które uchodzą na zewnątrz najczęściej pojedynczym otworem.

Rozmnażanie się i rozwój płazińców

Płazińce rozmnażają się głównie **płciowo**. Zwierzęta te są na ogół **obojnakami** (hermafrodytami), co oznacza, że zawierają zarówno żeński, jak i męski układ rozrodczy. W skład tych układów wchodzą: jajniki, jądra, kanały wyprowadzające i liczne gruczoły dodatkowe. Charakterystycznym elementem układu rozrodczego przywr i tasiemców są żółtniki – narządy wytwarzające substancje odżywcze dla zapłodnionych jaj, które są ubogie w żółtko.

Zapłodnienie płazińców jest **wewnętrzne**. U gatunków obojnaczych może dochodzić do **samozapłodnienia**, jeśli komórki jajowe i plemniki pochodzą od tego samego osobnika lub członu (tasiemce), albo do **zapłodnienia krzyżowego** – jeśli pochodzą od różnych osobników lub członów.

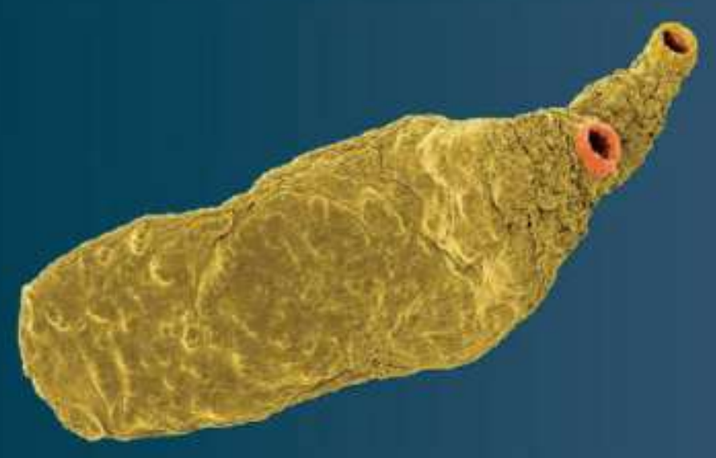
Rozmnażanie bezpłciowe polega zazwyczaj na **poprzecznym podziale** ciała na części, z których każda regeneruje się i rozwija w osobniki dorosłe. U niektórych gatunków występuje **partenogeneza**. Rozwój płazińców należących do poszczególnych grup systematycznych jest zróżnicowany. Wirkokształtne cechuje na ogół **rozwój prosty**. Z jaj złożonych bezpośrednio do wody lub przyczepionych do roślin rozwijają się młode osobniki, podobne do postaci dorosłych. Przywry i tasiemce cechuje skomplikowany **rozwój złożony**, w którym występuje zwykle więcej niż jeden rodzaj **larw**. Podobnie jak osobniki dorosłe prowadzą one pasożytniczy tryb życia. Rozwój przywr i tasiemców jest często połączony ze zmianą żywiciela. Organizm, w którym przebywa postać larwalna pasożyta (nierozmnażająca się płciowo), nazywa się **żywicielem pośrednim**, a organizm, w którym znajduje się postać dorosła (rozmnażająca się płciowo) – **żywicielem ostatecznym**.

Konsekwencją skomplikowanego rozwoju złożonego płazińców pasożytniczych jest ich bardzo wysoka śmiertelność. Najwięcej osobników ginie w środowisku zewnętrznym, w okresach oczekiwania na właściwego żywiciela. Żeby zrekompensować straty spowodowane wysoką śmiertelnością 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 jednego żywiciela do nawiązania bezpośredniego kontaktu z następnym żywicielem.



Motyliczka (obraz spod SEM).

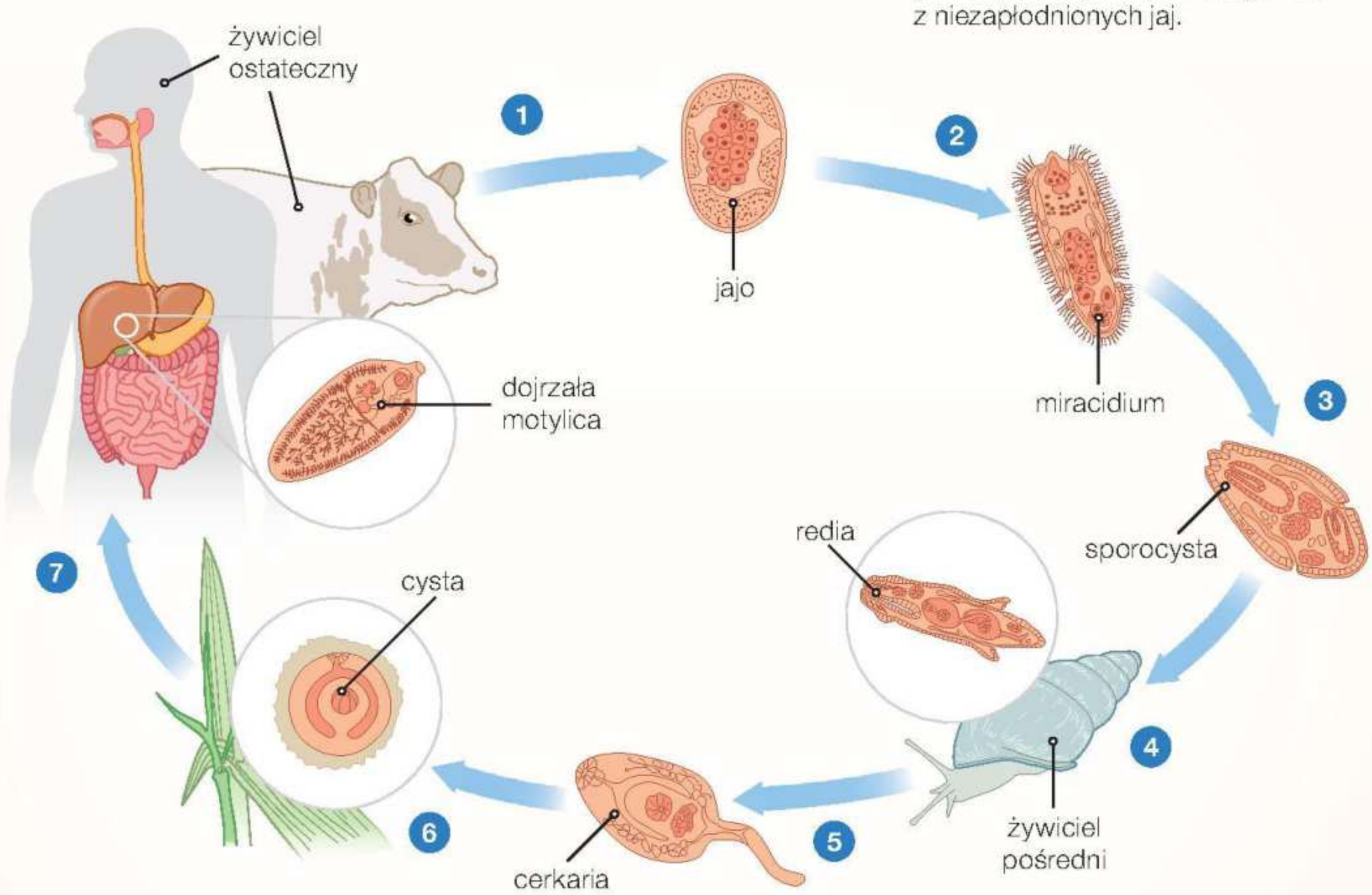
Jeden z gatunków przywr – motyliczka (*Dicrocoelium dendriticum*) – wykorzystuje w cyklu rozwojowym trzech żywicieli: lądowego ślimaka, mrówkę oraz owcę. Larwy tej przywry wydostają się na zewnątrz ciała ślimaka ze śluzem i są zjadane przez mrówki. W organizmie mrówki jedna z larw wędruje do mózgu i 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).

Cykl rozwojowy motylicy wątrobowej

W rozwoju większości przywr występuje kilka postaci larw, dochodzi też do zmiany żywiciela. W przypadku motylicy wątrobowej (*Fasciola hepatica*) żywicielem pośrednim jest ślimak – błotniarka moczarowa, a żywicielem ostatecznym – bydło domowe, owce lub człowiek. Motylica wątrobowa jest gatunkiem obojnaczym, dlatego jej rozmnażanie płciowe zachodzi nawet wtedy, gdy w organizmie żywiciela ostatecznego znajduje się tylko jeden osobnik. Do zarażenia człowieka dochodzi wskutek spożywania surowych, nieumytych roślin zanieczyszczonych larwami pasożyta.

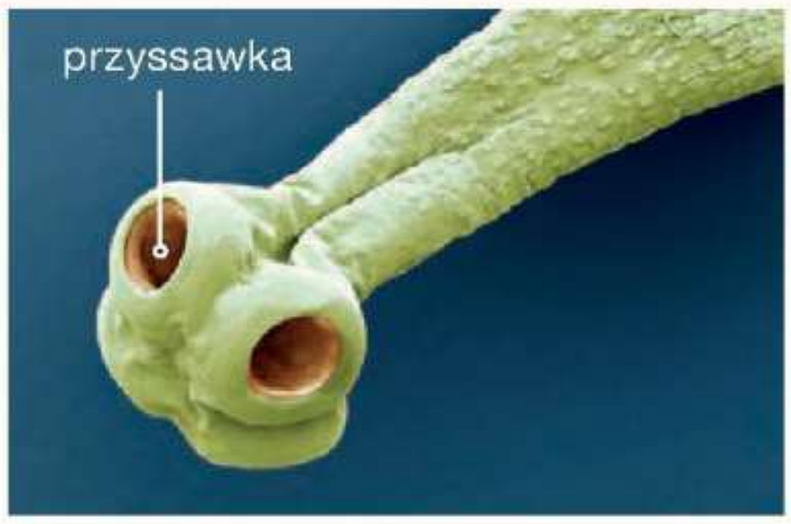
Cerkaria (obraz spod SEM) – jedno z pokoleń larwalnych motylicy, które powstaje w wyniku partenogenezy z niezapłodnionych jaj.



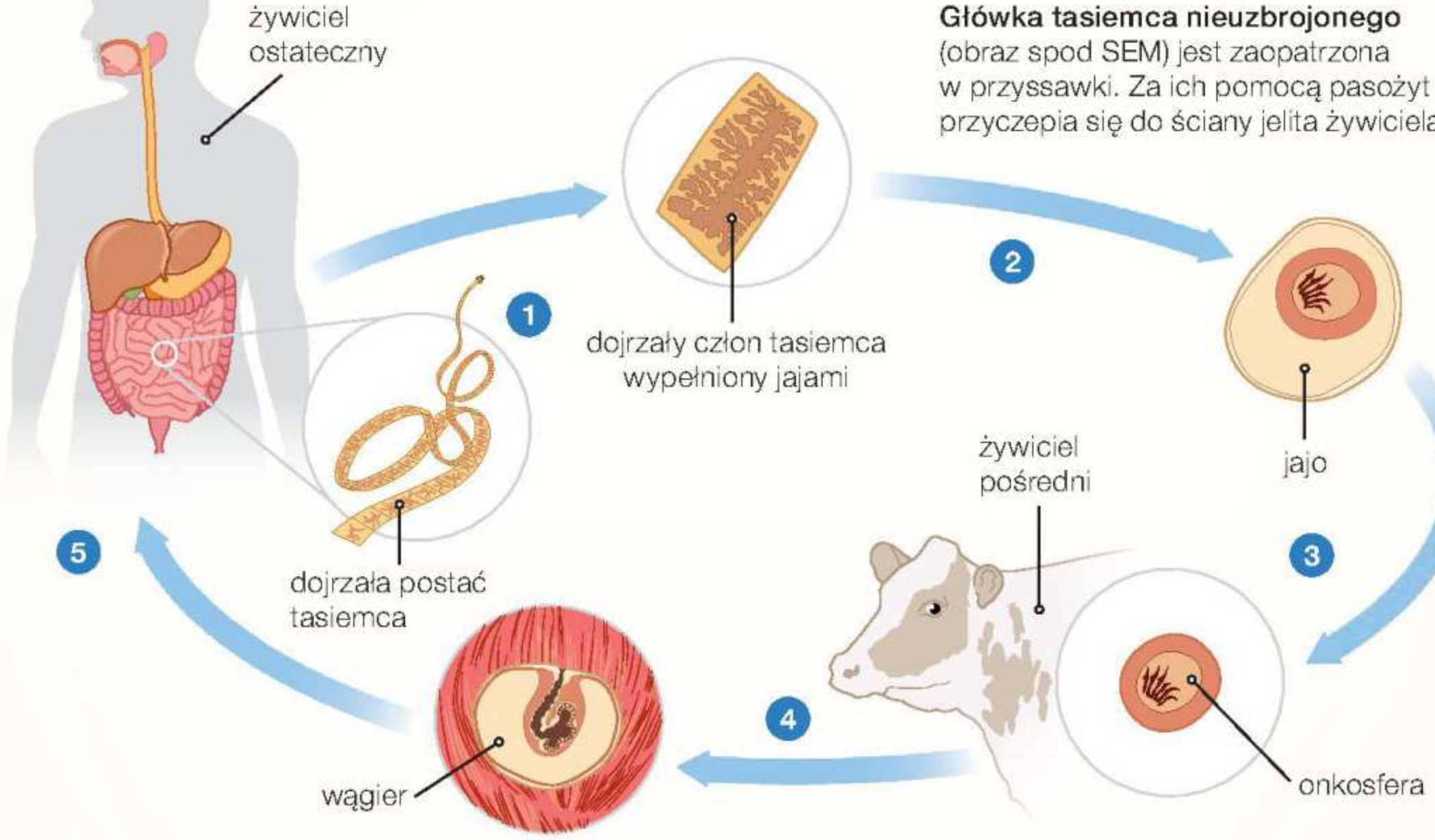
1. Dojrzała motylica składa jaja, które są usuwane na zewnątrz z kałem żywiciela ostatecznego.
2. Jaja do rozwoju potrzebują wody. Wylęga się z nich orzęsiona, ruchliwa larwa – miracidium (dziwadełko).
3. Miracidium wnika do ciała żywiciela pośredniego (błotniarki moczarowej) i osiada w wątrobie. Tu 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 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 i przekształcają się w cysty.
7. Cysty trafiają do organizmu żywiciela ostatecznego wraz ze zjedzonymi przez niego roślinami. W żywicielu ostatecznym młoda motylica wydostaje się z cysty i wędruje do wątroby.

Cykl rozwojowy tasiemca nieuzbrojonego

W rozwoju tasiemca nieuzbrojonego (*Taenia saginata*) występuje jeden żywiciel pośredni, najczęściej bydło domowe. Żywicielem ostatecznym jest człowiek. Do zarażenia człowieka dochodzi wskutek spożywania surowego lub niedogotowanego mięsa wołowego, które zawiera wągry – postacie larwalne tasiemca.



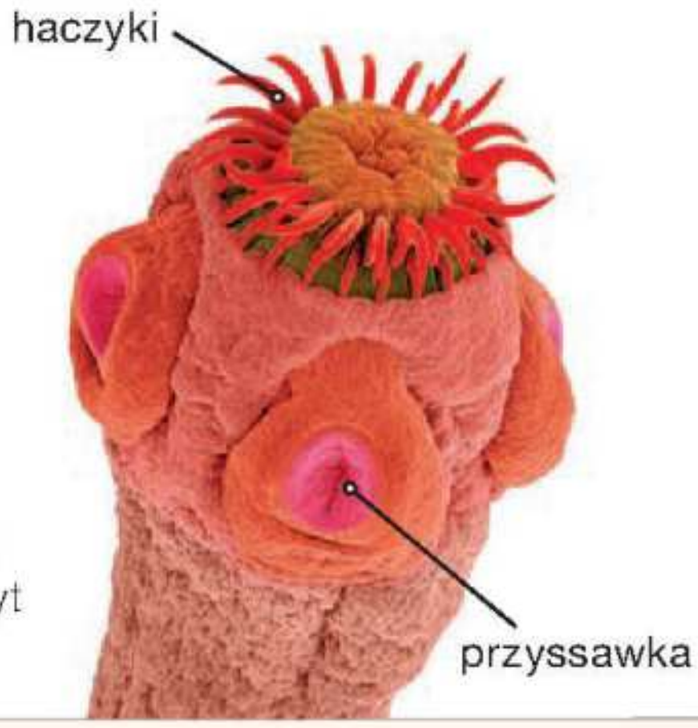
Główka tasiemca nieuzbrojonego (obraz spod SEM) jest zaopatrzona w przyssawki. Za ich pomocą pasożyt przyczepia się do ściany jelita żywiciela.



1. Dojrzała postać tasiemca występuje w jelicie cienkim człowieka – żywiciela ostatecznego.
2. Jaja trafiają do środowiska 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.

Tasiemiec uzbrojony

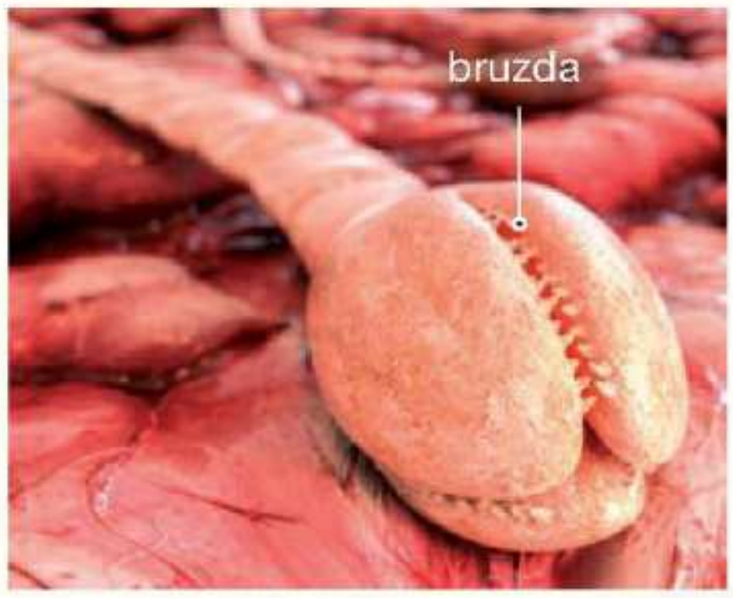
Cykl rozwojowy tasiemca uzbrojonego (*Taenia solium*) jest bardzo podobny do cyklu tasiemca nieuzbrojonego. Żywicielem pośrednim tego pasożyta jest świnia, natomiast żywicielem ostatecznym – człowiek. Do zarażenia człowieka dochodzi wskutek spożywania surowego lub niedogotowanego mięsa wieprzowego, które zawiera wągry – postacie larwalne tasiemca.



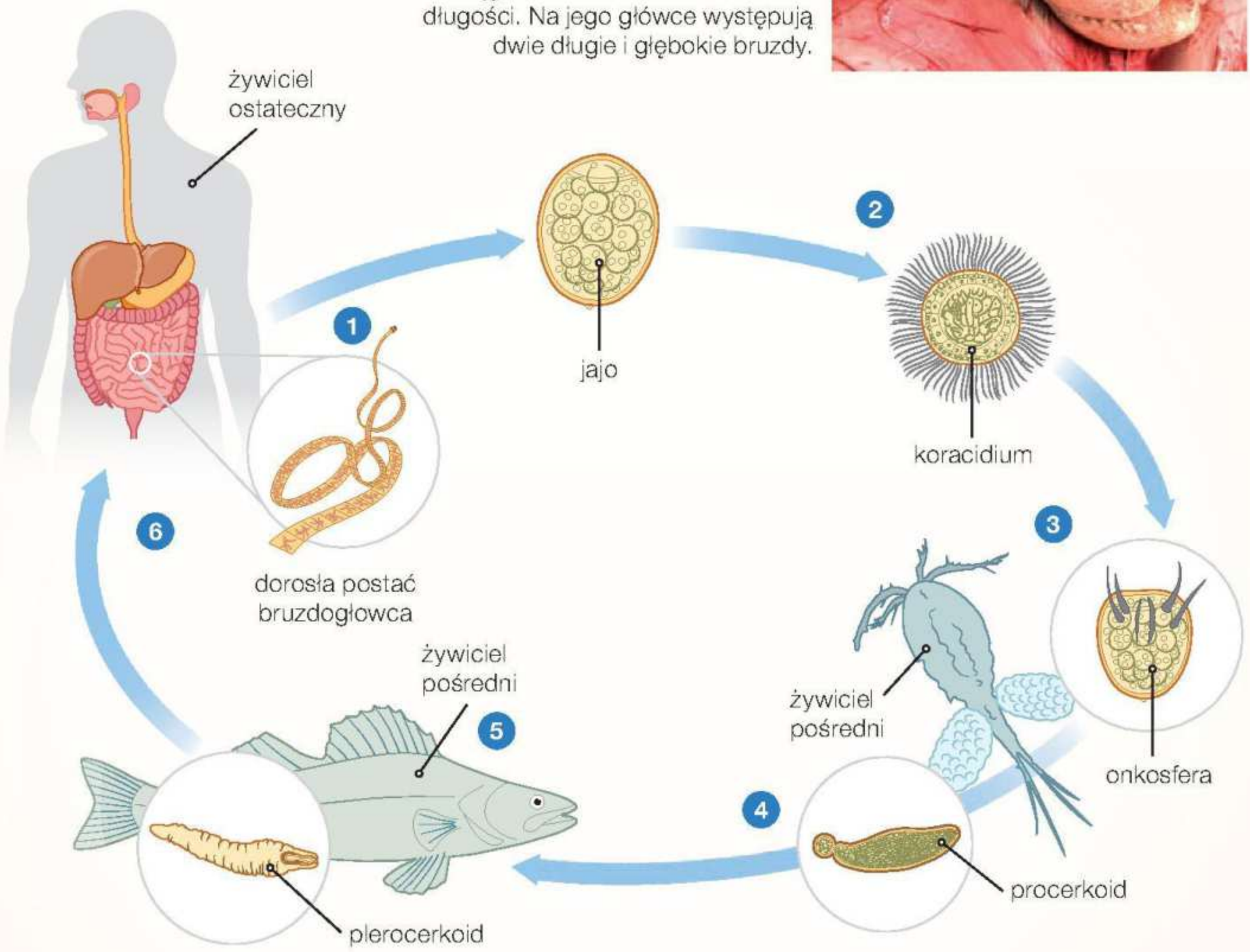
Główka tasiemca uzbrojonego (obraz spod SEM) jest zaopatrzona w przyssawki i wieniec haczyków. Za ich pomocą pasożyt przyczepia się do ściany jelita żywiciela.

Cykl rozwojowy bruzdogłowca szerokiego

U bruzdogłowca szerokiego (*Diphyllobothrium latum*) występuje dwóch żywicieli pośrednich. Pierwszym są drobne skorupiaki – widłonogi, a drugim – ryby słodkowodne. Żywicielem ostatecznym są ssaki odżywiające się rybami, w tym człowiek.



Bruzdogłowiec szeroki może osiągać nawet kilkanaście metrów długości. Na jego główce występują dwie długie i głębokie bruzdy.



1. Dorosła postać bruzdogłowca pasożytuje w jelicie cienkim ssaków odżywiających się rybami.
2. Z jaj, które trafiają do wody wraz z odchodami, wylęga się orzęsiona, pływająca larwa – koracidium. Jej rozwój jest możliwy tylko wtedy, gdy zostanie połknięta przez drobnego skorupiaka – oczlika.
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, procerkoid przedostaje się do jej mięśni i przekształca w plerocerkoid.
6. Zarażenie człowieka następuje po zjedzeniu surowych ryb zawierających plerocerkoidy, które rozwijają się w dorosłą postać bruzdogłowca.

Przystosowania tasiemców do pasożytnictwa

Tasiemce wykształciły szczególnie dużo cech umożliwiających prowadzenie pasożytniczego trybu życia. Przystosowania te obejmują zarówno budowę zewnętrzną, jak i wewnętrzną. Są to:

- zanik części narządów zmysłów związany z funkcjonowaniem dorosłego tasiemca tylko w jednym miejscu,
- wykształcenie aparatu czepnego,
- zanik układu pokarmowego i wchłanianie pokarmu całą powierzchnią ciała,
- ciągłe powstawanie nowych członów i ich stopniowe dojrzewanie zapewniające nieustanne wytwarzanie jaj,
- produkowanie ogromnej liczby jaj, co zwiększa szanse na przedostanie się pasożyta do ciała żywiciela.

Aparat czepny tasiemca nieuzbrojonego tworzą przyssawki.

Aparat czepny tasiemca uzbrojonego jest złożony z wieńca haczyków oraz niewielkich przyssawek.

Na główce (skoleksie) tasiemca znajduje się aparat czepny. Dzięki niemu zwierzę zachowuje stałe położenie w ciele gospodarza.

główka

W szyjce tasiemca różnicują się nowe człony, które nie mają w pełni rozwiniętych narządów rozrodczych.

Ciało tasiemca (strobila) składa się z setek członów w różnych stadiach rozwoju.

W dojrzałych członach narządy rozrodcze męskie i żeńskie są w pełni rozwinięte. W każdym członie występuje odrębny układ rozrodczy. U tasiemców zachodzi zwykle zapłodnienie krzyżowe między różnymi członami lub samozapłodnienie, co pozwala rozmnażać się pojedynczemu osobnikowi.

Człony maciczne wypełnione są całkowicie macicą zawierającą zapłodnione jaja. Każdy człon rozrodczy tasiemca produkuje ok. 100 tys. jaj. Ostatnie człony odpadają i są wydalane z kałem. W ten sposób rozprzestrzeniają się w środowisku zewnętrznym.

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, ponieważ larwy bąblowców (*Echinococcus*) mogą osiedlać się np. w płucach lub w mózgu, w skrajnych przypadkach prowadząc 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. Wymień wspólne cechy wirkokształtnych, przywr i tasiemców.
3. Podaj cechy świadczące o przystosowaniu przywr i tasiemców do pasożytniczego trybu życia.
4. Opisz cykl rozwojowy tasiemców: uzbrojonego i nieuzbrojonego.

5.8. Wrotki – zwierzęta z aparatem rzęskowym

Zwróć uwagę na:
- budowę i czynności życiowe wrotków,
- znaczenie wrotków w przyrodzie i dla człowieka.

Wrotki (Rotifera) to zwierzęta o różnych kształtach i dwubocznej symetrii ciała. Zamieszkują głównie zbiorniki wodne, przy czym większość gatunków występuje w wodach śródlądowych. Wrotki zasiedlają również miejsca wilgotne, np. glebę. Nieliczne gatunki pasożytują na innych organizmach.

Ogólna budowa ciała wrotków

Wrotki są małymi zwierzętami, które najczęściej nie przekraczają 1 mm długości. Ich ciało składa się ze ściśle określonej, charakterystycznej dla danego gatunku liczby komórek. Mimo niewielkich rozmiarów wrotki są tkankowymi, **trójwarstwowymi** organizmami o dobrze rozwiniętych narządach, zgrupowanych w układy. Występuje u nich **pseudoceloma** – pierwotna jama ciała wypełniona płynem znajdującym się pod dużym ciśnieniem. Płyn ten nadaje ciału sztywność i sprężystość, dlatego odgrywa rolę **szkieletu hydraulicznego**, zwanego inaczej **hydroszkieletem**.

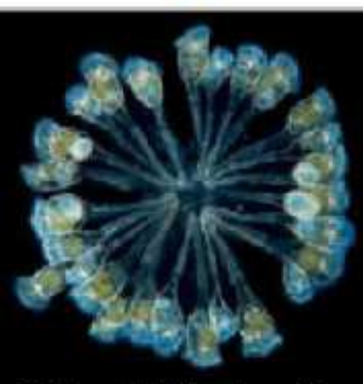
W budowie morfologicznej wrotków wyróżnia się zwykle trzy części: głowę, tułów i nogę.

Głowa może być wciągana do tułowia. Znajduje się na niej większość narządów zmysłów, otwór gębowy oraz charakterystyczny dla tej grupy zwierząt **aparat rzęskowy**, zwany również aparatem wrotnym. Zwykle jest on zbudowany z dwóch pierścieni rzęsek – wewnętrznego i zewnętrznego, które poruszają się w przeciwnych kierunkach. Aparat rzęskowy pełni w życiu wrotków wiele funkcji, m.in.:
- umożliwia poruszanie się,
- bierze udział w odżywianiu się,
- uczestniczy w wydalaniu zbędnych i szkodliwych produktów przemiany materii,
- umożliwia wzajemne rozpoznawanie się osobników tego samego gatunku.

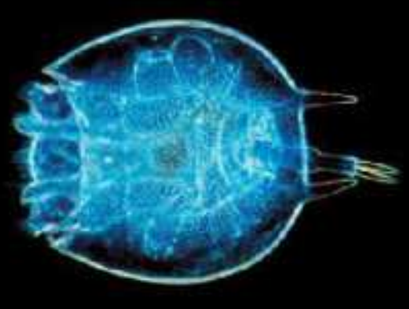
Tułów wrotków stanowi często najszerszą część ich ciała, w której mieści się większość narządów wewnętrznych. **Noga** jest zwykle wydłużona i niekiedy członowana. U części gatunków może być wciągana do tułowia. Na końcu nogi znajduje się pojedynczy palec lub dwa palce. Palce są wyrostkami, które uczestniczą w poruszaniu się wrotków lub umożliwiają im przyczepianie się do podłoża.

Różnorodność wrotków

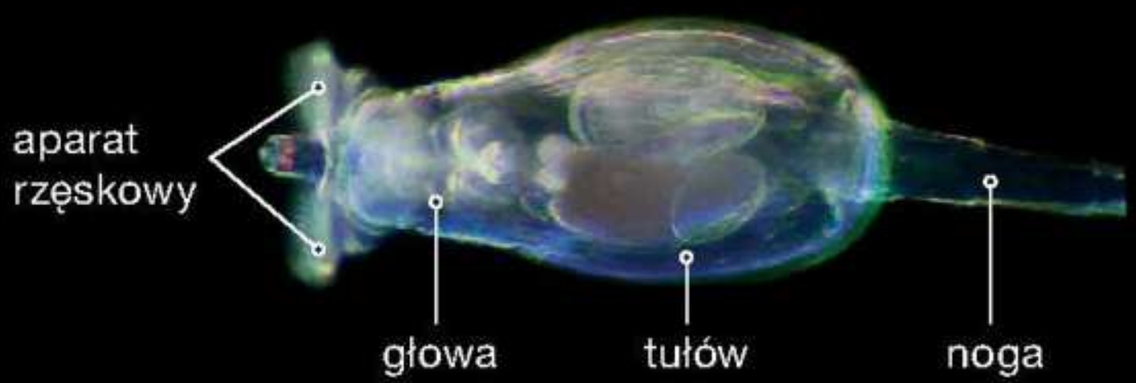
Wrotki cechuje duża różnorodność kształtów – znane są formy kuliste, wydłużone i tarczowate. Zwierzęta te prowadzą wolno żyjący lub osiadły tryb życia. Mogą żyć samotnie albo tworzyć kolonie.



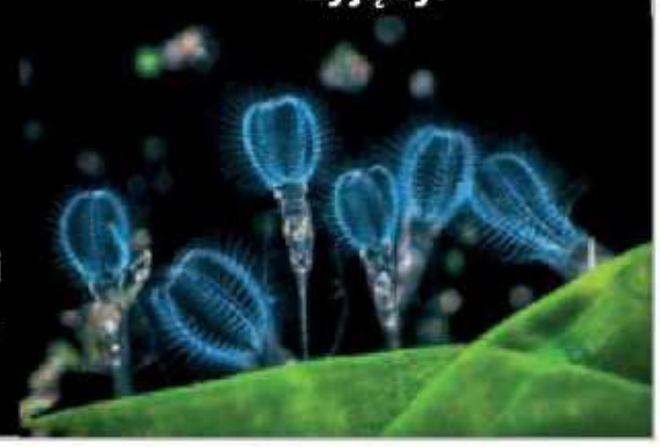
Wrotki kolonijne.



Wrotek wolno żyjący.



Ciało wrotków jest zwykle zróżnicowane na głowę, tułów i nogę.



Wrotki osiadłe.

Pokrycie ciała i układ mięśniowy wrotków

Wrotki nie wykształcają wora powłokowo-mięśniowego. Ściana ich ciała jest zbudowana z **syncytialnego nabłonka**, pokrytego od zewnątrz **oskórkiem**. U wielu gatunków oskórek wytwarza w części tułowiowej sztywny pancerz, do którego mogą być wciągane pozostałe, miękkie części ciała. Niektóre wrotki osiadłe są dodatkowo okryte galaretowatymi otoczkami, tzw. domkami.

W skład układu mięśniowego wrotków wchodzą przede wszystkim pasma **mięśni podłużnych** i **okrężnych** w stosunku do osi ciała. Główną funkcją mięśni podłużnych jest wciąganie aparatu wrotnego i nogi w głąb tułowia. Natomiast mięśnie okrężne uczestniczą w ruchach lokomotorycznych, zwłaszcza w pływaniu, oraz umożliwiają zwężanie tułowia.

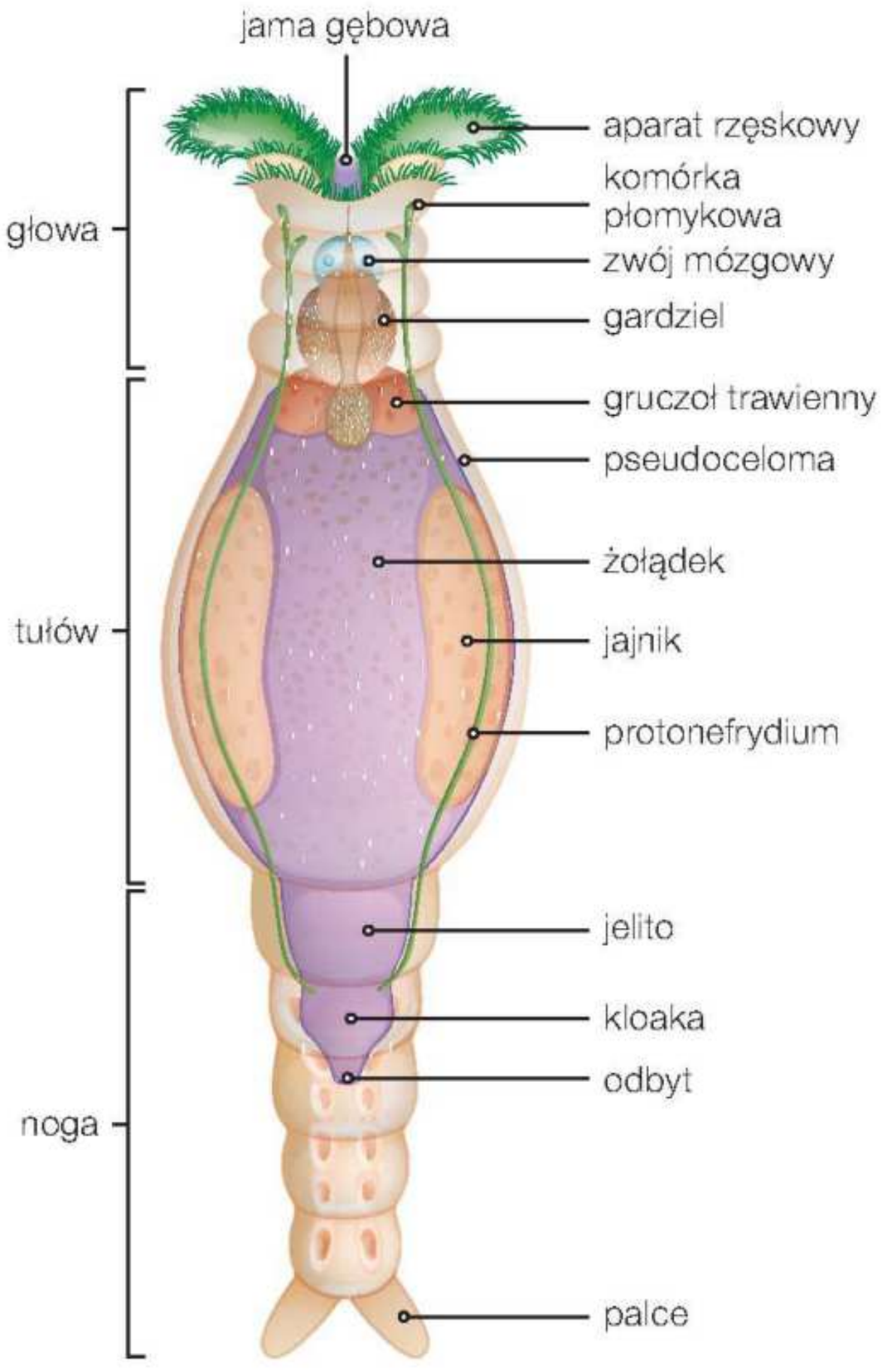
Podstawowe czynności życiowe wrotków

Wrotki są w większości filtratorami. Ich pokarm stanowią drobne organizmy wodne, m.in. bakterie, protisty lub mikroskopijne skorupiaki, oraz detrytus – rozdrobniona, martwa materia organiczna.

Układ pokarmowy wrotków jest **drożny**, czyli otwarty na obu końcach. Ma postać ciągnącego się wzdłuż ciała przewodu, który rozpoczyna się otworem gębowym, a kończy otworem odbytowym. Pozwala to na pobieranie nowej porcji pożywienia bez oczekiwania na strawienie poprzedniej, a tym samym sprawniejszą niż u płazińców obróbkę pokarmu. W skład układu pokarmowego wchodzą: jama gębowa, do której prowadzi otwór gębowy, gardziel, przełyk, żołądek oraz jelito zakończone odbytem. **Otwór gębowy** znajduje się między pierścieniami aparatu rzęskowego. Ruchy rzęsek tworzą wiry, które kierują pokarm do otworu, a stamtąd do jamy **gębowej** i **gardzieli**. Gardziel wrotków jest silnie umięśniona, zaopatrzona w mocne, kutykularne szczęki, które służą do rozcierania pożywienia. Rozdrobniona mechanicznie masa pokarmowa przesuwa się do **przełyku** i **żołądka**. Tam zachodzi chemiczne trawienie pokarmu za pomocą enzymów trawiennych, wydzielanych przez **gruczoły trzustkowe**. Drobnocząsteczkowe produkty rozkładu są następnie wchłaniane i rozprowadzane po ciele za pośrednictwem płynu wypełniającego pseudocelomę. Z kolei niestrawione resztki pokarmu przesuwają się jelitem do kloaki i stamtąd są usuwane otworem odbytowym na zewnątrz ciała. **Kloaka** to końcowy odcinek jelita, do którego uchodzą przewody układów rozrodczego i wydalniczego.

Budowa wewnętrzna wrotków

Wrotki mają tylko niektóre układy narządów, m.in. układ pokarmowy, wydalniczy czy nerwowy. Ze względu na małe rozmiary ciała nie wykształciły natomiast układów oddechowego i krwionośnego.



Wrotki nie mają układów oddechowego i krwionośnego. Ze względu na małe rozmiary wymiana gazowa odbywa się u nich całą powierzchnią ciała. Natomiast składniki odżywcze i produkty przemiany materii są transportowane przez płyn wypełniający pseudocelomę.

Układ nerwowy wrotków wykazuje dość wysoki poziom centralizacji. W jego skład wchodzą trzy zwoje: **zwój mózgowy i zwój aparatu rzęskowego**, które są zlokalizowane w głowie, oraz **zwój nożny** umiejscowiony na końcu ciała. Od zwojów odchodzą parzyste nerwy do różnych narządów ciała.

Narządy zmysłów znajdują się przede wszystkim na głowie i są lepiej rozwinięte u form wolno żyjących niż osiadłych. Należą do nich: fotoreceptory, chemoreceptory oraz mechanoreceptory o funkcji czuciowej.

Wrotki, podobnie jak płazińce, mają **układ wydalniczy** typu protonefrydialnego. Składa się on z parzystych kanalików bocznych biegnących wzdłuż ciała, które z jednej strony otwierają się do kloaki, a z drugiej strony są zakończone kilkoma komórkami płomykowymi.

Rozmnażanie się i rozwój wrotków

Wrotki rozmnażają się płciowo lub bezpłciowo na drodze **partenogenezy**. Zwierzęta te są **rozdzielnopłciowe**, przy czym w niektórych grupach nie stwierdzono w ogóle obecności samców. Tam, gdzie samce istnieją, występuje wyraźny **dymorfizm płciowy**, co oznacza, że obie płcie różnią się od siebie wyglądem. Samce wrotków są mniejsze od samic i mają silnie uwstecznioną budowę ciała.

Układ rozrodczy żeński składa się zwykle z parzystych jajników produkujących komórki jajowe oraz odchodzących od nich jajowodów, które otwierają się do kloaki. Z kolei **układ rozrodczy męski** jest zbudowany z jądra, w którym powstają plemniki, oraz nasieniowodu, który uchodzi na zewnątrz ciała. Końcowy odcinek nasieniowodu tworzy narząd kopulacyjny. U wrotków zachodzi więc **zapłodnienie wewnętrzne**.

U większości wrotków występuje **heterogonia**, która polega na następowaniu po sobie pokoleń dwupłciowych – rozmnażających się płciowo – oraz pokoleń wyłącznie żeńskich – rozmnażających się partenogenetycznie. Rodzaj rozmnażania jest uzależniony od aktualnych warunków środowiska. W warunkach stabilnych i korzystnych, np. w odpowiedniej temperaturze i przy wystarczającej ilości pokarmu, wrotki rozmnażają się partenogenetycznie. Natomiast w warunkach zmiennych i trudnych pojawiają się samce – wówczas wrotki rozmnażają się płciowo. Rozmnażanie płciowe prowadzi do większej zmienności genetycznej w obrębie populacji, co pozwala jej przeżyć w niesprzyjających warunkach środowiska.

Bdelloidea – wrotki aseksualne

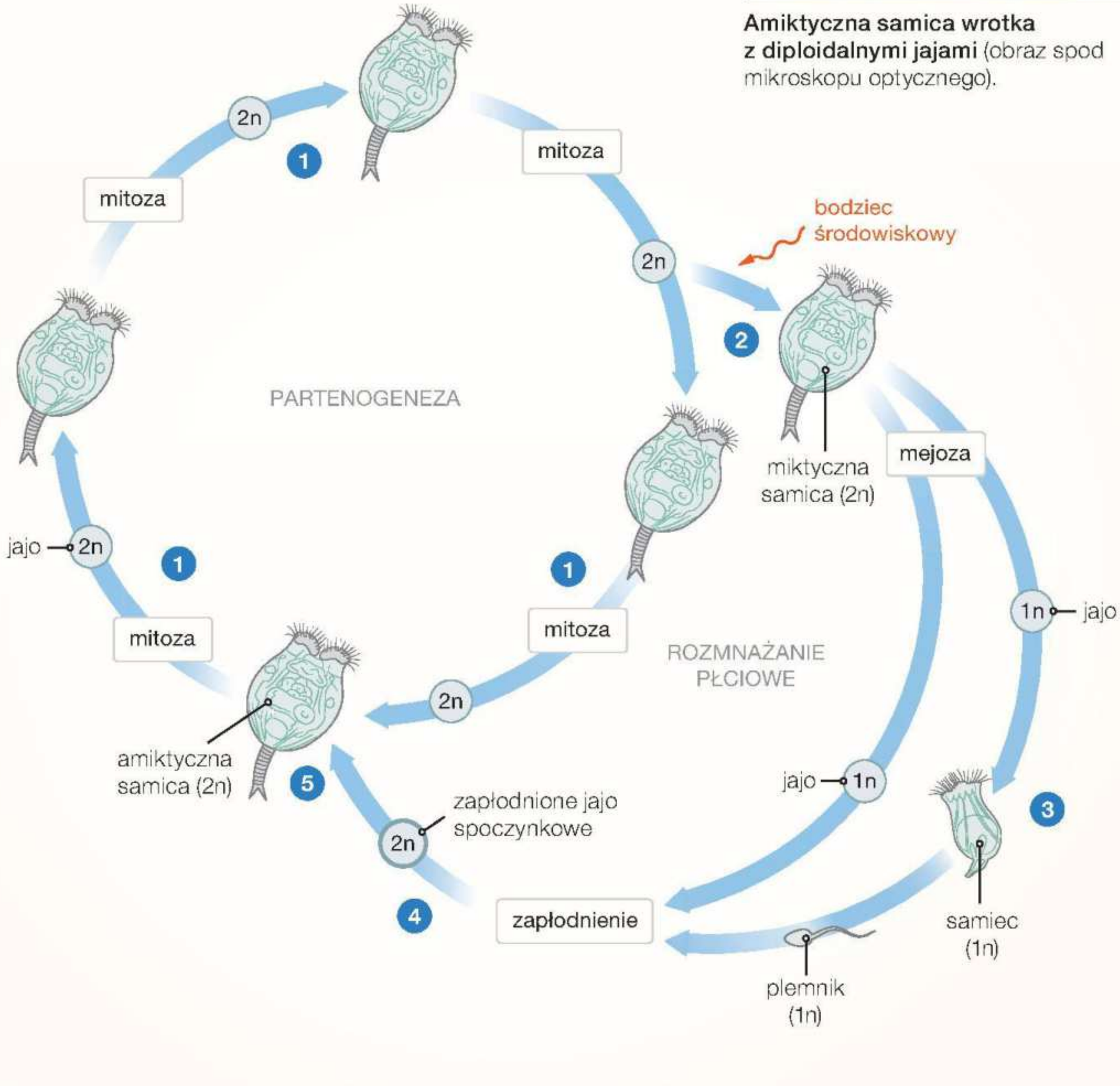
Wrotki z grupy Bdelloidea są organizmami aseksualnymi – w ich populacjach nie występują samce. Zwierzęta te zasiedlają m.in. okresowo wysychające zbiorniki słodkowodne i od co najmniej 40 mln lat rozmnażają się wyłącznie partenogenetycznie. Mimo to wykazują dużą zmienność genetyczną, spowodowaną prawdopodobnie unikatową zdolnością pobierania cząsteczek DNA ze środowiska zewnętrznego.

Wrotek z grupy Bdelloidea (obraz spod mikroskopu optycznego).

Heterogonia u wrotków

Heterogonia występuje głównie u wrotków słodkowowodnych. Proces ten polega na następowaniu po sobie pokoleń dwupłciowych – rozmnażających się płciowo – oraz pokoleń wyłącznie żeńskich – rozmnażających się partenogenetycznie.

Amiktyczna samica wrotka z diploidalnymi jajami (obraz spod mikroskopu optycznego).



1. Amiktyczne (partenogenetyczne) samice wytwarzają na drodze mitozy diploidalne jaja, z których rozwijają się następne pokolenia amiktycznych samic.
2. Pod wpływem bodźca środowiskowego, np. niekorzystnej temperatury lub niedostatku pokarmu, powstają miktyczne samice, które na drodze mejozy produkują haploidalne jaja.
3. Z niektórych jaj rozwijają się haploidalne samce wytwarzające plemniki.
4. W wyniku zapłodnienia haploidalnych jaj plemnikami tworzą się diploidalne jaja spoczynkowe o charakterze przetrwalnikowym.
5. Z jaj spoczynkowych wykluwają się amiktyczne samice.

Znaczenie wrotków w przyrodzie i dla człowieka

Ekologiczne znaczenie wrotków

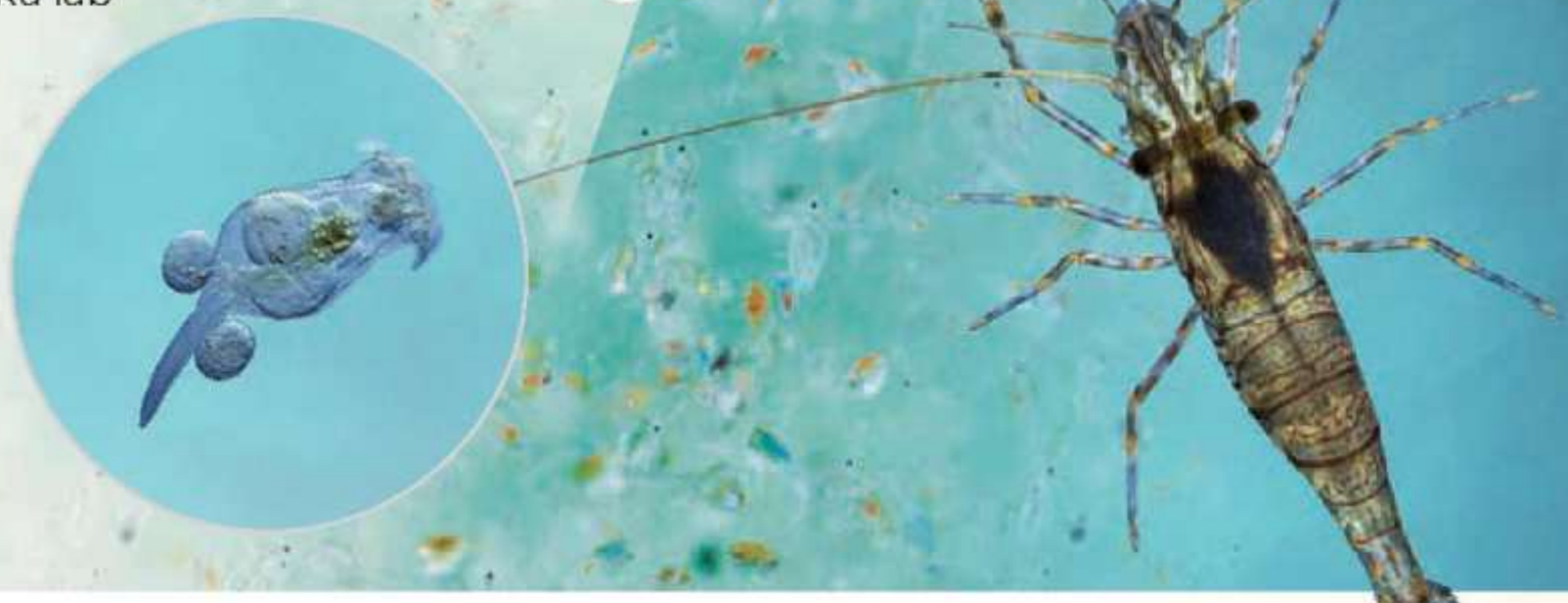
Wrotki są jednym z podstawowych składników zooplanktonu, dlatego stanowią ważny element sieci troficznych ekosystemów wodnych. Są zarówno konsumentami pierwszego rzędu, którzy odżywiają się m.in. fitoplanktonem, jak i drapieżnikami polującymi na mniejsze organizmy wchodzące w skład zooplanktonu. Same natomiast stanowią pożywienie dla licznych zwierząt wodnych, m.in. drobnych skorupiaków, larw owadów czy ryb. Z kolei wrotki pasożytnicze ograniczają liczebność populacji swoich żywicieli.

Producenci. Konsumenci I rzędu. Konsumenci II rzędu.

Wrotki odżywiają się głównie składnikami fitoplanktonu, czyli wodnymi producentami, do których należą m.in. zielenice i glaukocystofity. Same natomiast **są pożywieniem** konsumentów II lub wyższych rzędów, m.in. drobnych skorupiaków – wioślarek i oczlików.

Znaczenie wrotków dla człowieka

W niektórych krajach wrotki są hodowane masowo jako pokarm dla narybku lub jadalnych skorupiaków, np. krewetek.



Brachionus calyciflorus jest pokarmem dla licznych gatunków krewetek.

Polecenia kontrolne

1. Określ rolę aparatu rzęskowego w funkcjonowaniu wrotków.
2. Porównaj budowę układu pokarmowego płazińca z budową układu pokarmowego wrotka.
3. Omów występujący u wrotków proces heterogonii.

5.9. Nicienie – zwierzęta o obłym, nieczłonowanym ciele

Zwróć uwagę na:
- budowę i czynności życiowe nicieni,
- cykle rozwojowe nicieni,
- znaczenie nicieni w przyrodzie i dla człowieka.

Nicienie (Nematoda) zamieszkują różnorodne środowiska: dna mórz, w tym głębiny oceaniczne, wody słodkie, a także glebę, gdzie stanowią najliczniejszą grupę bezkręgowców. Spotyka się je w gorących źródłach i wysokich górach. Około połowa poznanych gatunków to pasożyty roślin, grzybów i zwierząt. Tak szerokie występowanie nicienie zawdzięczają możliwości tworzenia cyst oraz zdolności zapłodnionych jaj do przetrwania w niekorzystnych warunkach środowiska.

Ogólna budowa ciała nicieni

Nicienie to zwierzęta o wydłużonym, obłym i zwężonym na obu końcach ciele. Cechują się symetrią dwuboczną oraz brakiem członowania. Nie mają odnóży. Nicienie osiągają zwykle niewielkie rozmiary, w granicach od 0,3 mm do kilkudziesięciu centymetrów. Tylko nieliczne gatunki mierzą więcej niż metr długości. Największym znanym przedstawicielem tych zwierząt jest *Placentonema gigantissima* – pasożyt kaszalotów, którego osobniki osiągają ok. 8 m długości.

Charakterystyczną cechą nicieni jest brak komórek zaopatrzonych w wici lub rzęski – nie mają ich nawet plemniki.

Wolno żyjący nicień (obraz spod mikroskopu optycznego).

Nicienie należą do zwierząt **trójwarstwowych**. Występuje u nich **pseudoceloma** – pierwotna jama ciała wypełniona płynem znajdującym się pod dużym ciśnieniem. Płyn ten swobodnie krąży po ciele nicienia, zapewniając transport substancji odżywczych i metabolitów, pełni więc funkcje właściwe dla układu krwionośnego. Jednocześnie nadaje ciału sztywność i sprężystość, dlatego odgrywa rolę **szkieletu hydraulicznego**, zwanego inaczej **hydroszkieletem**.

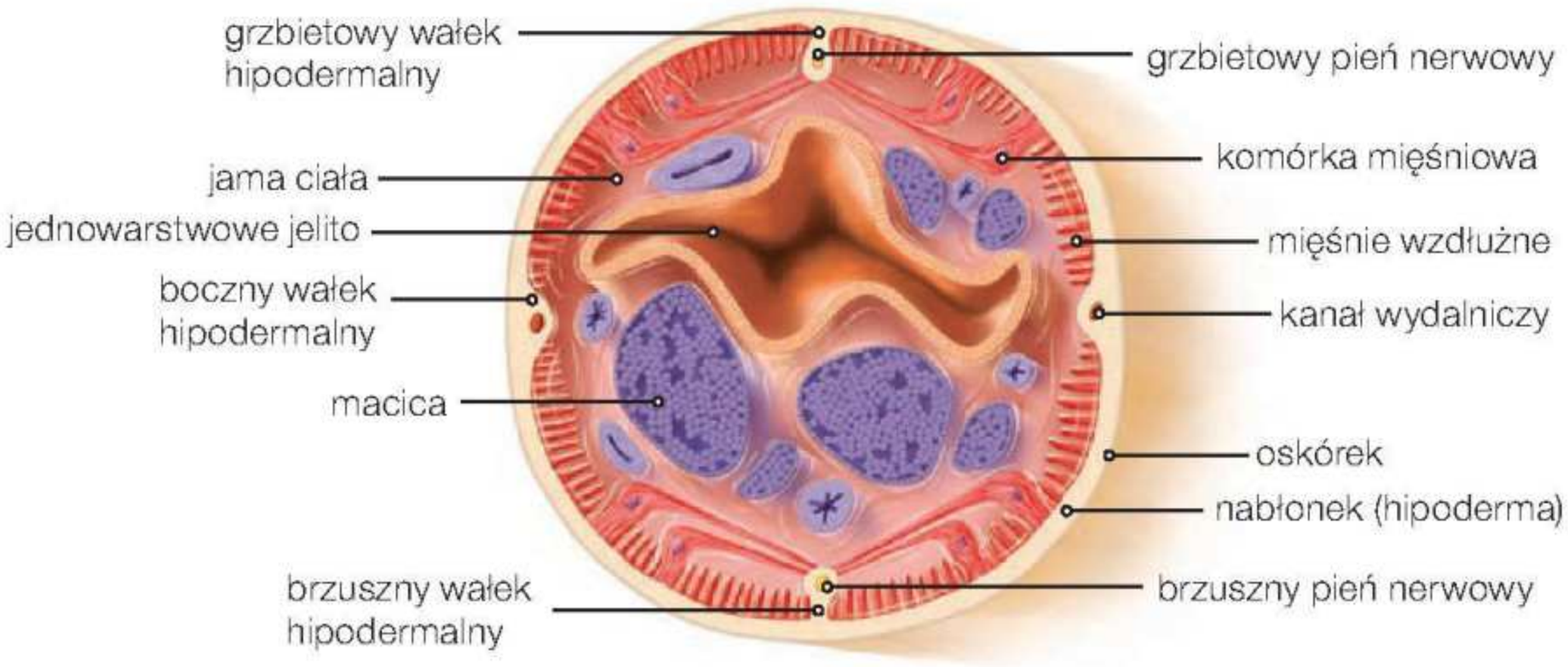
Pokrycie ciała nicieni

Ścianę ciała nicieni tworzy **wór powłokowo-mięśniowy**. Jego zewnętrzną warstwę stanowi gruby, wielowarstwowy i nierozciągliwy **oskórek**, zbudowany z białek podobnych do kolagenu i keratyny. Jest on grubszy u form pasożytniczych, a cieńszy u form wolno żyjących. Oskórek chroni ciało nicieni przed wpływem niekorzystnych czynników środowiska zewnętrznego. Co pewien czas zachodzi zrzucanie oskórka określane mianem **linienia**, po którym następuje wzrost ciała zwierzęcia. Pod oskórkiem leży jednowarstwowy nabłonek o budowie komórkowej lub syncytialnej, nazywany **hipodermą**. Oprócz warstwy otaczającej ciało tworzy on zwykle cztery wałki hipodermalne, czyli zgrubienia biegnące wzdłuż ciała, dość dobrze widoczne przez oskórek.

Nicienie mają **słabo wykształcone mięśnie**. Wynika to z wysokiego ciśnienia wypełniającego je płynu. Pod hipodermą leży pojedyncza warstwa mięśni o podłużnym układzie włókien. Mięśnie pasm grzbietowych i brzusznych działają antagonistycznie, co sprawia, że nicienie mogą zginać ciało jedynie w płaszczyźnie grzbieto-brzusznej.

Budowa wewnętrzna nicienia

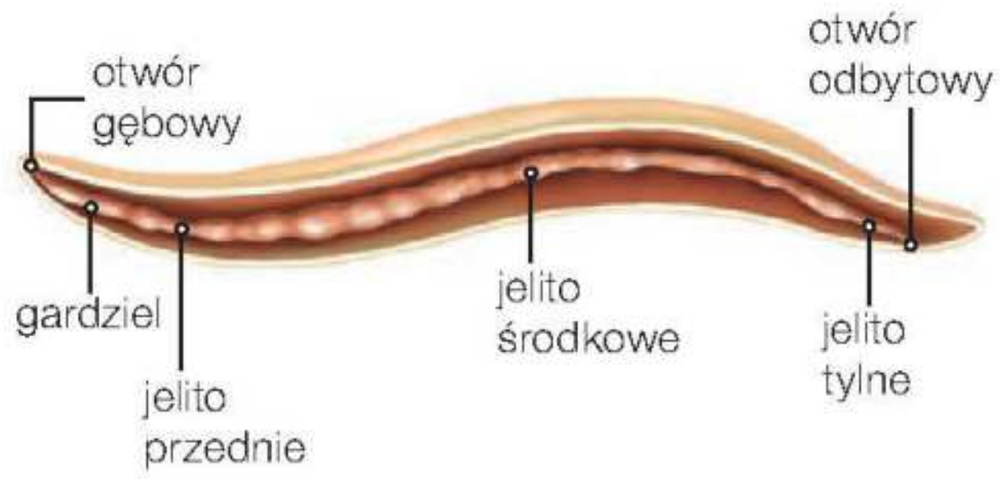
Pod względem budowy wewnętrznej nicienie są grupą mało zróżnicowaną. Typową budowę ciała ma glista ludzka (*Ascaris lumbricoides*).



Przekrój poprzeczny przez ciało nicienia.

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,** przy czym jelita przednie i tylne są wyścielane oskórkiem. Jelito przednie rozpoczyna się otworem gębowym. Jest on zazwyczaj otoczony wargami, zaopatrzonymi w receptory dotyku. Otwór gębowy prowadzi do jamy gębowej. W niej w zależności od rodzaju pobieranego pokarmu znajdują się ząbki i listewki (służące do rozcierania pokarmu) lub sztyleciki (służące do przebijania ofiary i jej wysysania). Za jamą gębową znajduje się silnie umięśniona gardziel, która działa jak pompa ssąco-tłocząca. Do jelita przedniego otwierają się ujścia **gruczołów trawiennych**, dlatego w tej części odbywa się chemiczny rozkład pokarmu. Kolejne odcinki jelita są nie mają mięśni – są zbudowane wyłącznie z jednowarstwowego nabłonka. U nicieni nie występują zatem ruchy perystaltyczne, a przesuwanie się treści pokarmowej zachodzi w wyniku pobrania następnej porcji pożywienia. W jelicie środkowym zachodzi wchłanianie produktów trawienia, dlatego jego nabłonek wytwarza mikrokosmki, zwiększające powierzchnię chłonną. Końcowym odcinkiem przewodu pokarmowego nicieni jest krótkie jelito tylne, zakończone odbytem.



Budowa układu pokarmowego nicieni.

Glista ludzka ma trzy wargi (obraz spod SEM). Pełnią one funkcje narządu czepnego oraz narządów zmysłu dotyku i czucia chemicznego.

Oddychanie nicieni

Nicienie **nie mają układu oddechowego**. U gatunków pasożytujących wewnątrz organizmu żywiciela pozyskiwanie energii zachodzi w wyniku fermentacji. Nicienie wolno żyjące oddychają tlenowo, jednak korzystny stosunek powierzchni ciała do jego objętości sprawia, że wymiana gazowa może zachodzić u nich całą powierzchnią ciała, bez udziału wyspecjalizowanych narządów.

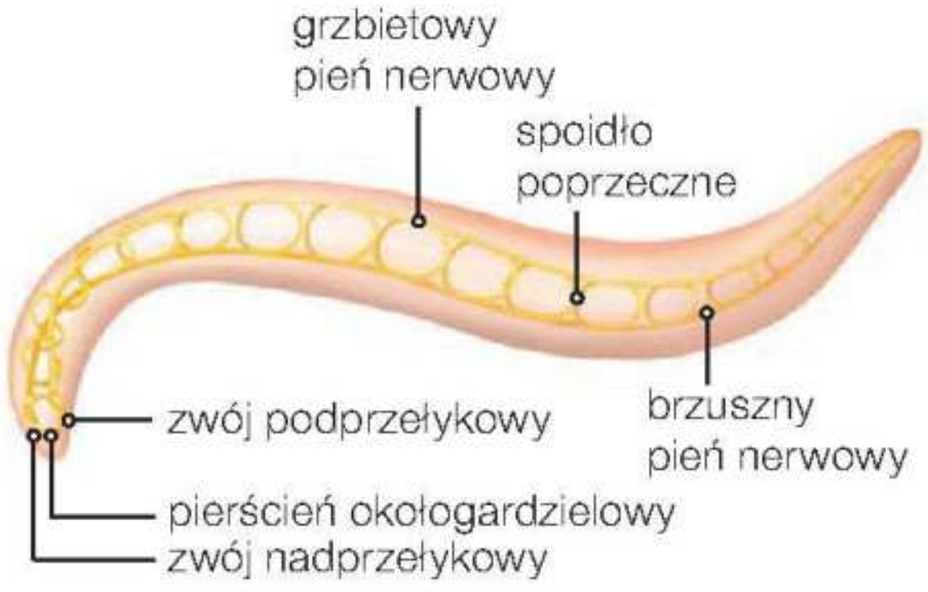
Transport substancji u nicieni

Nicienie **nie mają układu krwionośnego**. Składniki odżywcze i produkty przemiany materii są u nich transportowane przez płyn wypełniający jamę ciała.

Układ nerwowy nicieni

Układ nerwowy nicieni jest zbudowany z **pierścienia okołogardzielowego**, w którego skład wchodzi kilka par **zwojów nerwowych**. Od pierścienia ku przodowi ciała odchodzą krótkie **nerwy**, a ku tyłowi – długie **pnie nerwowe**. Dwa z nich są grubsze i biegną w wałkach hipodermalnych (grzbietowym i brzusznym). Pnie nerwowe łączą się ze sobą **spoidłami poprzecznymi**, mającymi kształt cienkich półpierścieni, które opasują ciało na przemian raz z prawej, raz z lewej strony.

Do narządów zmysłów nicieni należą mechanoreceptory w postaci niewielkich **brodawek czuciowych**, znajdujących się głównie wokół otworu gębowego, oraz **chemoreceptory**, często o kształcie szczecinek. Niektóre gatunki tych zwierząt mają też **fotoreceptory** skupione w formie oczek.



Układ nerwowy glisty ludzkiej.

Układ wydalniczy nicieni

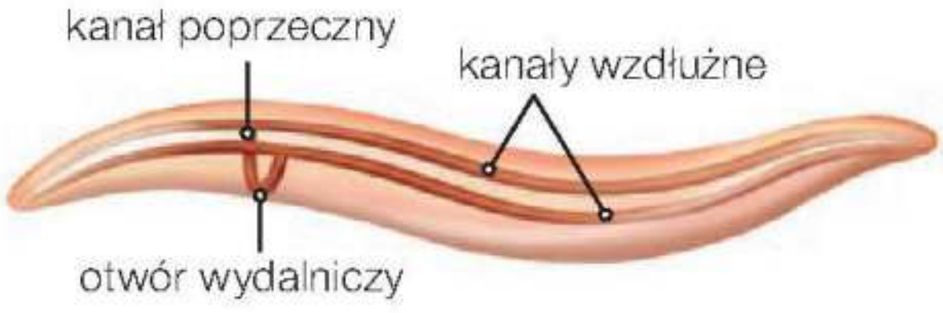
Układ wydalniczy większości gatunków nicieni ma kształt litery H. Składa się on z **dwóch kanałów wydalniczych** ciągnących się wzdłuż ciała w bocznych wałkach hipodermalnych, łukowato wygiętego **kanału poprzecznego** i **przewodu wydalniczego** otwierającego się po stronie brzusznej. Produkty przemiany materii przedostają się kanałami wydalniczymi do kanału poprzecznego, a natępnie są usuwane na zewnątrz ciała przewodem wydalniczym.

Nicienie mają też **komórki fagocytarne**, które zatrzymują i gromadzą nierozpuszczalne w wodzie produkty przemiany materii. Substancje te pozostają w komórkach fagocytarnych przez całe życie zwierząt.

Rozmnażanie się i rozwój nicieni

Nicienie rozmnażają się **wyłącznie płciowo**. Są one na ogół rozdzielnopłciowe i zwykle wykazują **dymorfizm płciowy**. Tylna część ciała samców jest zagięta lub spiralnie zwinięta. Samice są najczęściej wrzecionowate i większe od samców. Układy rozrodcze większości nicieni są nieparzyste. Układ żeński składa się z jajnika, jajowodu, macicy i pochwy. Natomiast układ męski budują jądro, nasieniowód, kanał wytryskowy i narząd kopulacyjny. Zapłodnienie jest **wewnętrzne**, przy czym samce niektórych gatunków po kopulacji giną. Nicienie są przeważnie **jajorodne**, choć spotyka się też gatunki **żyworodne**. Nicienie pasożytnicze mają często zwielokrotnioną liczbę jajników i składają więcej jaj niż formy niepasożytnicze.

W rozwoju nicieni występują larwy podobne do formy dorosłej. Ich wzrost zachodzi dzięki linieniom, podczas których zostaje zrzucony stary oskórek i wytworzony nowy.

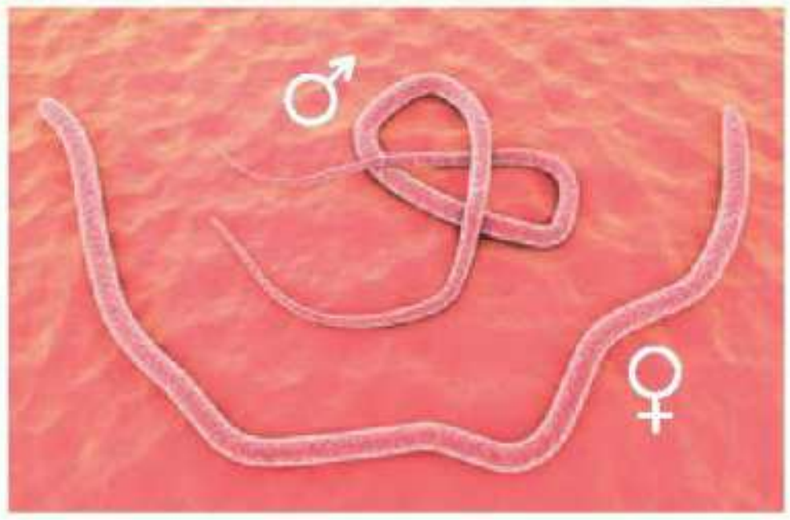


Układ wydalniczy glisty ludzkiej.

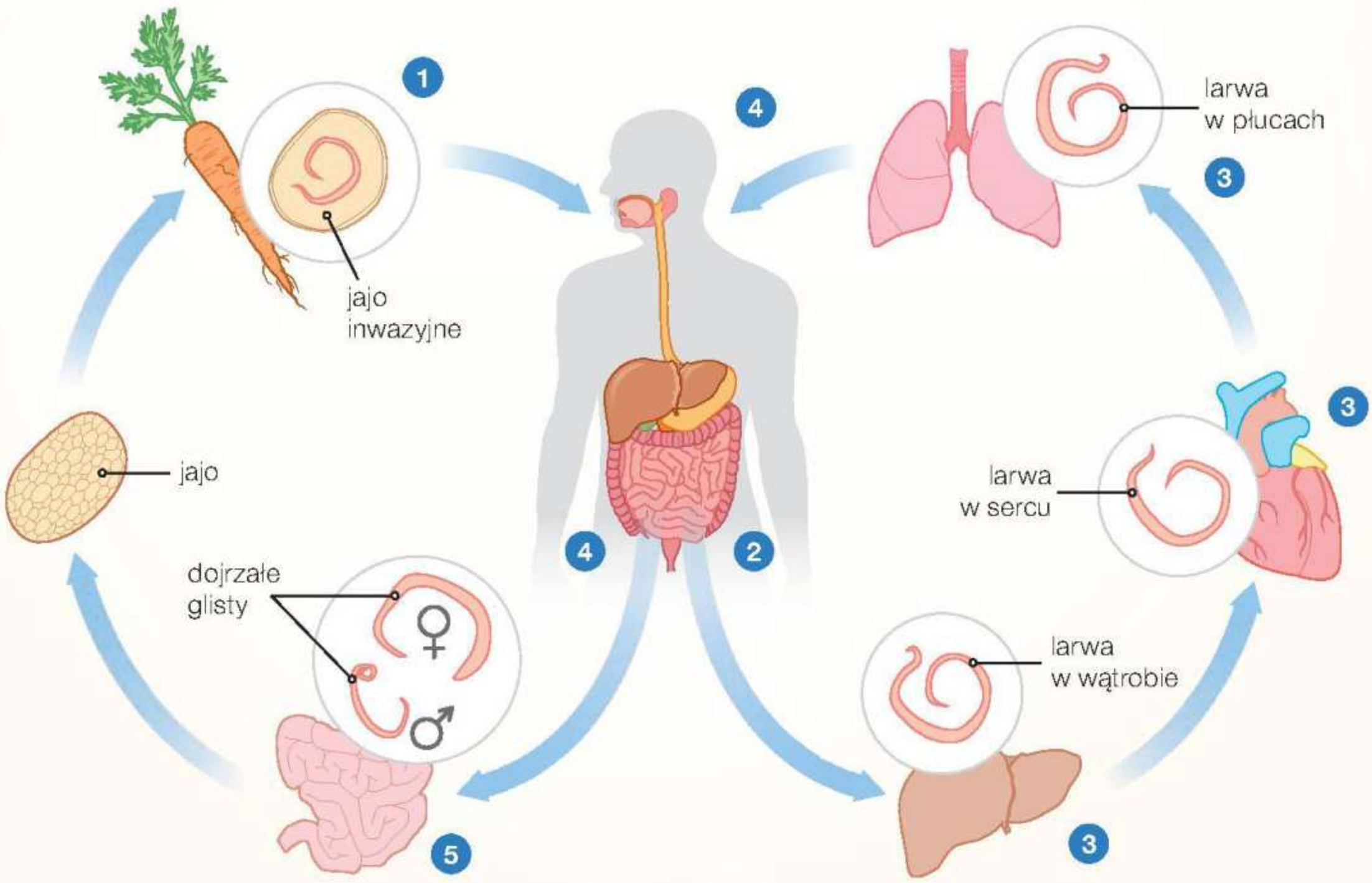
Cykl rozwojowy glisty ludzkiej

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 organizmów koniecznych do kontynuowania rozwoju.

Glista ludzka jest pospolitym pasożytem człowieka. Wywoływana przez nią choroba – glistnica – objawia się zaburzeniami funkcjonowania układów pokarmowego i oddechowego, a także reakcją alergiczną spowodowaną obecnością produktów przemiany materii pasożyta.



Glista ludzka to jeden z największych nicieni pasożytujących w przewodzie pokarmowym człowieka: samiec osiąga długość ok. 20 cm, a samica – ok. 40 cm.

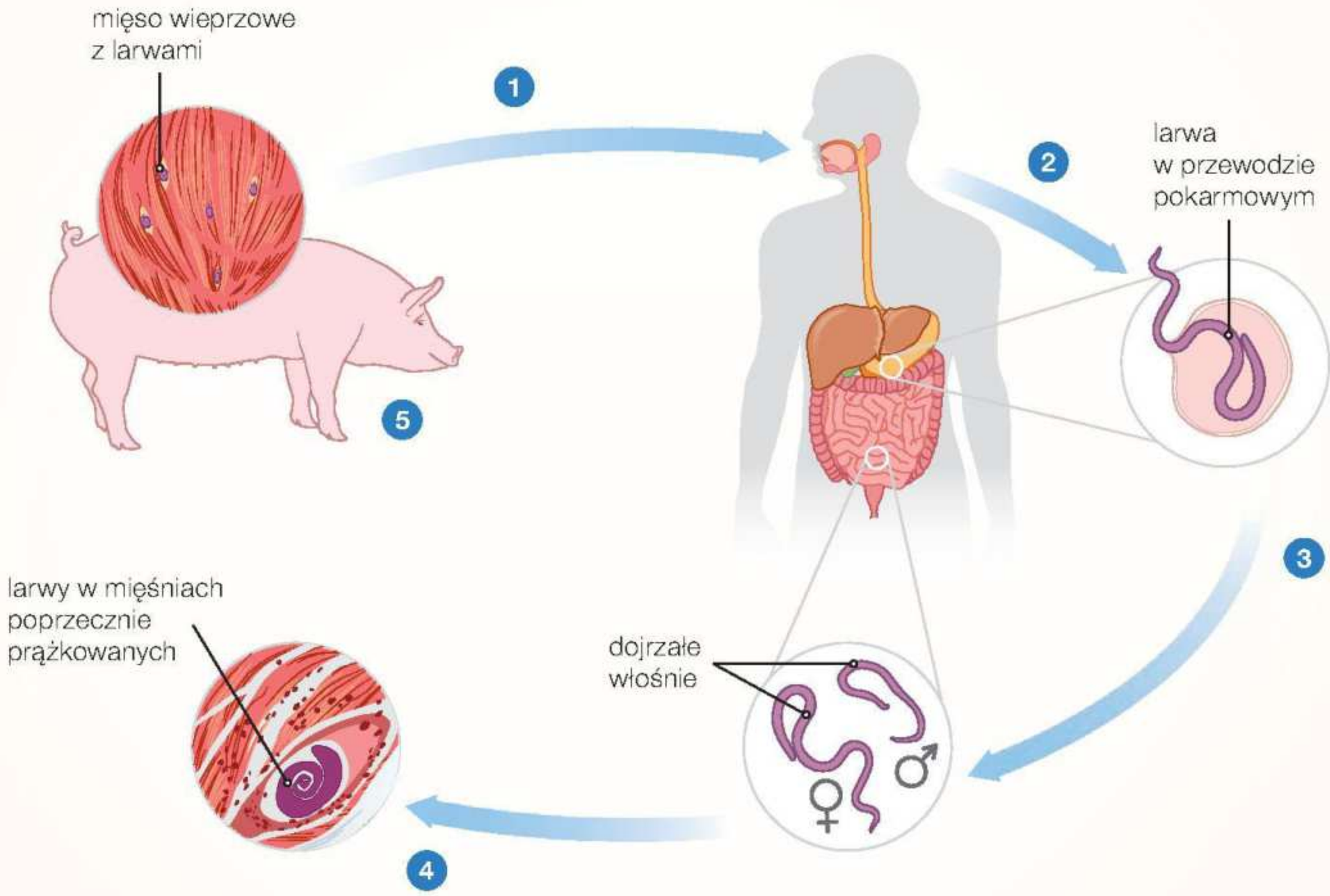


1. Zakażenie następuje po spożyciu pokarmu lub wody zawierających jaja inwazyjne.
2. W jelicie cienkim z jaj wylęgają się larwy, które przedostają się do naczyń krwionośnych krwiobiegu dużego.
3. Larwy wraz z krwią wędrują przez wątrobę i serce do płuc. Tam przedostają się do wnętrza pęcherzyków płucnych, w których rosną. Do przeobrażenia potrzebują środowiska zasobnego w tlen.
4. Po osiągnięciu ok. 2 mm długości larwy rozpoczynają wędrówkę przez oskrzela, tchawicę i krtań do gardła. Tam są odruchowo połykane i trafiają do jelita cienkiego, w którym osiągają dojrzałość płciową.
5. Po kopulacji samice składają zapłodnione jaja, które następnie wydostają się wraz z kałem na zewnątrz. W ciągu kilku tygodni jaja są zdolne do dalszego rozwoju w organizmie następnego żywiciela.

Cykl rozwojowy włośnia krętego

Włosień kręty (*Trichinella spiralis*) pasożytuje w organizmach różnych gatunków ssaków mięsożernych i wszystkożernych. Formy dorosłe występują w jelicie cienkim, a larwy – najczęściej w mięśniach szkieletowych. Choroba spowodowana włośniem krętym nosi nazwę włośnicy. Jej objawy występują głównie w czasie wędrówki larw w układzie krążenia i w początkowym stadium ich osiedlania się w narządach wewnętrznych. Należą do nich m.in. wysoka gorączka (ponad 40°C), obrzęki twarzy oraz silne bóle głowy i mięśni. Masowa inwazja pasożyta może prowadzić do śmierci.

Włosień jest pasożytem ssaków, takich jak świnie czy szczury. Jego samice wnikają do ścian jelita, gdzie każda wydaje na świat 1–2 tys. larw.



1. Zakażenie następuje po zjedzeniu surowego lub niedogotowanego mięsa zawierającego larwy włośnia.
2. W przewodzie pokarmowym, w wyniku działania enzymów trawiennych, larwy tracą otoczkę, po czym rozwijają się w dojrzałe płciowo osobniki dorosłe (samica osiąga długość ok. 5 mm, samiec jest przeważnie o połowę krótszy).
3. U włośnia krętego występuje żyworodność. Po kopulacji samce giną, natomiast samice rodzą larwy, które przedostają się do naczyń limfatycznych, a później do naczyń krwionośnych.
4. Larwy przemieszczają się wraz z krwią do różnych narządów wewnętrznych, głównie do mięśni poprzecznie prążkowanych. Tam szybko rosną i zwijają się spiralnie.
5. Po pewnym czasie wokół larw powstają łącznotkankowe torebki, tzw. cysty, izolujące je od tkanek żywiciela.

Dowiedz się więcej

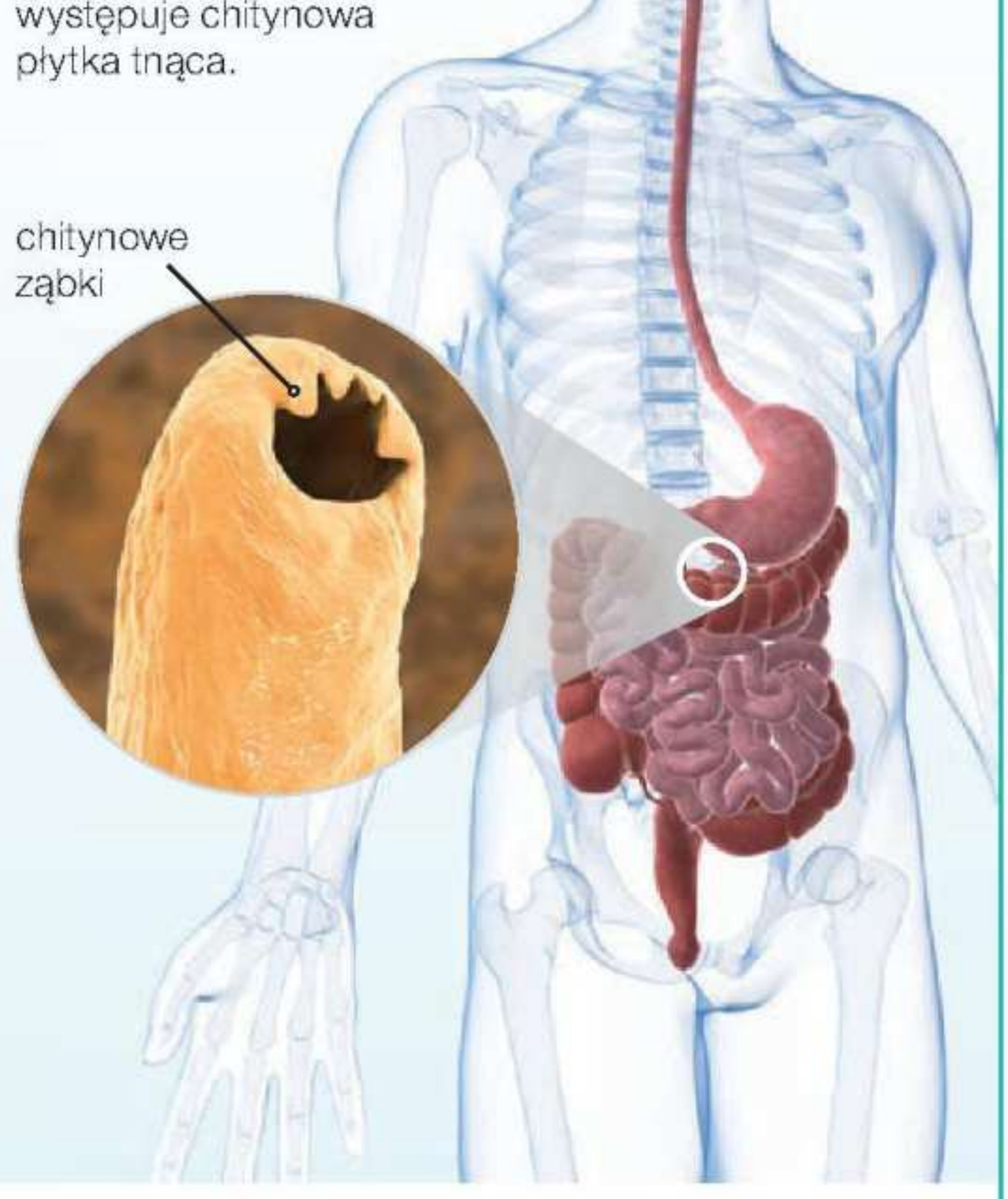
Tęgoryjce – groźne pasożyty kręgowców

Tęgoryjce to grupa pasożytniczych nicieni, które odżywiają się krwią kręgowców. Mają one charakterystyczny otwór gębowy, otoczony wieńcem oskórkowych płytek. Występują głównie w krajach tropikalnej i subtropikalnej strefy klimatycznej.

Tęgoryjczyca

Tęgoryjczyca jest ciężką, niekiedy śmiertelną chorobą człowieka wywoływaną przez dwa gatunki tęgoryjców: *Ancylostoma duodenale* i *Necator americanus*. Dorosłe osobniki tęgoryjców żyją w jelitach, głównie w dwunastnicy. Nacinają błonę śluzową przy użyciu oskórkowych ząbków i odżywiają się wypływającą krwią. Samica po kopulacji składa jaja, które są wydalane na zewnątrz wraz z kałem. Tęgoryjce wywołują u żywiciela anemię, której mogą towarzyszyć stałe krwotoki, apatia i śpiączka. W skrajnych przypadkach zakażenie tymi pasożytami prowadzi do śmierci.

Ancylostoma duodenale ma otwór gębowy zaopatrzony w chitynowe ząbki. Natomiast u *Necator americanus* występuje chitynowa płytka tnąca.



W jaki sposób dochodzi do zarażenia?

Larwy tęgoryjców bytują w wilgotnej ziemi lub w wodzie. Do organizmu żywiciela dostają się najczęściej przez skórę, po czym wnikają do naczyń krwionośnych, którymi dostają się do płuc. Z płuc wędrują do dróg oddechowych, gdzie wywołują odruch kaszlu. Następnie w wyniku połknięcia dostają się do układu pokarmowego, w którym przekształcają się w osobniki dorosłe.

Larwa tęgoryjca brazylijskiego pod skórą stopy.

Zespół larwy skórnej wędrującej

Chorobę wywołują larwy tęgoryjca brazylijskiego (*Ancylostoma brasiliensis*). Nicień ten pasożytuje na kotach i psach, natomiast ludzi zaraża przypadkowo. Larwy penetrują skórę lub wnikają przez jej pęknięcia pod warstwę rogową naskórka i zaczynają się przemieszczać w poszukiwaniu naczyń krwionośnych, do których mogłyby wniknąć. Konsekwencją ruchu larw jest uporczywe swędzenie skóry. Ze względu na brak odpowiednich enzymów larwy nie mogą się dalej rozwijać w organizmie człowieka.

Tęgoryjec brazylijski.

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 (*Globodera rostochiensis*; obraz spod mikroskopu optycznego) jest groźnym pasożytem ziemniaka i innych roślin z rodziny psiankowatych.

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, wody i na różne przedmioty	przestrzeganie zasad higieny, m.in. staranne mycie rąk po korzystaniu z toalety oraz przed jedzeniem
Włosień kręty	ssaki, np. świnia, wilk, szczur, człowiek	spożywanie mięsa (lub jego przetworów) zawierającego cysty	kontrola weterynaryjna mięsa, unikanie spożywania surowego lub niedogotowanego mięsa
Tęgoryjce	człowiek	spożywanie nieumytych warzyw i owoców, kąpiele w wodzie zanieczyszczonej larwami, chodzenie boso po wilgotnej glebie zanieczyszczonej larwami	mycie lub obróbka termiczna warzyw i owoców, unikanie kontaktu z pasożytem na obszarze występowania choroby

Polecenia kontrolne

1. Porównaj płazińca z nicieniem pod względem budowy morfologicznej i budowy anatomicznej. Wskaż podobieństwa i różnice w budowie tych zwierząt.
2. Podaj przystosowania glisty ludzkiej do pasożytniczego trybu życia.
3. Wymień cechy nicieni, które pozwoliły im opanować różnorodne środowiska.
4. Podaj trzy sposoby zapobiegania zarażeniom nicieniami pasożytniczymi.
5. Ustal, czy larwa włośnia krętego, która trafiła do ciała człowieka, ma szansę na dalszy rozwój. Uzasadnij swoje stanowisko.
6. Wyjaśnij, dlaczego w przypadku stwierdzenia zarażenia nicieniem jednej osoby w rodzinie leczeniu podlegają wszyscy jej członkowie.

5.10. Pierścienice – bezkręgowce o wyraźnej metamerii

Zwróć uwagę na:
- budowę i czynności życiowe pierścienic,
- znaczenie pierścienic w przyrodzie i dla człowieka.

Do pierścienic (Annelida) należą przede wszystkim zwierzęta zasiedlające wody słone, rzadziej słodkie. Część gatunków przystosowała się do życia na lądzie, głównie w glebie. Rozmiary pierścienic wahają się w granicach od 1 mm do 3 m. Ich ciało, w zależności od gatunku, może być robakowate, wydłużone, na przekroju poprzecznym obłe, owalne lub grzbieto-brzusznie spłaszczone. Do pierścienic należą m.in. **wieloszczety, skąposzczety** i **pijawki**.

Ogólna budowa ciała pierścienic

Najbardziej charakterystyczną cechą ciała pierścienic jest **segmentacja** (metameria), czyli podział na odcinki zwane **segmentami** (metamerami). Są one ułożone szeregowo jeden za drugim i oddzielone od siebie poprzecznymi przegrodami. Jeżeli segmenty są do siebie bardzo podobne i mają podobny zestaw narządów, segmentację określa się jako **homonomiczną**. Natomiast jeżeli różnią się od siebie, segmentacja nosi miano **heteronomicznej**. Niezależnie od rodzaju segmentacji segment pierwszy (przedgębowy), drugi (gębowy) i ostatni (analny) różnią się budową od pozostałych. U niektórych wieloszczetów z kilku pierwszych segmentów w procesie cefalizacji wyodrębnił się odcinek głowowy. Ponadto poszczególne segmenty ciała wieloszczetów są zaopatrzone w **parapodia** (pranóża) – dwugałęziste wyrostki boczne z chitynowo-białkowymi **szczecinami**, funkcjonujące jako narządy lokomotoryczne. Skąposzczety i pijawki nie mają parapodiów, u tych pierwszych występują jedynie nieliczne szczeciny.

Pierścienice to **zwierzęta trójwarstwowe**. Należą one do **wtórnojamowców**, ponieważ mają wykształconą wtórną jamę ciała – **celomę**. Celoma jest wypełniona płynem, który odgrywa rolę szkieletu hydraulicznego i pośredniczy w wymianie substancji między krwią a komórkami.

Różnorodność pierścienic

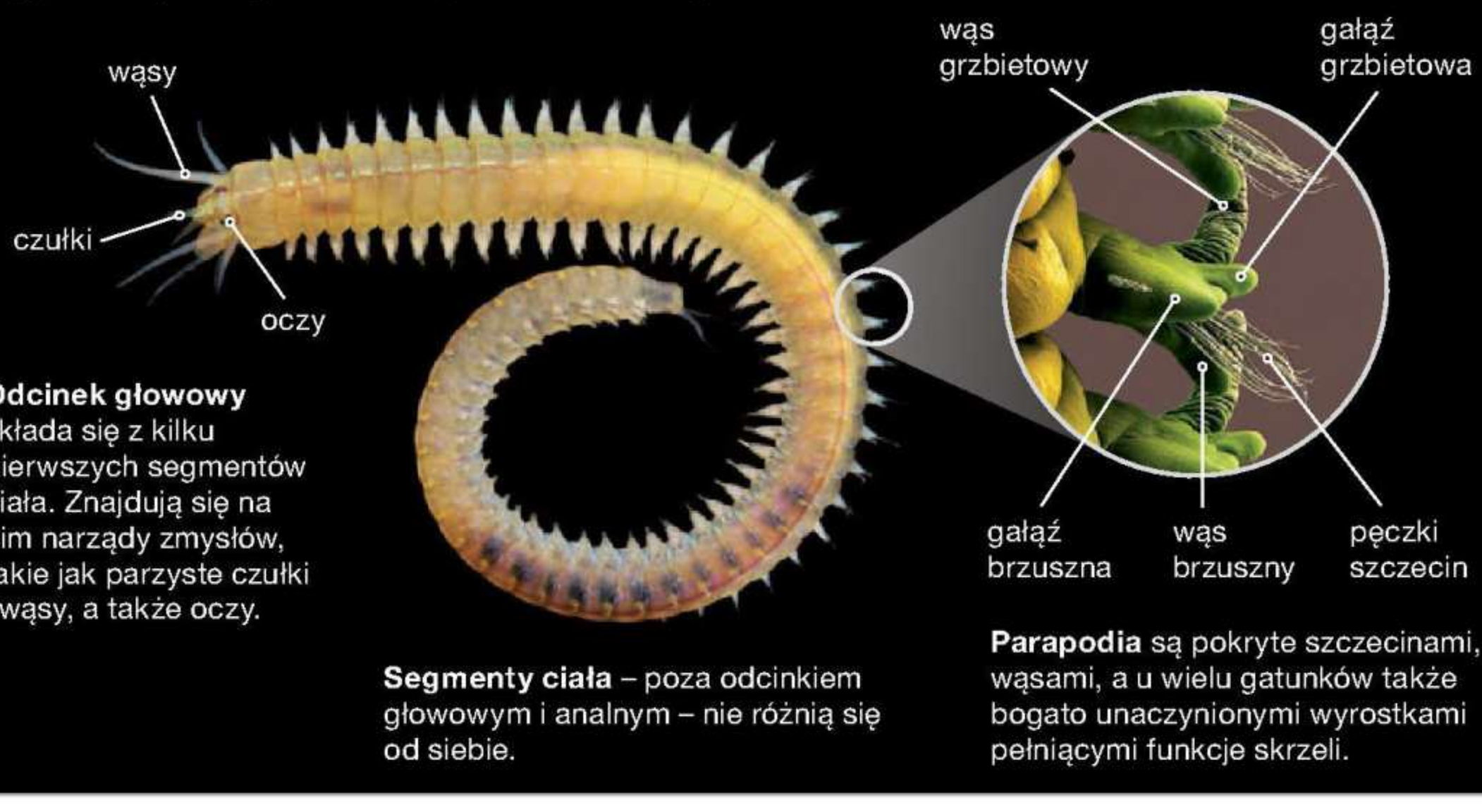
Wieloszczety żyją głównie w morzach, tylko nieliczne zasiedlają wody słodkie. Większość z nich prowadzi aktywny tryb życia: pełza po dnie, ryje w podłożu lub pływa.

Skąposzczety żyją najczęściej w glebie, ściółce lub w wodach słodkich. Gatunki słodkowodne zasiedlają zwykle strefę przydenną.

Do **pijawek** należą głównie gatunki słodkowodne, tylko nieliczne żyją w morzach oraz na lądzie. Większość z nich prowadzi pasożytniczy tryb życia. Nieliczne gatunki są drapieżne.

Budowa ciała pierścienic na przykładzie nereidy

Nereida różnokolorowa (*Nereis diversicolor*) należy do wieloszczetów. Jest pospolitą pierścienicą morską, występującą m.in. w Bałtyku. Żyje na dnie morza, w norkach wygrzebanych w piasku. Osiąga do 20 cm długości.



Odcinek głowowy składa się z kilku pierwszych segmentów ciała. Znajdują się na nim narządy zmysłów, takie jak parzyste czułki i wąsy, a także oczy.

Segmenty ciała – poza odcinkiem głowowym i analnym – nie różnią się od siebie.

Parapodia są pokryte szczecinami, wąsami, a u wielu gatunków także bogato unaczynionymi wyrostkami pełniącymi funkcje skrzeli.

Pokrycie ciała pierścienic

Ścianę ciała pierścienic stanowi **wór powłokowo-mięśniowy**. Jego zewnętrzną warstwą jest cienki kolagenowy **oskórek**. Pod oskórkiem leży jednowarstwowy **nabłonek** zawierający liczne **gruczoły śluzowe**. Na ciele większości pierścienic występują pęczki **szczecin** ułatwiające m.in. poruszanie się i zdobywanie pokarmu. Do wytworów nabłonka niektórych pierścienic należą gruczoły śluzowe występujące w **siodełku** – strukturze, która uczestniczy w rozmnażaniu. Wytwarzany przez nie śluz tworzy kokon, w którym rozwijają się młode osobniki. Z nabłonkiem zrośnięta jest cienka warstwa **mięśni okrężnych** i gruba warstwa **mięśni wzdłużnych**. U pijawek występuje dodatkowo warstwa **mięśni skośnych**. Wór powłokowo-mięśniowy i płyn wypełniający celomę tworzą **hydroszkielet**. Stanowi on podstawowy aparat ruchu – także u pierścienic mających parapodia. Ciśnienie płynu wypełniającego jamę ciała poszczególnych segmentów zależy od stanu napięcia mięśni wzdłużnych i okrężnych. Skurcz tych mięśni wywołuje odpowiednio poszerzanie się segmentów oraz ich wydłużanie. Powstają fale skurczów i rozkurczów, które umożliwiają pierścienicom poruszanie się.

Układ pokarmowy pierścienic

Pierścienice mają drożny układ pokarmowy, który składa się z: **jelita przedniego, jelita środkowego** i **jelita tylnego**. Ma on postać umięśnionej rury przebijającej przegrody międzysegmentalne i ciągnącej się przez całe ciało zwierzęcia. Ze względu na wykształcenie mięśni treść pokarmowa jest przesuwana dzięki ruchom perystaltycznym. Najbardziej zróżnicowane pod względem budowy jest jelito przednie. Rozpoczyna się ono umiejscowionym w drugim segmencie ciała **otworem gębowym**, który prowadzi do niewielkiej **jamy gębowej**. Jama gębowa przechodzi w umięśnioną **gardziel**. U licznych form drapieżnych gardziel bywa uzbrojona w kutykularne zęby lub płytki szczękowe. Wysuwana na zewnątrz służy do chwytania zdobyczy. Za gardzielą znajduje się **przełyk**, a za nim **żołądek**. U skąposzczetów i pijawek tylna część przełyku tworzy **wole**. U gatunków

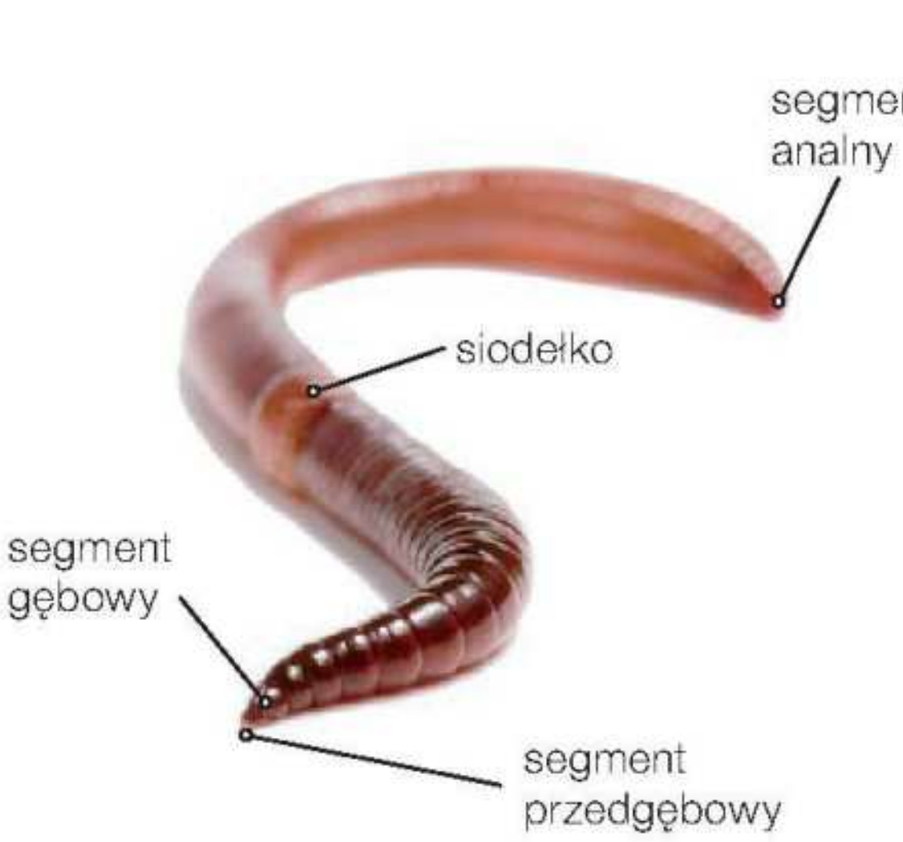
glebożernych, np. dżdżownicy, do przełyku uchodzą gruczoły wapienne, których wydzielina zobojętnia treść pokarmową. W wolu pijawek krwiopijnych występuje natomiast kilka par kieszeni, służących do magazynowania krwi. Jelito środkowe pierścienic ma kształt prostej rurki. U skąposzczetów po jego stronie grzbietowej znajduje się fałd zwiększający powierzchnię chłonną. Jelito środkowe przechodzi w krótkie jelito tylne, kończące się **otworem odbytowym** w ostatnim segmencie ciała.

Wymiana gazowa pierścienic

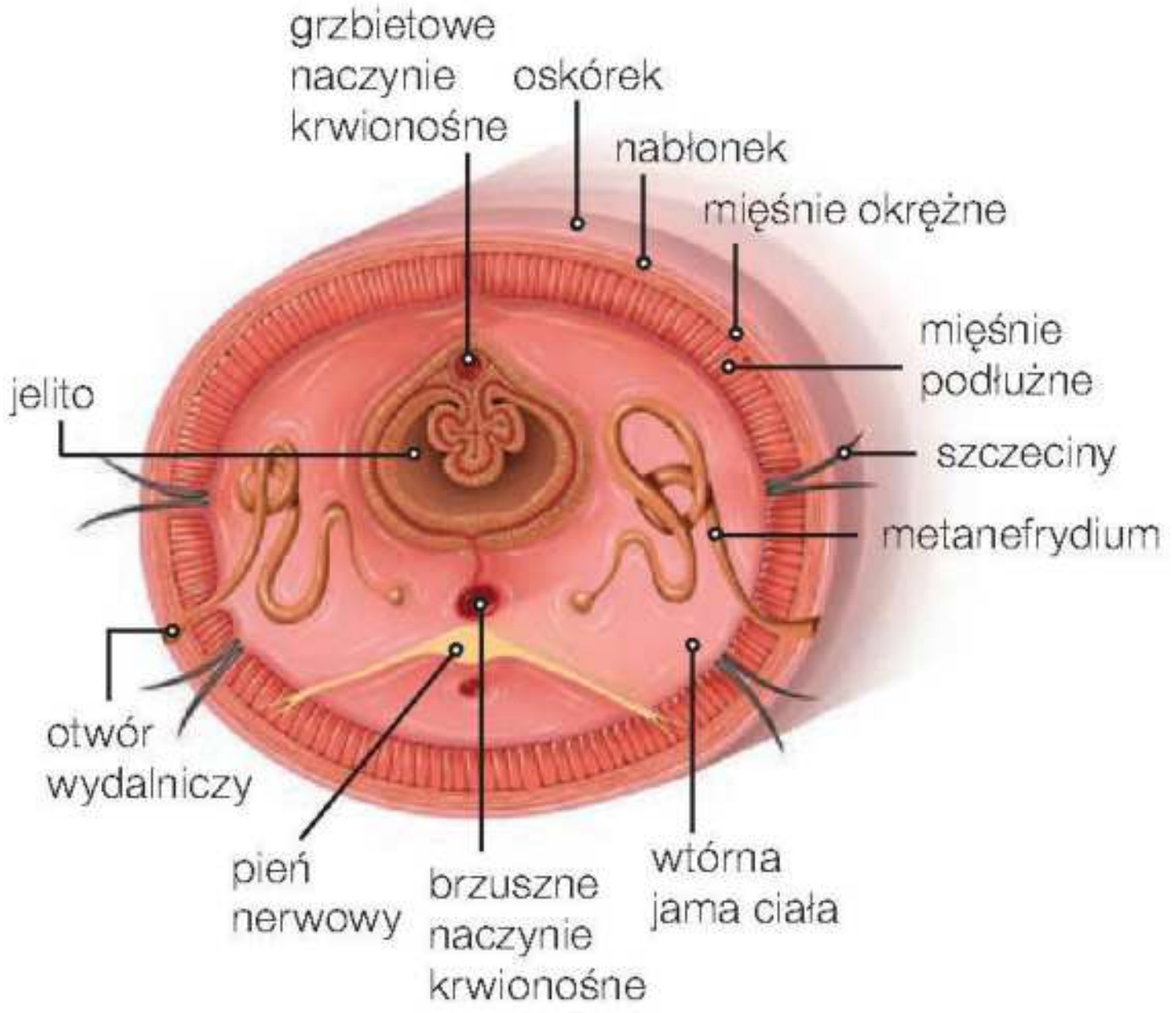
U pierścienic lądowych i słodkowodnych wymiana gazowa, dzięki gęstej sieci włosowatych naczyń krwionośnych, odbywa się **całą powierzchnią ciała**. Wymianę tę ułatwia **śluz** wytwarzany przez liczne gruczoły zlokalizowane pod oskórkiem. Prawie wszystkie pierścienice żyjące w wodach morskich, głównie wieloszczety, mają narządy oddechowe w postaci **skrzeli zewnętrznych** umiejscowionych na parapodiach.

Budowa pierścienic na przykładzie dżdżownicy ziemnej

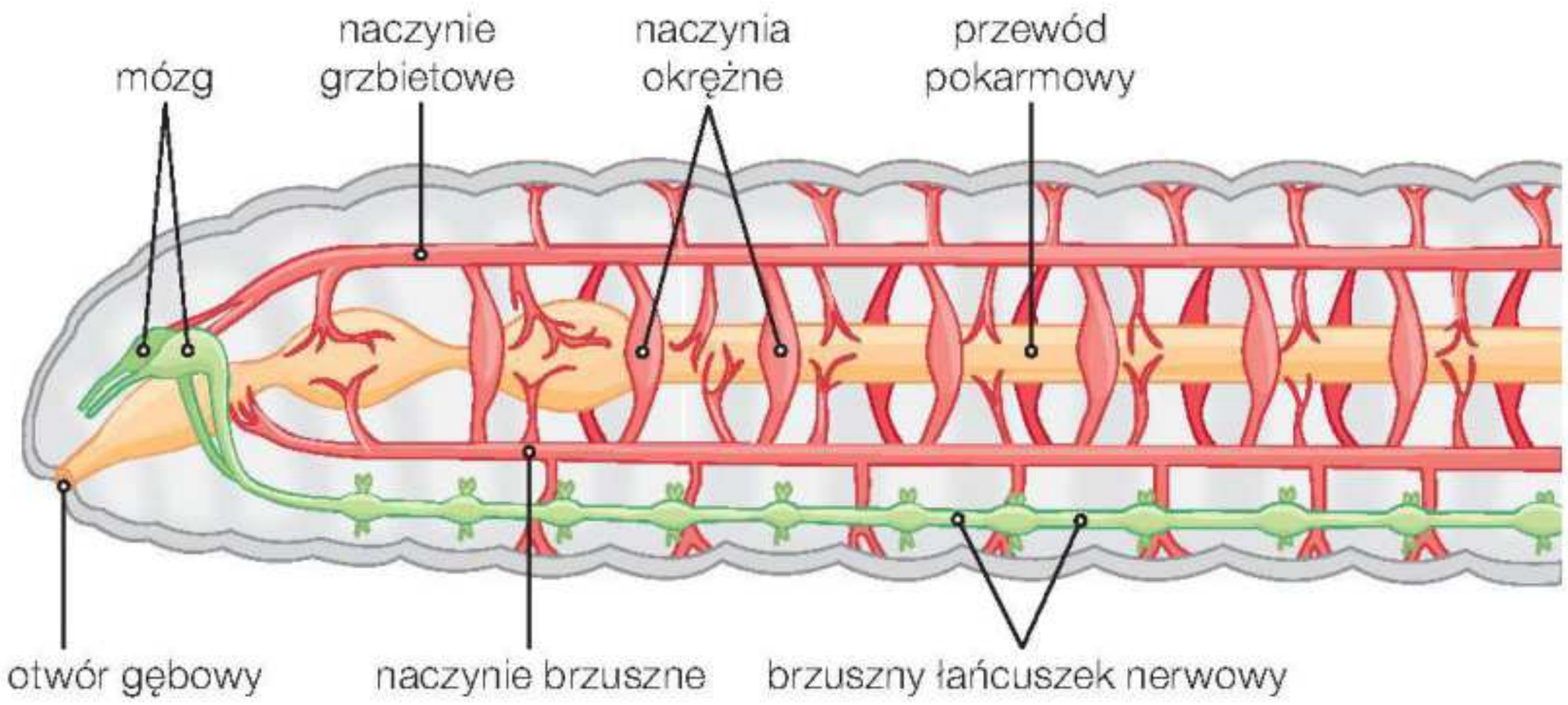
U dżdżownicy ziemnej (*Lumbricus terrestris*), podobnie jak u większości pierścienic, występuje segmentacja homonomiczna. Segmenty jej ciała – poza przedgębowym, gębowym i analnym – mają bardzo podobną budowę zewnętrzną i wewnętrzną.



Budowa zewnętrzna dżdżownicy.



Przekrój poprzeczny przez ciało dżdżownicy.



Przekrój podłużny przez przednią część ciała dżdżownicy.

Układ krwionośny pierścienic

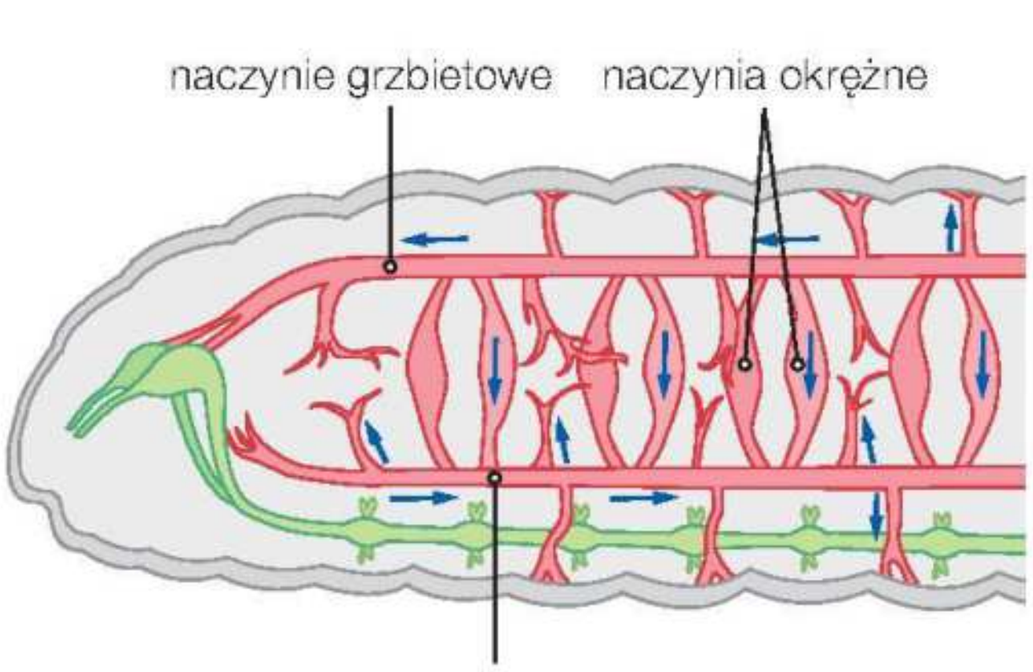
Pierścienice są pierwszą z omawianych grup zwierząt bezkręgowych, w której występuje układ krwionośny umożliwiający transport substancji między wszystkimi segmentami ciała. Jest to niezwykle istotne, ponieważ płyn celomy krąży w ciele pierścienic jedynie w obrębie pojedynczych segmentów. Układ krwionośny pierścienic stanowi pozostałość blastocelu. Jest on **układem zamkniętym**, 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. Naczynia te są ze sobą połączone w każdym segmencie cieńszymi od nich **naczyniami okrężnymi**. Poza tym w skład układu krwionośnego wchodzi 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, nazywanych z tego powodu sercami bocznymi.

Krew pierścienic jest bezbarwna lub ma barwę zależną od rodzaju barwnika oddechowego właściwego gatunkowi. Czerwone zabarwienie nadaje jej **hemoglobina**, różowe – **hemoerytryna**, a zielone – **chlorokruoryna**. Barwniki oddechowe u pierścienic, podobnie jak u wszystkich bezkręgowców, są rozpuszczone w osoczu.

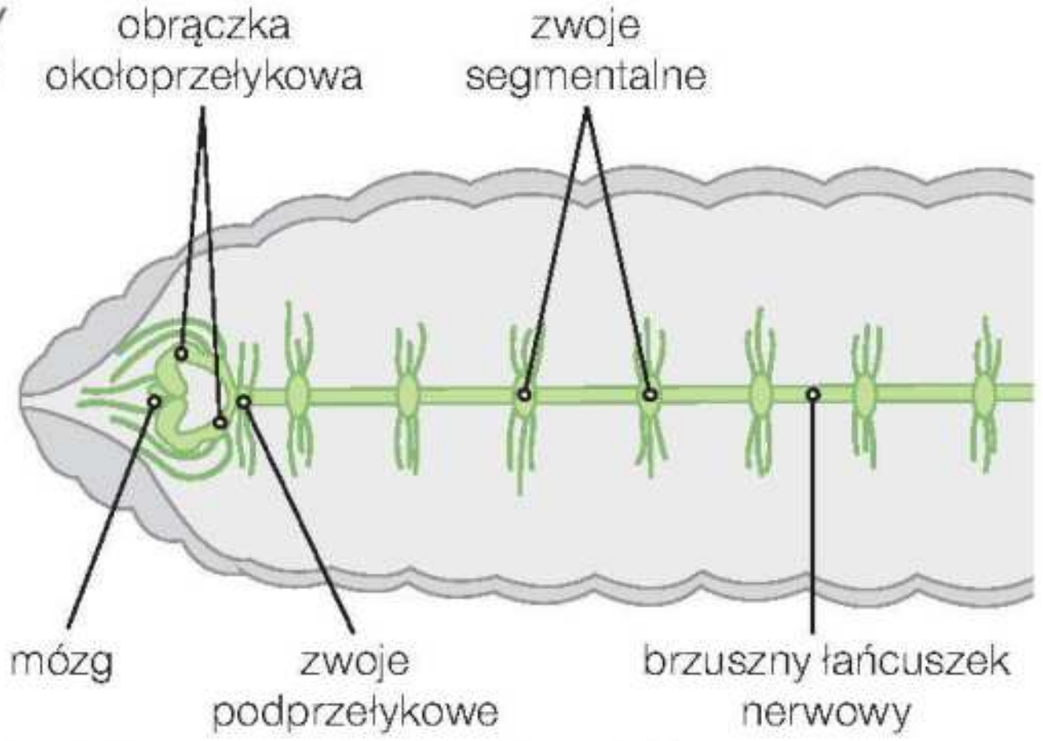
Układ nerwowy pierścienic

Układ nerwowy pierścienic składa się z pary zwojów nadprzełykowych (zwanych **mózgiem**), **obrączki okołoprzełykowej**, pary **zwojów podprzełykowych** i odchodzących od nich po brzusznej stronie ciała dwóch **pni nerwowych**. U niektórych gatunków pierścienic pnie nerwowe są połączone ze sobą poprzecznymi spoidłami, dzięki czemu ten fragment układu nerwowego przypomina drabinkę. Jednak u większości pnie nerwowe zlewają się ze sobą i tworzą **brzuszny łańcuszek nerwowy**. W każdym segmencie ciała na pniach nerwowych znajdują się parzyste zwoje nerwowe, nazywane **zwojami segmentalnymi**.

Narządy zmysłów pierścienic są zwykle dobrze rozwinięte. Na całej powierzchni ciała znajdują się receptory czuciowe, przy czym największym ich zagęszczeniem cechują się czułki, głaszczki i wąsy. Do chemoreceptorów należą narządy nuchalne zlokalizowane w pobliżu otworu gębowego. Prawie wszystkie wieloszczety i pijawki są wyposażone w fotoreceptory w postaci jednej lub kilku par oczu. Stopień rozwoju i możliwości tych narządów, np. zdolność odróżniania światła od ciemności, rejestrowania zmian natężenia światła czy rejestrowania ruchu, zależą od gatunku. Skąposzczety na ogół nie mają oczu. Reagują na światło dzięki licznym komórkom światłoczułym rozmieszczonym nieregularnie w powłoce ciała.



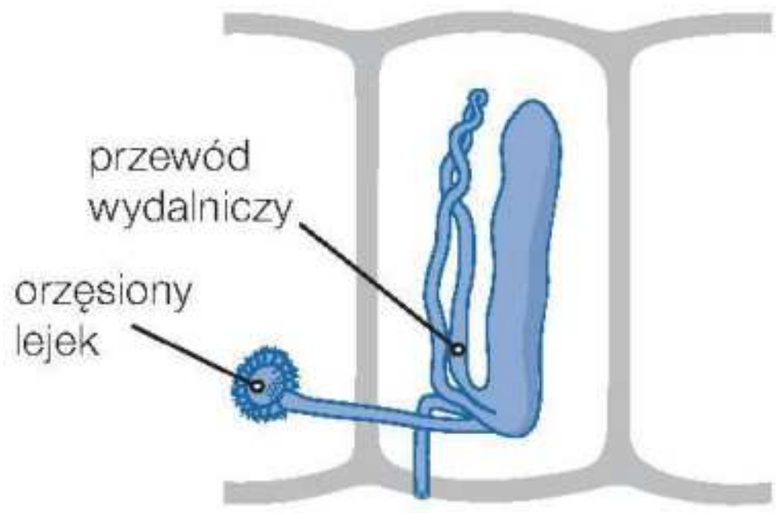
W zamkniętym układzie krwionośnym dżdżownicy krew w naczyniu grzbietowym płynie od tyłu do przodu ciała, a w naczyniu brzusznym – w kierunku przeciwnym. Ruch krwi napędzają skurcze mięśni naczynia grzbietowego oraz pulsujące naczynia okrężne.



Układ nerwowy dżdżownicy składa się z mózgu, zwojów podprzełykowych, obrączki okołoprzełykowej i brzusznego łańcuszka nerwowego. W każdym segmencie ciała łańcuszek nerwowy tworzy parzyste zwoje segmentalne.

Układ wydalniczy pierścienic

U większości pierścienic funkcje wydalnicze i osmoregulacyjne pełnią **metanefrydia**, przy czym w każdym segmencie znajduje się zazwyczaj jedna ich para. Pojedyncze metanefrydium składa się z **urzęsionego lejka** i **przewodu wydalniczego**. Otwór lejka jest skierowany do jamy ciała segmentu, natomiast przewód tworzy kilka pętli, po czym uchodzi na zewnątrz w następnym segmencie. U niektórych wieloszczetów występują **protonefrydia**. Brak w nich komórek płomykowych, które zostały zastąpione przez wyspecjalizowane komórki odfiltrowujące metabolity z płynu celomatycznego. Do nefrydiów wieloszczetów trafiają ponadto **podocyty** – komórki występujące na powierzchni naczyń krwionośnych, które filtrują zbędne produkty przemiany materii z krwi do płynu celomatycznego. U form wodnych ostatecznym produktem azotowej przemiany materii jest **amoniak**, a u form lądowych – **mocznik**.

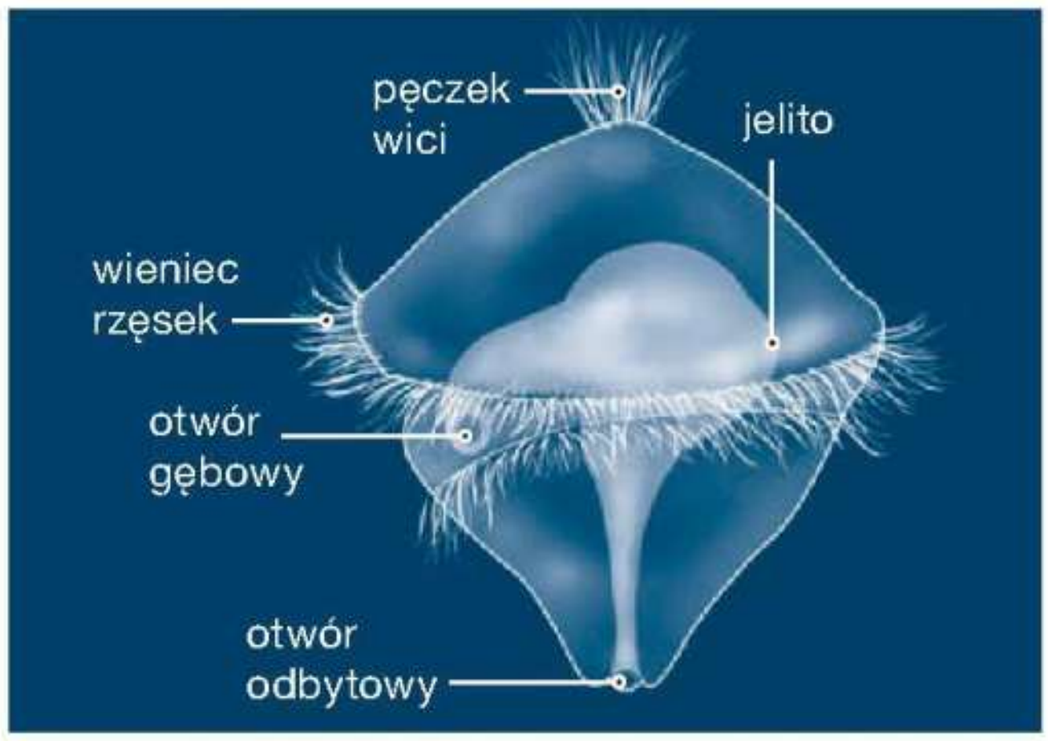


Układ wydalniczy większości pierścienic budują metanefrydia. Każde metanefrydium składa się z orzęsionego lejka, który otwiera się do jamy ciała i filtruje płyn celomatyczny, oraz przewodu wydalniczego, który uchodzi do środowiska w następnym segmencie ciała.

Rozmnażanie się i rozwój pierścienic

Pierścienice rozmnażają się głównie płciowo. Spotyka się wśród nich zarówno gatunki rozdzielnopłciowe, jak i obojnacze. Narządy rozrodcze pierścienic rozwijają się w kilku przednich segmentach, nazywanych **segmentami płciowymi**. Sposób rozmnażania płciowego i rozwój pierścienic należących do poszczególnych grup systematycznych jest wyraźnie zróżnicowany. Wieloszczety są z reguły **rozdzielnopłciowe**, u niektórych występuje dymorfizm płciowy.

U wszystkich gatunków zachodzi **zapłodnienie zewnętrzne**: gamety są uwalniane do wody, gdzie dochodzi do ich połączenia. Rozwój przedstawicieli tej grupy systematycznej jest zazwyczaj złożony. Z zapłodnionego jaja rozwija się planktoniczna orzęsiona larwa – **trochofora**. Ma ona dwa wieńce rzęsek oraz parę niewielkich, rozgałęzionych protonefrydiow. Larwa po pewnym czasie opada na dno i przeobraża się w postać dojrzałą.



U larw wieloszczetów otwór gębowy leży między wieńcami rzęsek. Prowadzi on do krótkiego jelita, zakończonego otworem odbytowym położonym w dolnej części ciała larwy.

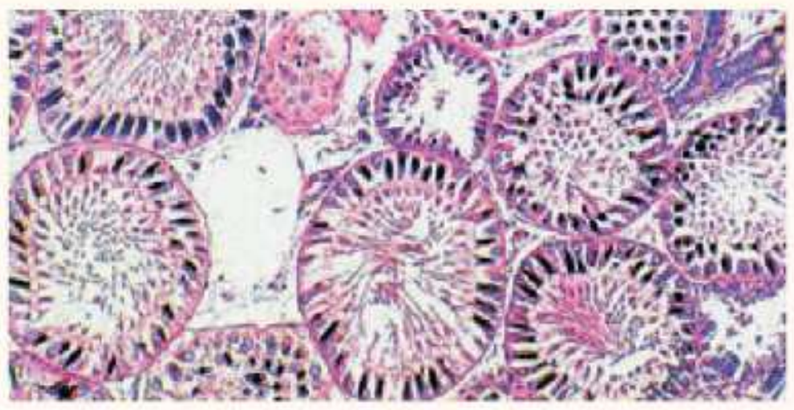
Skąposzczety i pijawki są zwykle **obojnakami**, u których występuje **zapłodnienie krzyżowe**. Dojrzałe płciowo osobniki łączą się ze sobą za pośrednictwem śluzu wytwarzanego przez **siodełko**. Następnie wzajemnie przekazują sobie nasienie, które jest przechowywane w zbiornikach nasiennych. Po pewnym czasie z wydzieliny gruczołów siodełka powstaje śluzowa otoczka, która przekształca się w **kokon** przesuwany stopniowo do przodu ciała. W jego obrębie u skąposzczetów dochodzi do **zapłodnienia zewnętrznego**: zostają do niego złożone komórki jajowe, a następnie przechowywane w pęcherzykach nasiennych plemniki, pochodzące od drugiego osobnika uczestniczącego w rozmnażaniu. Kokon jest następnie zsuwany z ciała, po czym tężeje, a w jego wnętrzu rozwijają się zapłodnione jaja. U pijawek występuje **zapłodnienie wewnętrzne**. Dzięki temu do kokonu trafiają już zapłodnione komórki jajowe.

Skąposzczety i pijawki przechodzą **rozwój prosty** – młode osobniki po opuszczeniu kokonów są podobne do osobników dorosłych.

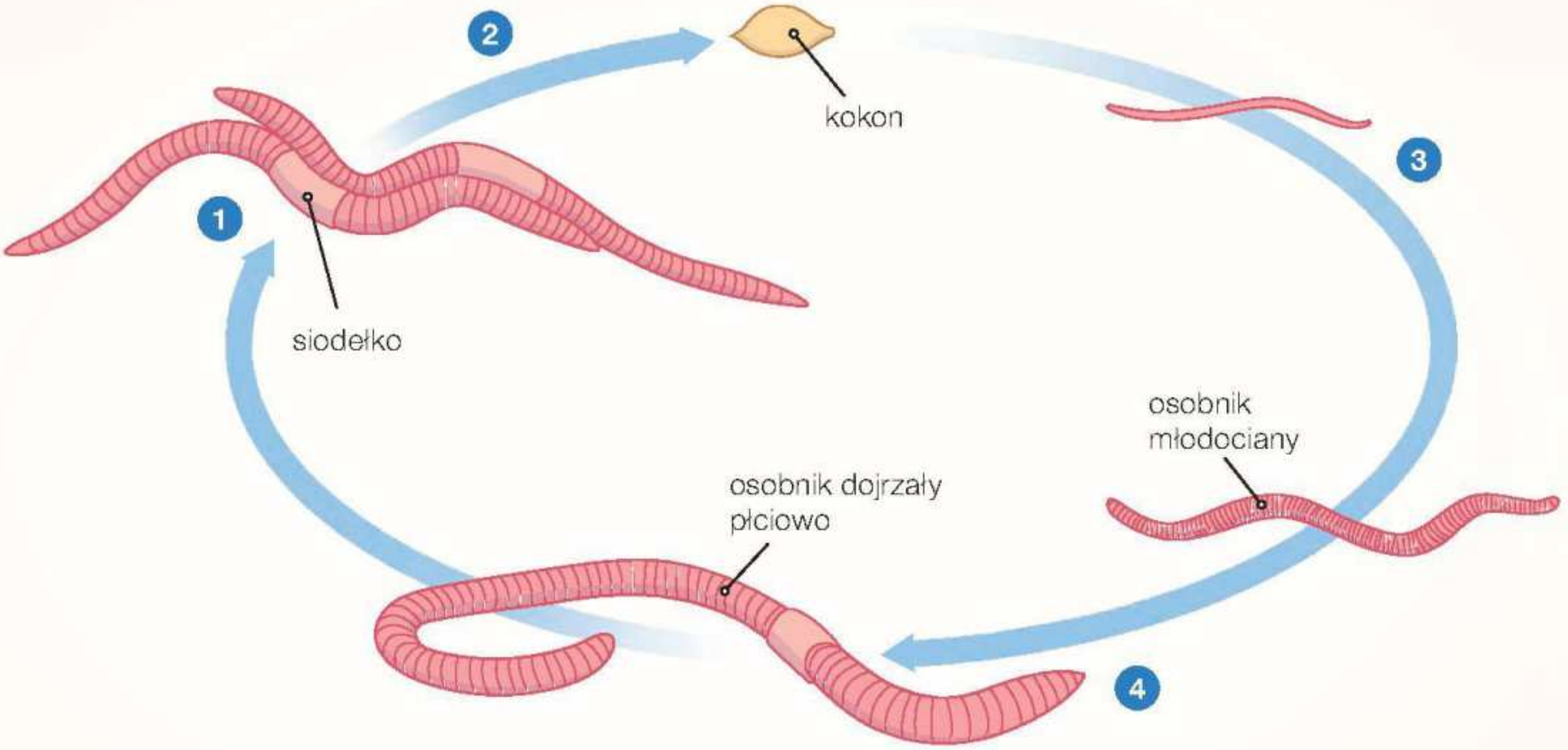
Niektóre wieloszczety i skąposzczety są zdolne do **rozmnażania bezpłciowego**. Polega ono na poprzecznym podziale ciała (przeważnie na dwie części) i regeneracji brakującego fragmentu. Zdolności regeneracji u poszczególnych grup pierścienic są różne: stosunkowo małe u skąposzczetów, dość duże u wieloszczetów, u których mogą się regenerować czułki i parapodia, oraz minimalne, ograniczone do zdolności gojenia się ran u pijawek. Niektóre gatunki pierścienic mogą rozmnażać się **partenogenetycznie**.

Rozmnażanie się dżdżownicy ziemnej

Dżdżownice ziemne są obojnakami, u których występuje zapłodnienie krzyżowe. Męskie narządy rozrodcze składają się z parzystych jąder, pęcherzyków nasiennych oraz nasieniowodów otwierających się na zewnątrz ciała. Żeńskie narządy rozrodcze obejmują parzyste jajniki, woreczki jajowe oraz jajowody. Ponadto w ciele dżdżownic znajdują się zbiorniki nasienne służące do gromadzenia nasienia partnera.



Kanaliki nasienne dżdżownicy ziemnej (obraz spod mikroskopu optycznego).



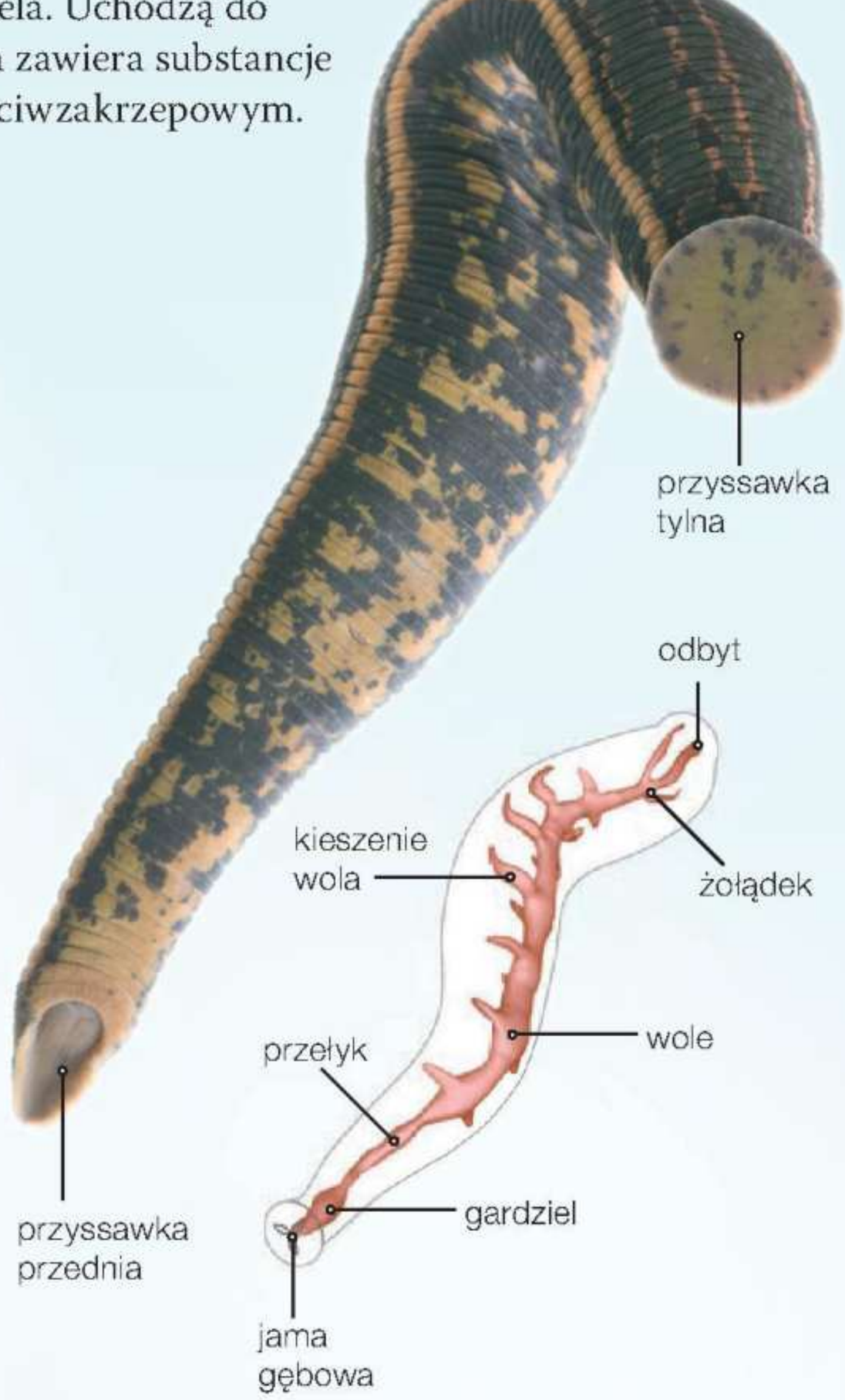
1. Dwa osobniki stykają się przednimi częściami ciała i przekazują sobie wzajemnie nasienie. Nasienie jest gromadzone w zbiornikach nasiennych. Po pewnym czasie z wydzieliny siodełka powstaje kokon, który przesuwa się ku przodowi ciała, zbierając komórki jajowe i plemniki. Następnie dochodzi do zapłodnienia komórek jajowych.
2. Kokon zsuwa się z ciała dżdżownicy do środowiska i zamyka z obu stron. Jedno z zapłodnionych jaj rozwija się w zarodek, a następnie w osobnika potomnego.
3. Osobnik potomny opuszcza kokon, rośnie i dojrzewa płciowo.
4. Dojrzały płciowo osobnik z wykształconym siodełkiem jest zdolny do rozmnażania płciowego.

Pijawki – pierścienice w większości pasożytnicze

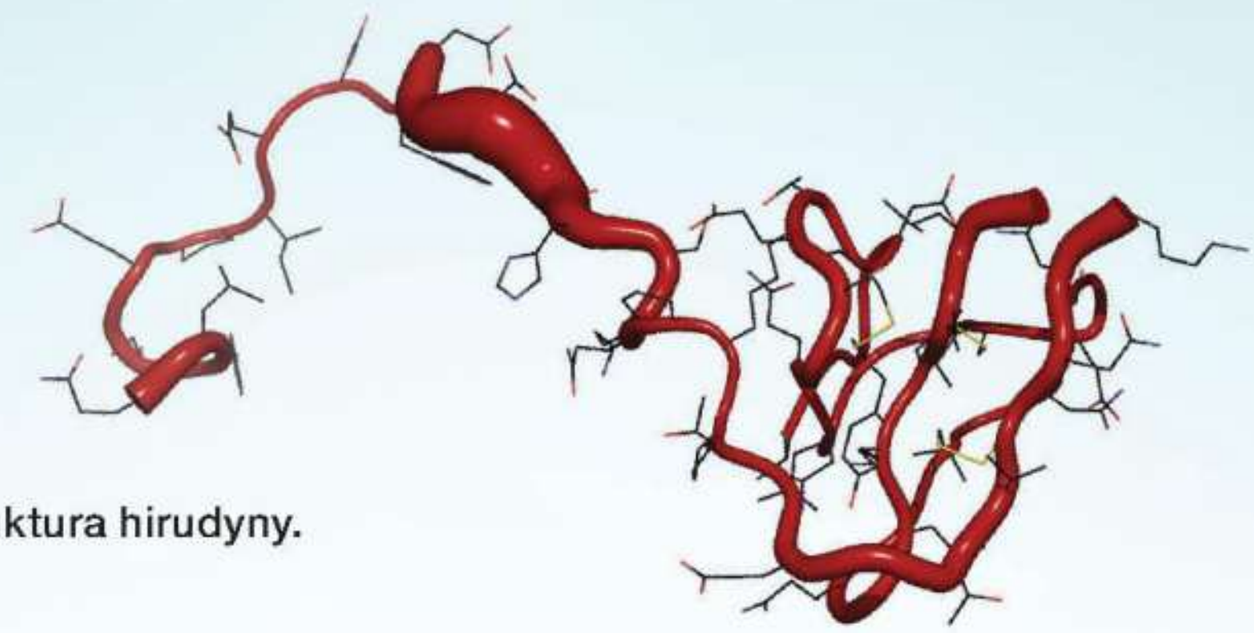
Pijawki są najczęściej pasożytami zewnętrznymi odżywiającymi się krwią kręgowców. Niektóre gatunki przebijają powłoki ciała żywiciela za pomocą ryjka utworzonego przez wysuwającą się na zewnątrz gardziel. Inne wykorzystują w tym celu trzy ząbkowane szczęki. Gardziel pełni funkcję pompy ssącej – zasysa krew z ciała żywiciela. Uchodzą do niej ponadto gruczoły ślinowe, których wydzielina zawiera substancje o działaniu znieczulającym, rozkurczowym i przeciwzakrzepowym.

Szczęki zaopatrzone są w liczne ząbki, które umożliwiają przecięcie powłok skórnych żywiciela.

U pijawek na dnie przyssawki przedniej znajduje się otwór gębowy. Natomiast po grzbietowej stronie przyssawki tylnej mieści się otwór odbytowy.



Większa część **układu pokarmowego** pijawek służy do magazynowania pokarmu. Trawienie i wchłanianie zachodzi tylko w krótkim odcinku, z tyłu ciała.



Struktura hirudyny.

Hirudyna jest substancją działającą przeciwzakrzepowo. Białko to, znajdujące się w kieszeniach wola, umożliwia długotrwałe przechowywanie krwi w niezmienionym stanie.

Znaczenie pierścienic w przyrodzie i dla człowieka

Udział w procesach glebotwórczych

Dżdżownice poprzez drążenie w glebie korytarzy utrzymują właściwą strukturę gleby. Przyczyniają się również do wzrostu jej żyzności.

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 *(Hirudo medicinalis)* jest od tysiącleci stosowana w medycynie. 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 silne jady, które mogą stanowić zagrożenie dla zdrowia człowieka. Dość częste oparzenia skóry powoduje wieloszczet wędrujący *(Hermodice carunculata)*, występujący m.in. w Morzu Śródziemnym.

Polecenia kontrolne

1. Podaj przykład metamerii w budowie pierścienic.
2. Wymień cechy budowy odróżniające pijawki od innych pierścienic.
3. Opisz działanie hydroszkieletu pierścienicy.
4. Opisz budowę układów krwionośnego i wydalniczego pierścienic.
5. Porównaj sposoby rozmnażania się wieloszczetów, skąposzczetów i pijawek.

5.11. Stawonogi – zwierzęta o członowanych odnóżach

Zwróć uwagę na:
- podtypy stawonogów,
- budowę i czynności życiowe stawonogów.

Stawonogi (Arthropoda) są najliczniej reprezentowanym typem zwierząt – obecnie znanych jest ponad 1,3 mln gatunków. Organizmy te rozprzestrzeniły się na całej kuli ziemskiej, a niektóre gatunki występują w populacjach liczących miliardy osobników. Stawonogi żyją w wodach słodkich i słonych oraz w znacznej większości środowisk lądowych. Niektóre zasiedliły glebę, inne – dzięki wykształceniu skrzydeł – opanowały środowisko powietrzne.

Współcześnie żyjące stawonogi dzieli się na trzy podtypy: **skorupiaki**, **szczękoczułkopodobne** (do których należą m.in. pajęczaki) oraz **tchawkodyszne** (do których należą wije i owady).

Ogólna budowa ciała stawonogów

Stawonogi, mimo ogromnego zróżnicowania trybu życia, mają wspólny plan budowy. Ich ciało jest podzielone na **segmenty**, których zespoły tworzą zwykle wyraźnie wyodrębnione odcinki, tzw. **tagmy**: głowę, tułów i odwłok. Ten typ metamerii nosi nazwę **heteronomicznej**. U niektórych gatunków tagmy łączą się ze sobą lub całkowicie ulegają redukcji. Na przykład na skutek zrośnięcia się głowy i tułowia u części skorupiaków powstał głowotułów, wije z kolei nie mają odwłoka.

Odnóża stawonogów wyrastają z boków ciała. Są one zbudowane z **odcinków** połączonych **stawami** (stąd nazwa typu). Pierwotnie każdy segment, z wyjątkiem pierwszego i ostatniego, był zaopatrzony w parę odnóży pełniących funkcje lokomotoryczne. Wraz z różnicowaniem się segmentów zmianom ulegała też budowa odnóży, które przystosowały się do pełnienia różnych funkcji. **Odnóża głowowe** odgrywają rolę narządów zmysłów (np. czułki) i służą do pobierania pokarmu (np. szczęki). **Odnóża tułowiowe** najczęściej stanowią narząd ruchu, natomiast **odnóża odwłokowe** pełnią różne funkcje, m.in. związane z rozrodem.

Stawonogi są zwierzętami **trójwarstwowymi** o symetrii dwubocznej. Przestrzeń między ich narządami wewnętrznymi zajmuje jama ciała o dwojakim pochodzeniu. Powstaje ona w wyniku połączenia jamy pierwotnej z jamą wtórną, dlatego nosi nazwę **miksocelu**. Jamę ciała wypełnia **hemolimfa**.

Stawonogi			
skorupiaki	szczękoczułkopodobne	tchawkodyszne	
	pajęczaki	owady	wije
• zwierzęta głównie wodne, zasiedlające wody słone (np. kraby, krewetki) i słodkie (np. raki, oczliki, rozwielitki) • niektóre gatunki występują na lądzie (np. stonogi) • wielkość waha się od ułamków milimetra (gatunki planktonowe) do 3 m (niektóre kraby)	• zwierzęta głównie lądowe • nieliczne gatunki zasiedlają środowisko wodne (np. ostrogony) • wielkość waha się od ułamków milimetra (roztocze) do ok. 18 cm (skorpiony)	• zwierzęta głównie lądowe • nieliczne gatunki zasiedliły środowisko wodne (np. pływak żółtobrzeżek) • większość gatunków ma zdolność lotu • wielkość waha się od ułamków milimetra (niektóre chrząszcze) do ok. 18 cm (niektóre szarańczaki)	• zwierzęta lądowe • wielkość waha się od ułamków milimetra (niektóre skąponogi) do prawie 40 cm (krocionóg olbrzymi)

Budowa morfologiczna wybranych grup stawonogów

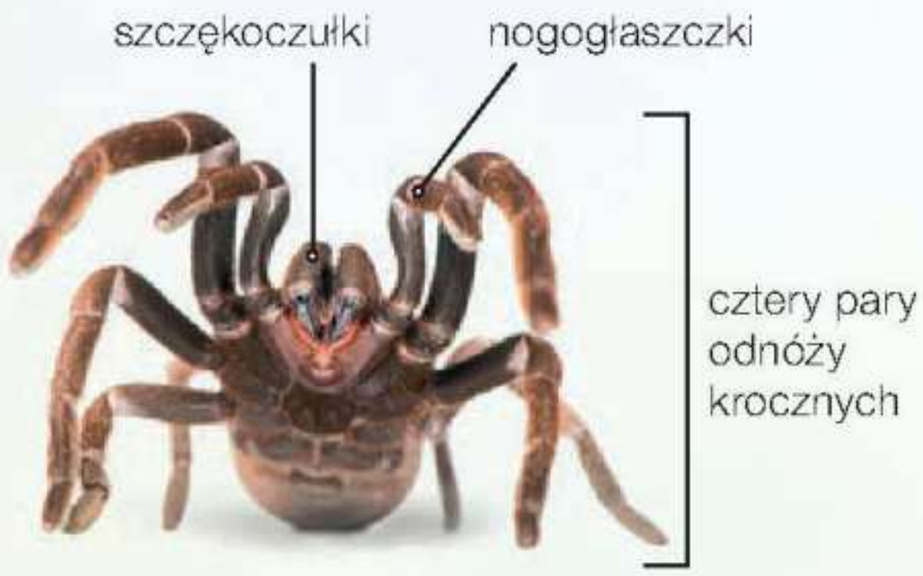
Stawonogi cechują się wspólnym planem budowy. Ich ciało jest podzielone na tagmy, a odnóża są członowane.

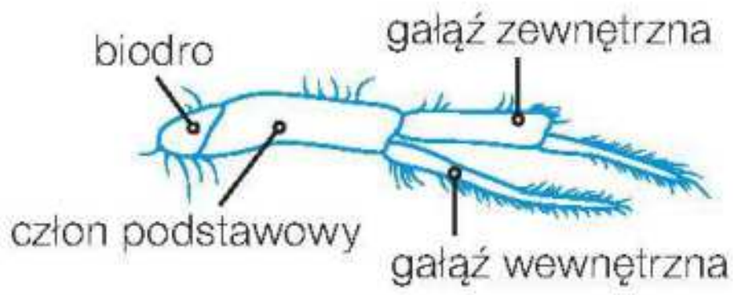
Skorupiaki (z grupy pancerzowców)

Skorupiaki mają ciało podzielone na dwie tagmy – głowotułów i odwłok.

Pajęczaki

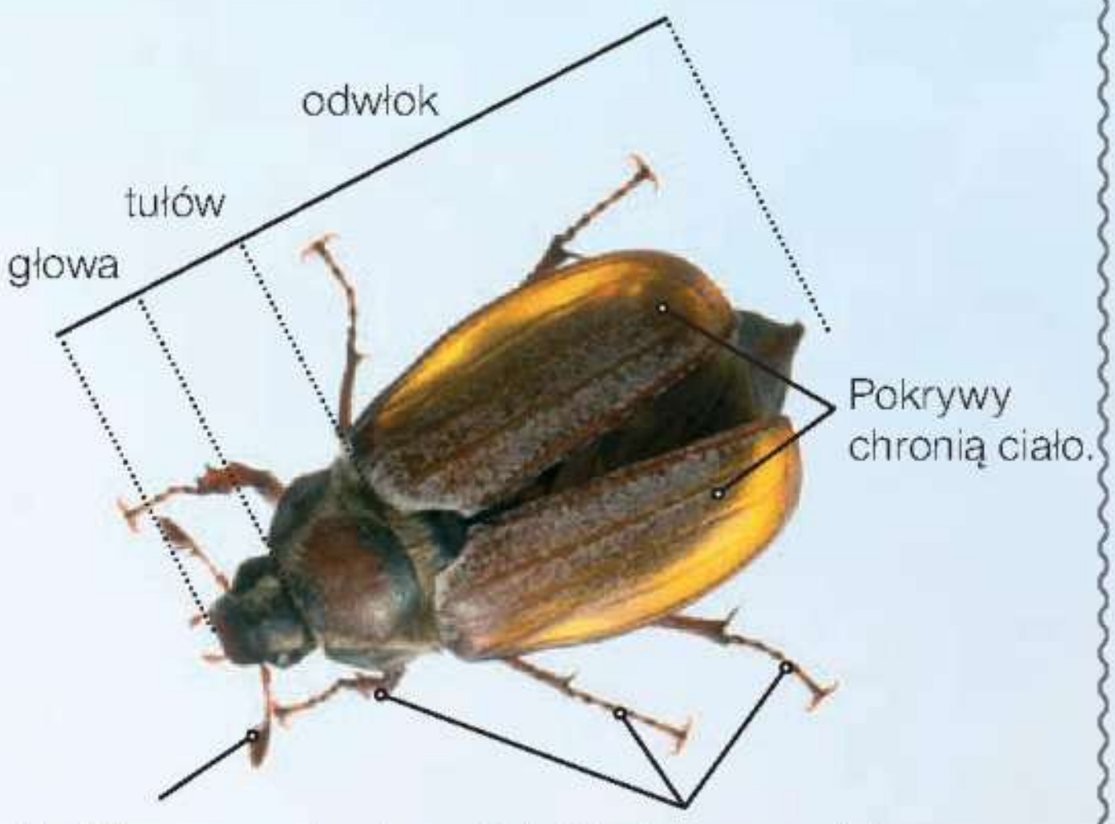
Pajęczaki mają ciało podzielone na dwie tagmy – głowotułów i odwłok.



Odnóża	Skorupiaki	Pajęczaki
Głowowe	dwie pary czułków oraz odnóża gębowe: para żuwaczek i dwie pary szczęk	dwie pary: szczękoczułki i nogogłaszczki
Tułowiowe	osiem par; pełnią głównie funkcję lokomotoryczną, u większości gatunków pierwsze trzy pary są przekształcone w szczękonóża	cztery pary o funkcji lokomotorycznej
Odwłokowe	sześć par; pełnią funkcje rozrodcze, wspomagają oddychanie i ruch	brak lub są przekształcone w kądziołki przędne, które służą do wytwarzania nici pajęczej
Plan budowy	dwugałęziste, złożone z wielu elementów 	złożone z siedmiu elementów

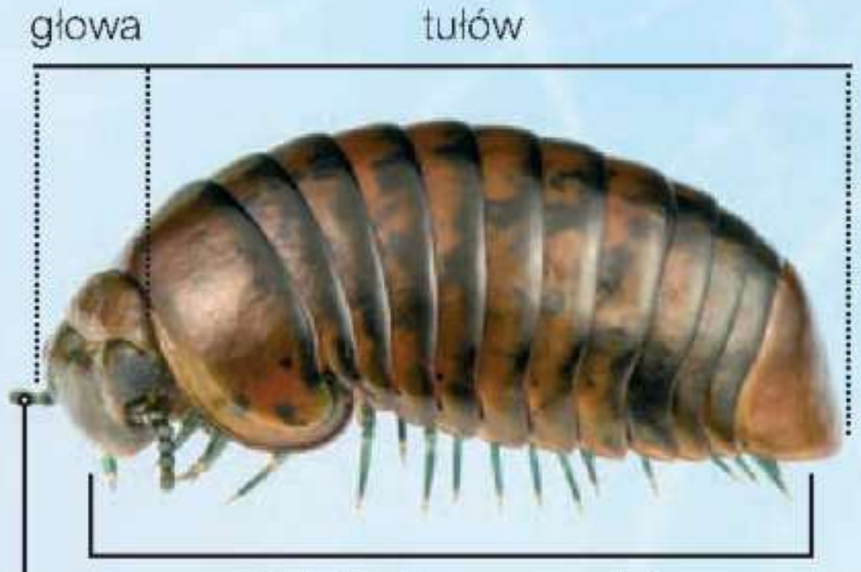
Owady

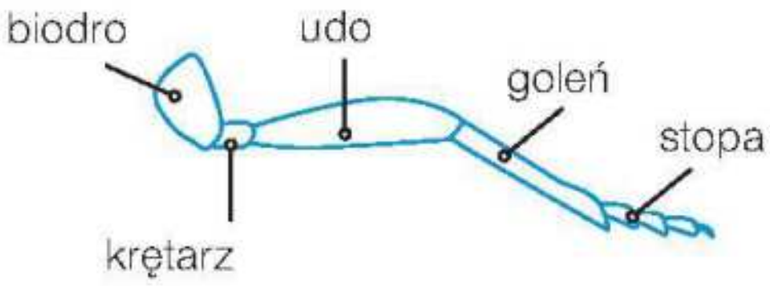
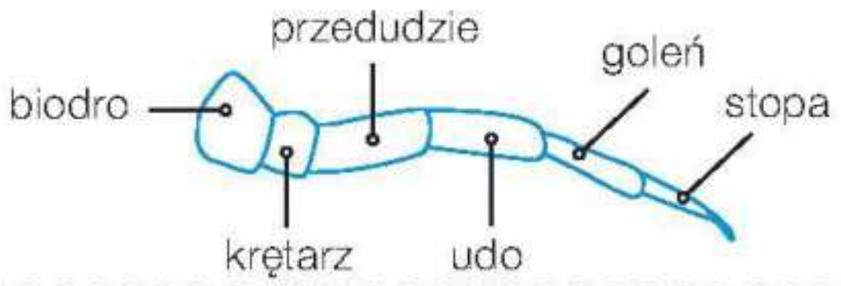
Owady mają ciało podzielona na trzy tagmy – głowę, tułów i odwłok. Większość owadów wykształciła skrzydła.



Wije

Wije mają ciało podzielona na dwie tagmy – głowę i tułów.



Odnóża	Owady	Wije
Głowowe	jedna para czułków oraz odnóża gębowe: para żuwaczek i dwie pary szczęk	jedna para czułków oraz odnóża gębowe: para żuwaczek i jedna lub dwie pary szczęk
Tułowiowe	trzy pary o funkcji lokomotorycznej	od sześciu do kilkuset par o funkcji lokomotorycznej, u niektórych gatunków pierwsza para przekształcona w szczękonóża, a ostatnia w narządy czuciowe lub obronne
Odwłokowe	brak	brak
Plan budowy	złożone z pięciu elementów 	złożone z sześciu elementów 

Modyfikacje odnóży u owadów

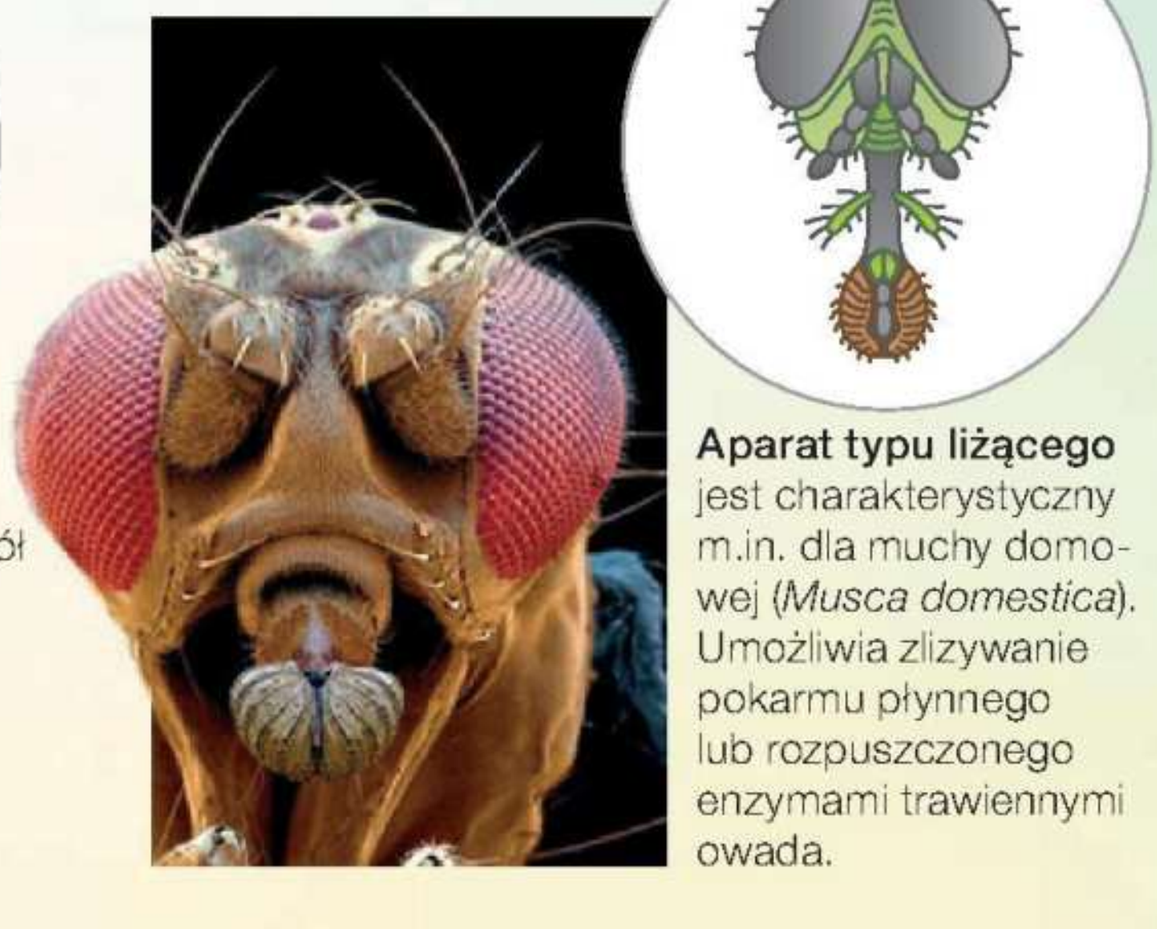
Budowa odnóży poszczególnych grup stawonogów wiąże się ściśle z prowadzonym przez nie trybem życia i rodzajem pobieranego pokarmu. Największym modyfikacjom uległy odnóża gębowe owadów, które przekształciły się w aparaty gębowe, oraz odnóża tułowiowe.

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 (Acrididae). Umożliwia pobieranie pokarmu stałego.

Aparat typu gryząco-liżącego występuje m.in. u pszczół (Apiformes). Pozwala na rozdrabnianie pyłku kwiatowego, urabianie wosku i wysysanie płynnego pokarmu, np. nektaru.



Aparat typu liżącego jest charakterystyczny m.in. dla muchy domowej (*Musca domestica*). Umożliwia zlizywanie pokarmu płynnego lub rozpuszczonego enzymami trawiennymi owada.

Aparat typu kłująco-ssącego występuje np. u komarów (Culicidae). Pozwala na przebicie powłok ciała, a następnie pobieranie soków roślin lub płynów ciała zwierząt.

Aparat typu ssącego występuje u motyli (Lepidoptera). Umożliwia wysysanie nektaru kwiatów.

Odnóża tułowiowe

Odnóża tułowiowe owadów składają się z pięciu 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.

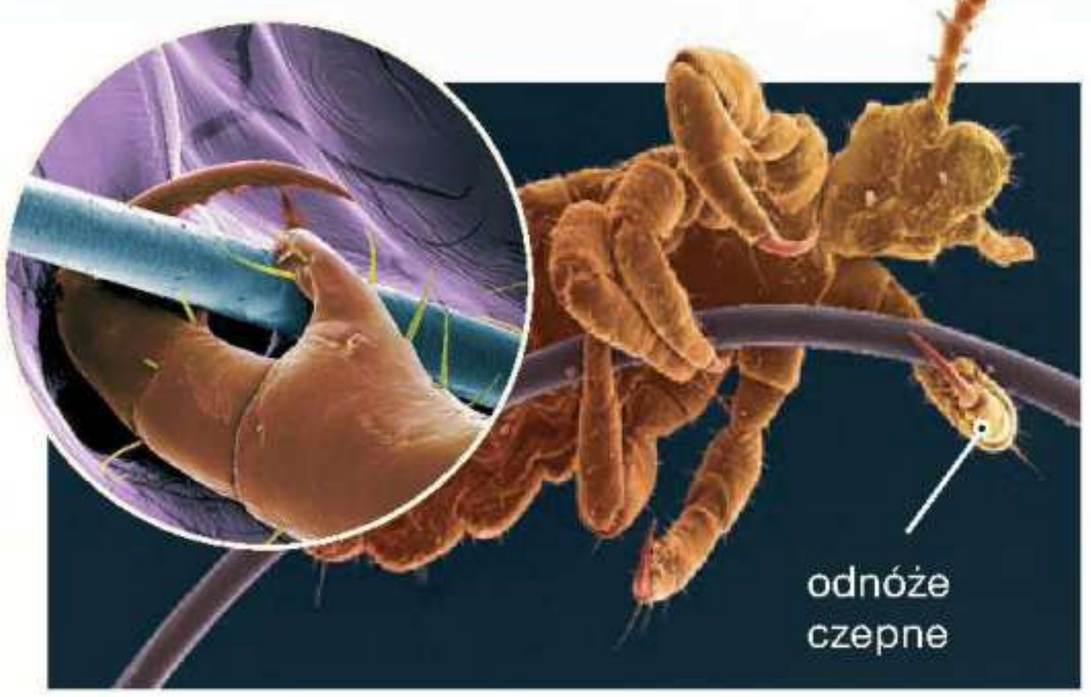
Odnóża kroczne są pierwotnym typem odnóży. Umożliwiają ruch kroczny, w tym bieganie. U chrząszczy z rodziny biegaczowatych (Carabidae) wszystkie odnóża tułowiowe są typu krocznego.

Odnóża skoczne są długie i mają silnie umięśnione udo. Umożliwiają skoki na duże odległości. Występują np. u pasikoników (Tettigonioidea).

Odnóża chwytne mają wydłużone biodro oraz aparat chwytny utworzony przez udo i goleń. Umożliwiają chwytanie i przytrzymywanie ofiary. Występują u owadów drapieżnych, np. u modliszek (Mantodea).

Odnóża grzebne są grube i spłaszczone, a swoim kształtem przypominają łopatki. Umożliwiają drążenie korytarzy w glebie. Występują m.in. u turkucia podjadka (*Gryllotalpa gryllotalpa*).

Odnóża pływne są spłaszczone i mają kształt wioseł. Umożliwiają pływanie. Występują m.in. u pływaka żółtobrzeżka (*Dytiscus marginalis*).



Odnóża czepne mają wyrostek na goleni oraz stopę zakończoną ruchomym pazurkiem. Umożliwiają utrzymywanie się na włosach lub sierści. Występują m.in. u wszy ludzkiej (*Pediculus humanus*).

Pokrycie ciała stawonogów

Całe ciało stawonogów wraz z odnóżami jest pokryte przez twardy **oskórek** (kutykulę), który stanowi wytwór leżącego pod nim jednowarstwowego **nabłonka**. Oskórek, zwany również **pancerzem**, składa się głównie z **chityny**, a także z białek i lipidów. U wielu skorupiaków jest wysycony solami wapnia, co znacznie zwiększa jego sztywność i wytrzymałość. Oskórek stawonogów jest niemal nieprzepuszczalny dla wody i gazów, odznacza się również dużą odpornością na urazy mechaniczne oraz działanie substancji chemicznych. Poza funkcją ochronną pełni też funkcję **szkieletu zewnętrznego**, ponieważ od wewnątrz przyczepione są do niego mięśnie. Oskórek każdego segmentu jest zbudowany z twardych płytek połączonych miękką błoną, która umożliwia przemieszczanie segmentów względem siebie. U skorupiaków i pajęczaków grzbietowa część oskórka tworzy jednolitą, twardą okrywę głowotułowia, zwaną **karapaksem**.

Aby umożliwić wzrost zwierzęcia, oskórek musi być okresowo zrzucany w procesie **linienia**. Stary pancerz pęka, a zwierzę wysuwa się z niego okryte nowym, miękkim oskórkiem. W krótkim czasie następuje szybki wzrost ciała, a następnie twardnienie oskórka. Linienie dotyczy wszystkich części okrytych oskórkiem: powłoki ciała, jelit przedniego i tylnego oraz dróg oddechowych. U części stawonogów linienie i wzrost zachodzą przez całe życie, inne przestają rosnąć po osiągnięciu dojrzałości płciowej.

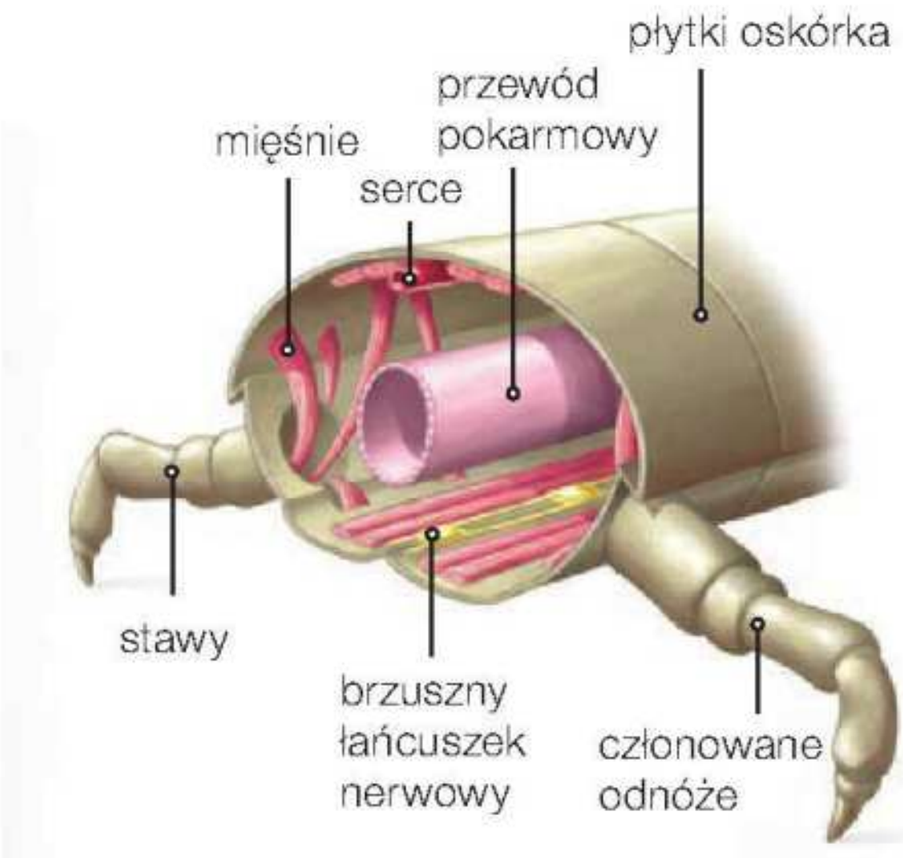
Stawonogi nie mają wora powłokowo-mięśniowego. Ich mięśnie nie tworzą regularnej warstwy, lecz dzielą się na odrębne grupy pełniące rozmaite zadania. Mięśnie stawonogów – w odróżnieniu od większości bezkręgowców – są zbudowane z **tkanki mięśniowej poprzecznie prążkowanej**.

U większości owadów występują **skrzydła**. Nie są one przekształconymi odnóżami, lecz wytworami powłoki ciała – powstają jako uwypuklenia nabłonka i oskórka.

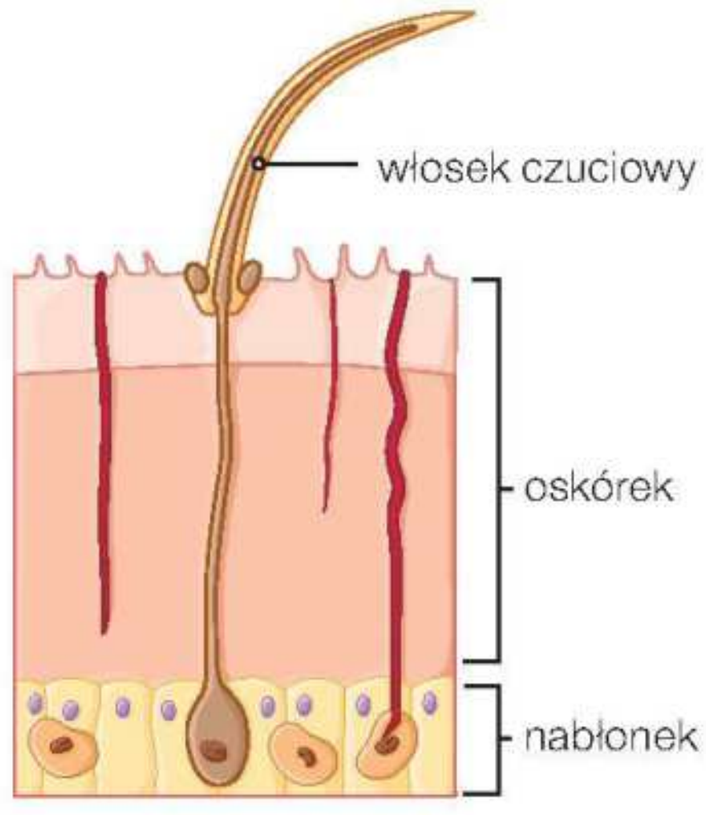
Powłoka ciała niektórych owadów, np. świetlikowatych, wytwarza **narządy świetlne**, które służą do wabienia ofiar lub partnerów do rozrodu. Mają one zwykle postać gruczołów wytwarzających substancję zwaną lucyferyną. W procesie jej utlenienia powstaje światło.

Budowa powłoki ciała stawonogów

Powłoka ciała stawonogów jest zbudowana z jednowarstwowego nabłonka i chitynowego oskórka. Oskórek pełni funkcję ochronną i stanowi przyczep dla mięśni.



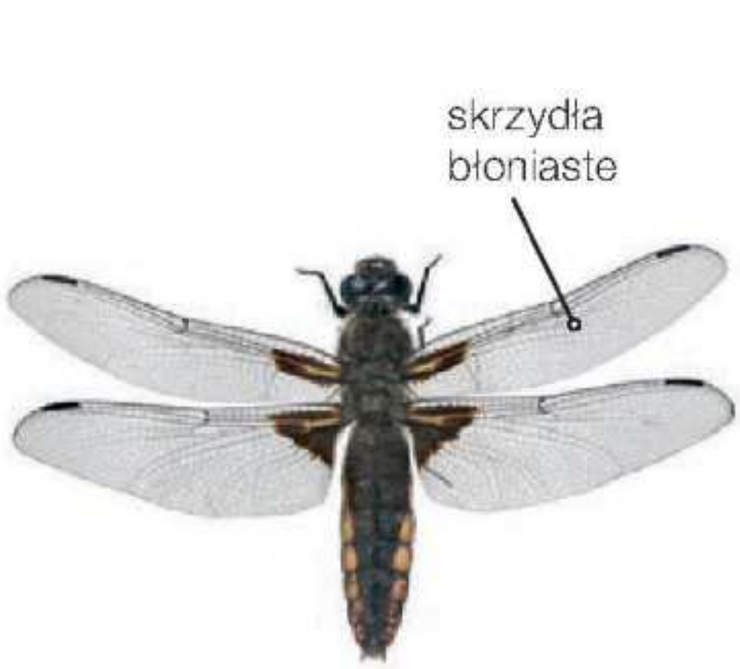
Szkielet zewnętrzny stawonogów stanowi przyczep dla mięśni oraz zapewnia skuteczną ochronę przed szkodliwymi czynnikami środowiska.



Nabłonek stawonogów (hipoderma) wytwarza oskórek, zbudowany przede wszystkim z chityny. Oskórek jest kilkadziesiąt razy grubszy niż nabłonek.

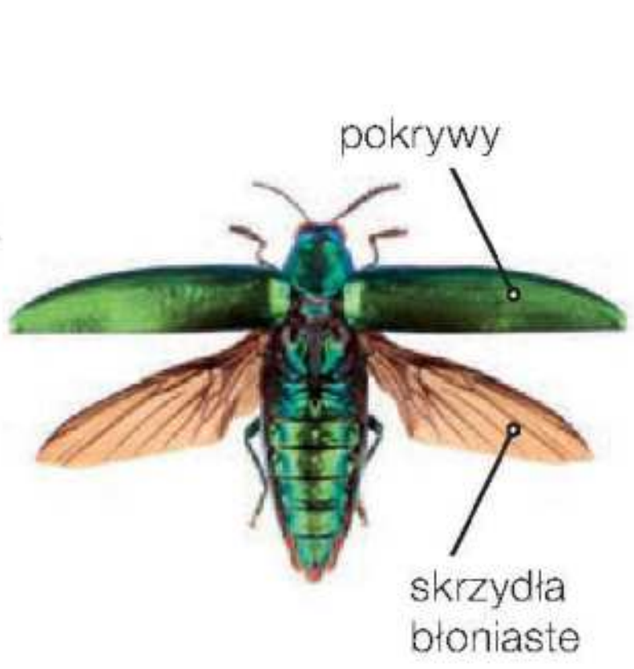
Skrzydła owadów

Większość owadów jest pierwotnie skrzydlata. Tylko niektóre z nich nie mają skrzydeł. Owadami pierwotnie bezskrzydłymi są np. rybiki, a wtórnie bezskrzydłymi np. pchły i wszy. Skrzydła to wytwory powłoki ciała, które są umiejscowione na tułowiu. Niektóre owady mają dwie pary błoniastych skrzydeł o podobnej budowie morfologicznej. U innych jedna para skrzydeł jest błoniasta, a druga przekształcona np. w przezmianki lub pokrywy.



Owady takie jak ważki, pszczoły czy motyle mają dwie pary błoniastych skrzydeł. Mogą one mieć tę samą wielkość lub pierwsza para jest większa.

Komary i muchy mają tylko jedną parę błoniastych skrzydeł. Druga para przekształciła się w tzw. przezmianki, które są narządami równowagi.



Pierwsza para skrzydeł chrząszczy przekształciła się w pokrywy chroniące ciało owada w czasie spoczynku. Natomiast druga, błoniasta, umożliwia latanie.

Ruch stawonogów

Stawonogi opanowały praktycznie wszystkie środowiska, dlatego musiały przystosować się do sprawnego poruszania się w każdym z nich. Adaptacje dokonały się zarówno w budowie ciała, głównie narządów lokomotorycznych, jak i w sposobie poruszania się.

Stawonogi wodne, np. planktonowe skorupiaki – wioślarki, pływają często za pomocą **ruchów wiosłowych**. Narządem lokomotorycznym służącym do takiego ruchu są odpowiednio zmodyfikowane odnóża. Mają one dużą powierzchnię, dzięki czemu działają jak wiosła.

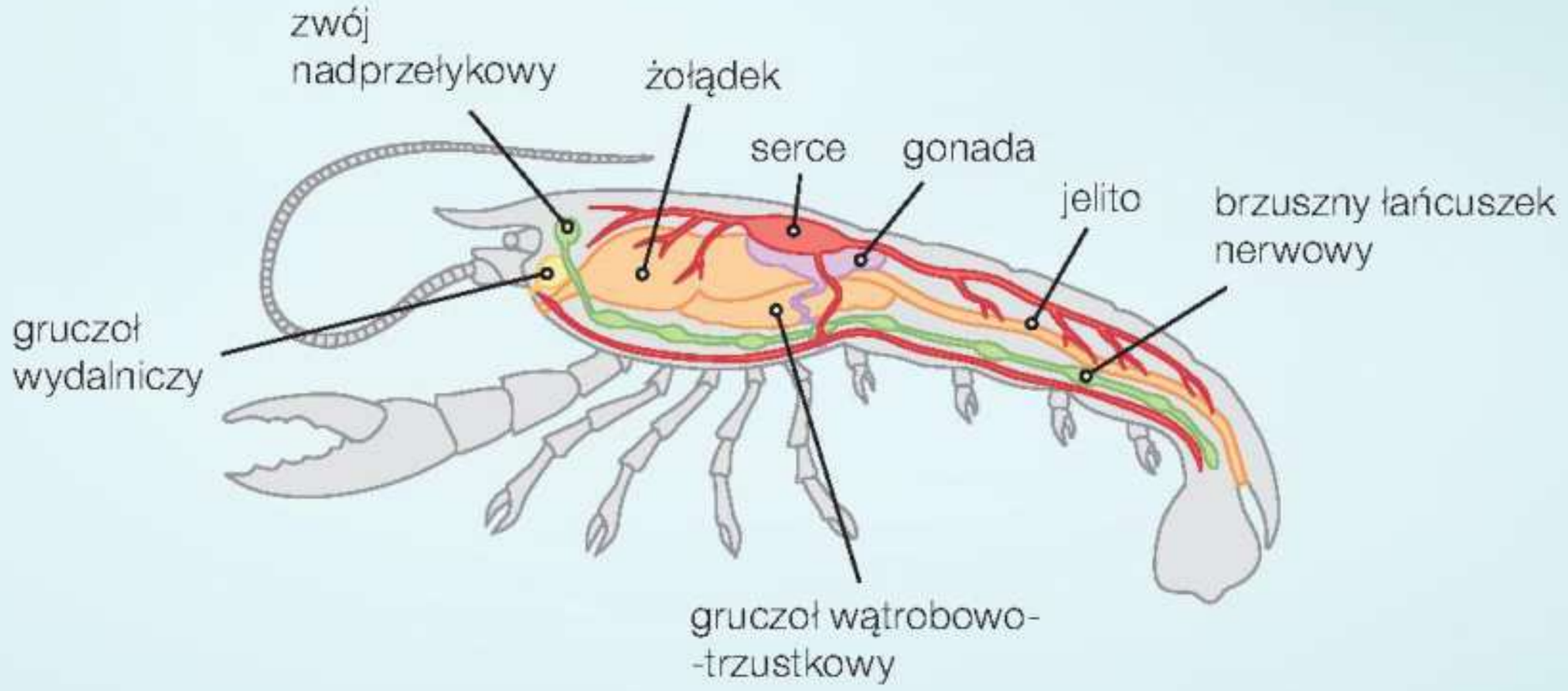
Niektóre stawonogi poruszają się po powierzchni wody, wykorzystując zjawisko napięcia powierzchniowego. Ruch ten jest często nazywany **ruchem ślizgowym**. Stosują go niektóre owady, np. nartnik, lub pajęczaki, np. topik. Duża część skorupiaków, m.in. raki i kraby, prowadzi przydenny tryb życia. Poruszają się one po dnie zbiornika wodnego **ruchem kroczącym**.

Stawonogi lądowe przemieszczają się głównie ruchem kroczącym. Niektóre są zdolne do szybkiego biegania lub do skakania. Większość owadów przemieszcza się również za pomocą **aktywnego lotu**.

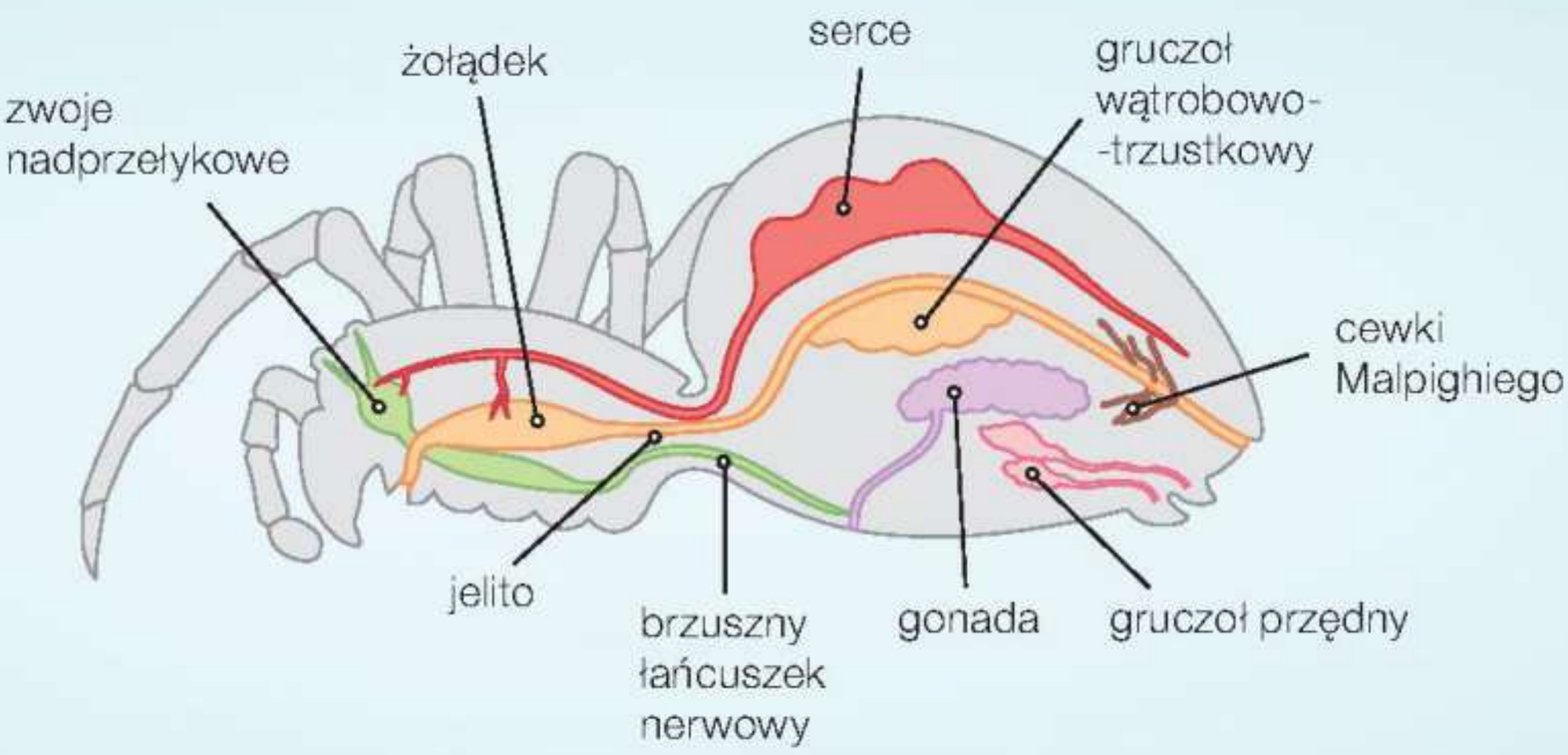
W nietypowy sposób poruszają się niektóre wije. Zwijają się w kulkę i toczą po podłożu.

Budowa wewnętrzna stawonogów

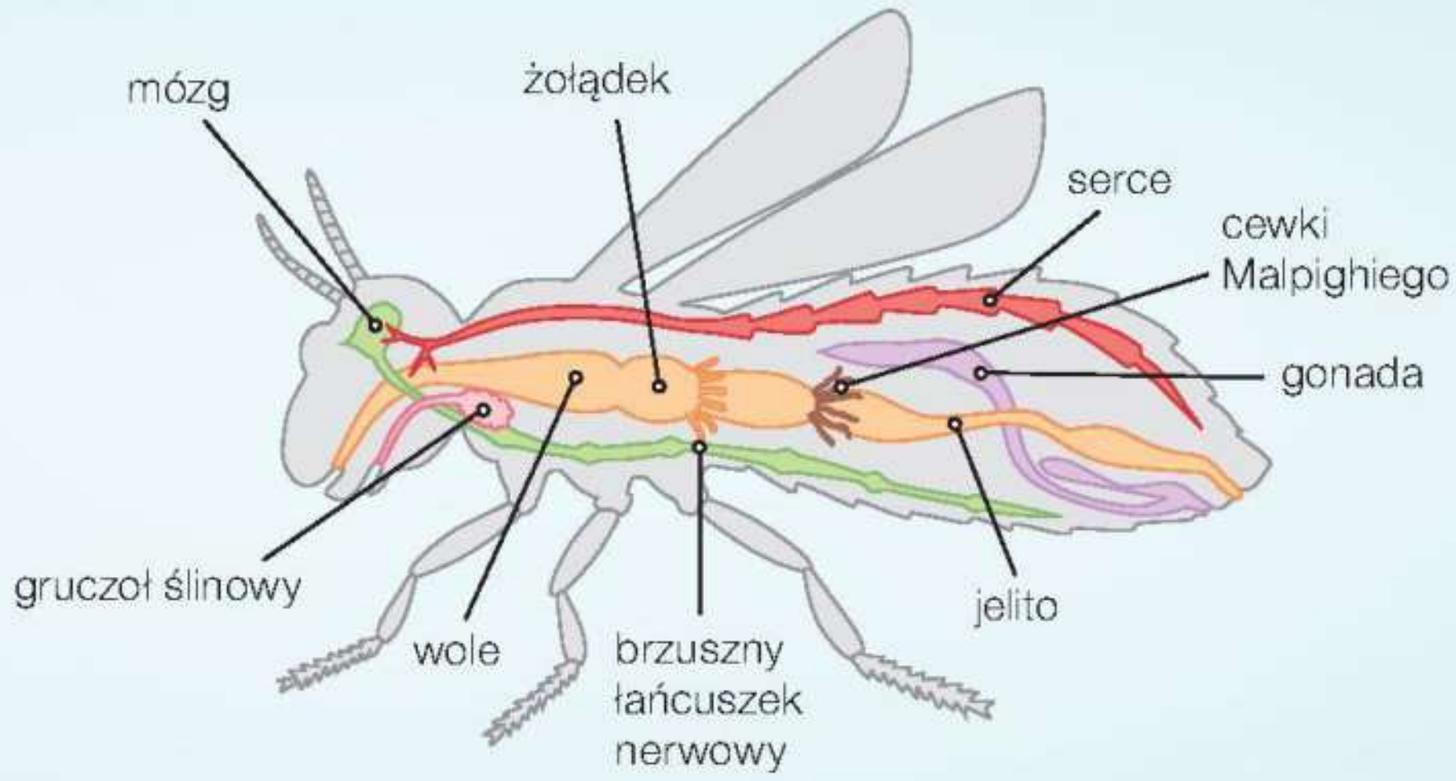
Zwierzęta należące do poszczególnych podtypów stawonogów różnią się od siebie m.in. szczegółami budowy układów: pokarmowego, wydalniczego i nerwowego.



Budowa wewnętrzna skorupiaków na przykładzie raka.



Budowa wewnętrzna szczękoczułkopodobnych na przykładzie pająka.



Budowa wewnętrzna tchawkodysznych na przykładzie owada.

Układ pokarmowy stawonogów

Przewód pokarmowy stawonogów składa się z trzech odcinków: **jelita przedniego, jelita środkowego** i **jelita tylnego**. Pierwszy i ostatni odcinek wyścieła chitynowa kutykula. 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 również **gruczoły** wytwarzające enzymy trawienne.

Szczegóły budowy układu pokarmowego różnią się w obrębie poszczególnych podtypów. 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 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. U owadów i wijów pokarm jest rozkładany za pomocą enzymów wytwarzanych przez gruczoły ślinowe, które otwierają się do gardzieli. Gruczoły te pełnią niekiedy inne funkcje, np. u gąsienic motyli przekształcają się w gruczoły przędne wytwarzające nici do budowy kokonu. Ponadto u owadów występuje zazwyczaj **wole**, w którym zachodzi magazynowanie i wstępne trawienie pokarmu.

Odżywianie się stawonogów

Stawonogi mają rozmaite preferencje pokarmowe i odżywiają się na wiele różnych sposobów. W obrębie skorupiaków występują roślinożercy, drapieżniki, padlinożercy i wszystkożercy. Część z nich należy do filtratorów. Pajęczaki to zwykle zwierzęta drapieżne, które łapią ofiary w sieci łowne lub aktywnie na nie polują. Wije, w zależności od gatunku, odżywiają się zarówno pokarmem roślinnym, jak i zwierzęcym, przy czym wiele z nich to saprofagi rozkładające martwą materię organiczną. Owady odżywiają się praktycznie każdym rodzajem pokarmu. Niektóre gatunki z pomocą mikroorganizmów symbiotycznych trawią nawet drewno. Wśród owadów licznie reprezentowane są pasożyty roślin i zwierząt.

Krab palmowy (*Birgus latro*), w odróżnieniu od innych padlinożernych krabów, ożywia się kokosami, które rozłupuje za pomocą potężnych szczypiec.

Mrówki *Atta cephalotes* ścinają liście roślin i hodują na nich grzyby, którymi się żywią.

Układ oddechowy stawonogów

Stawonogi wykształciły różnorodne narządy umożliwiające wymianę gazową. U większości skorupiaków są nimi **skrzela**, czyli cienkościenne, silnie ukrwione wyrostki, znajdujące się na tułowiu, odnóżach lub odwłoku. Mogą to być **skrzela zewnętrzne** (np. u rozwielitki) lub **wewnętrzne** – umiejscowione wewnątrz komór skrzelowych i osłonięte bocznymi częściami pancerza (np. u raka).

Narządami wymiany gazowej stawonogów lądowych są głównie **płucotchawki** oraz **tchawki**. Prowadzą do nich otwory zwane **przetchlinkami**. Płucotchawki występują u skorpionów i części pająków. Są to komory umiejscowione w odwłoku, zawierające cienkie, ułożone równolegle blaszki, w których krąży hemolimfa. Między blaszkami przepływa powietrze. Tchawki występują u części pajęczaków, owadów i wijów. Mają postać silnie rozgałęzionych rurek docierających do wszystkich komórek ciała. Najcieńsze rozgałęzienia – **tracheole** – wypełnia płyn, w którym rozpuszczają się gazy oddechowe. Dzięki temu dyfuzja gazów między tchawkami a otaczającymi tkankami zachodzi efektywniej. W sąsiedztwie narządów wymagających dużej ilości tlenu tchawki dodatkowo rozszerzają się i tworzą cienkościenne **worki powietrzne**. System tchawek zapewnia nie tylko wymianę gazową, lecz także efektywny transport gazów oddechowych.

Larwy niektórych owadów, m.in. ważek, mają **skrzelotchawki**. Są to znajdujące się na odwłoku lub tułowiu wyrostki z zamkniętymi (pozbawionymi przetchlinek) tchawkami wewnątrz. Tlen przenika do nich na drodze dyfuzji.

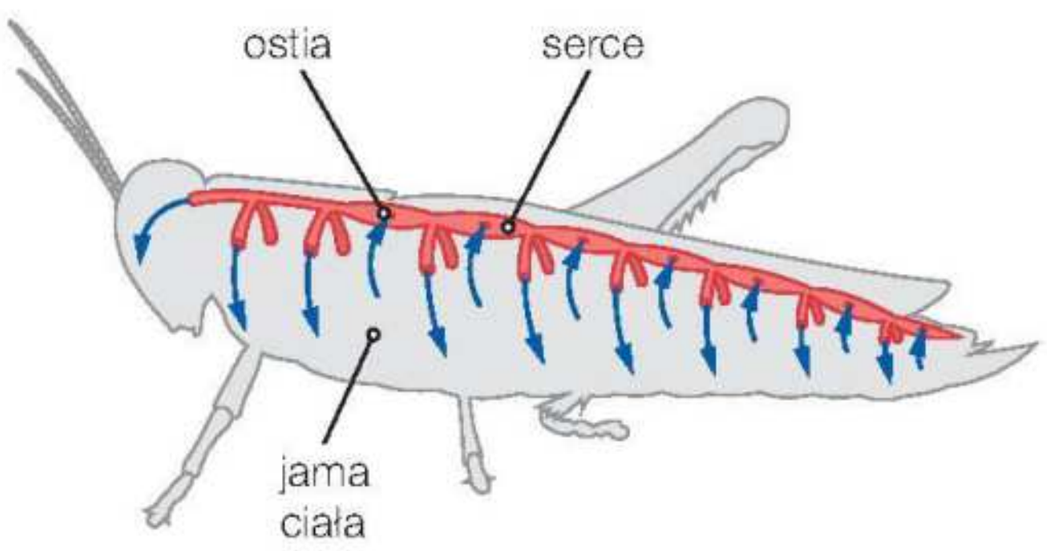
U niektórych stawonogów wtórnie wodnych, np. u pływaka żółtobrzeżka lub topika, występują **skrzela fizyczne**. Są to duże pęcherze powietrza atmosferycznego, wciągane pod wodę podczas nurkowania zwierzęcia i umiejscowione w pobliżu przetchlinek. W miarę zużywania tlenu przez stawonoga pęcherz absorbuje ten gaz z otaczającej wody i usuwa do niej dwutlenek węgla. Skrzela fizyczne umożliwiają efektywne oddychanie stawonogów wtórnie wodnych pod powierzchnią wody.

Odwłok topika (*Argyroneta aquatica*) jest otoczony pęcherzem powietrza atmosferycznego. Pęcherz ten pełni funkcję skrzela fizycznego.

Układ krwionośny stawonogów

Stawonogi mają **otwarty układ krwionośny**, co oznacza, że krążąca w nim hemolimfa wylewa się z naczyń do jamy ciała. Ruch hemolimfy zapewniają rytmiczne skurcze **serca**, otoczonego **workiem osierdziowym**. W ścianach serca znajdują się otwory, tzw. **ostia**, zaopatrzone w zastawki, przez które hemolimfa dostaje się do wnętrza. U wielu stawonogów hemolimfa jest odprowadzana do jamy ciała **tętnicami**, a następnie zbierana z niej przez **naczynia żylne** i wprowadzana do **worka osierdziowego**.

U owadów hemolimfa ma postać bezbarwnego lub żółtawego płynu, ponieważ nie zawiera barwników oddechowych (tlen dociera do tkanek systemem tchawek). U innych stawonogów ma zabarwienie niebieskie (zawiera hemocyjaninę) lub – znacznie rzadziej – czerwone (zawiera hemoglobinę).

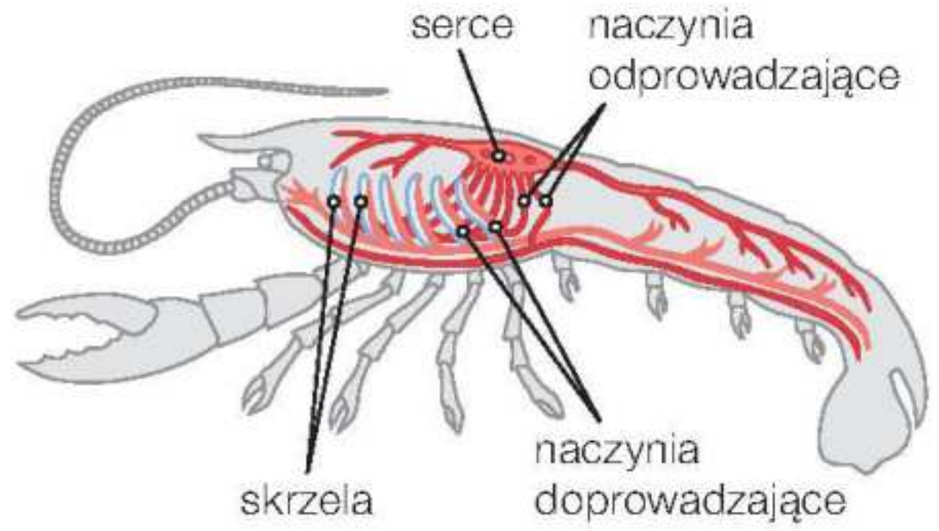


W otwartym układzie krwionośnym owadów przepływ hemolimfy zapewniają rytmiczne skurcze serca, które znajduje się zwykle po grzbietowej stronie ciała. Hemolimfa jest zasysana do wnętrza serca przez otwory w jego ścianach, tzw. ostia.

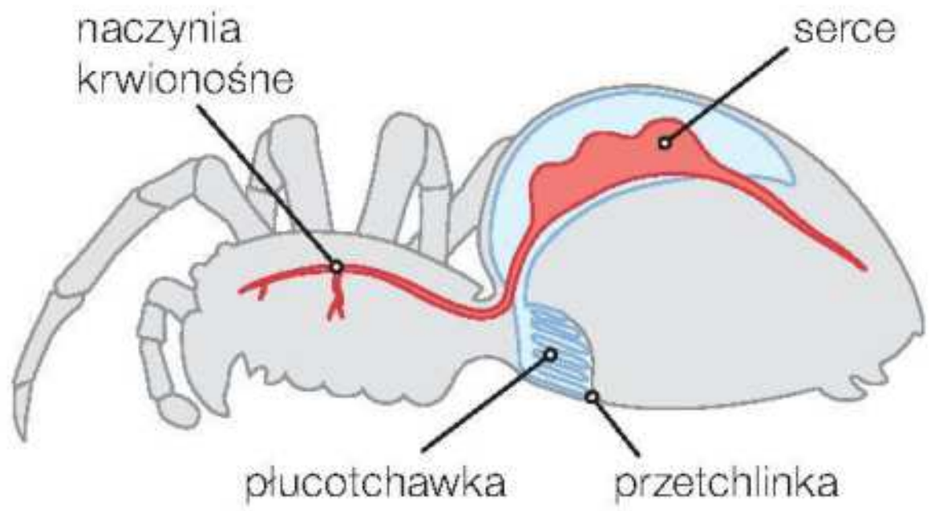
Narządy oddechowe stawonogów

Narządami oddechowymi stawonogów są skrzela, płucotchawki i tchawki. Skrzela i płucotchawki ściśle współpracują z układem krwionośnym, który rozprowadza po ciele gazy oddechowe. Natomiast tchawki są narządami niezależnymi od układu krwionośnego.

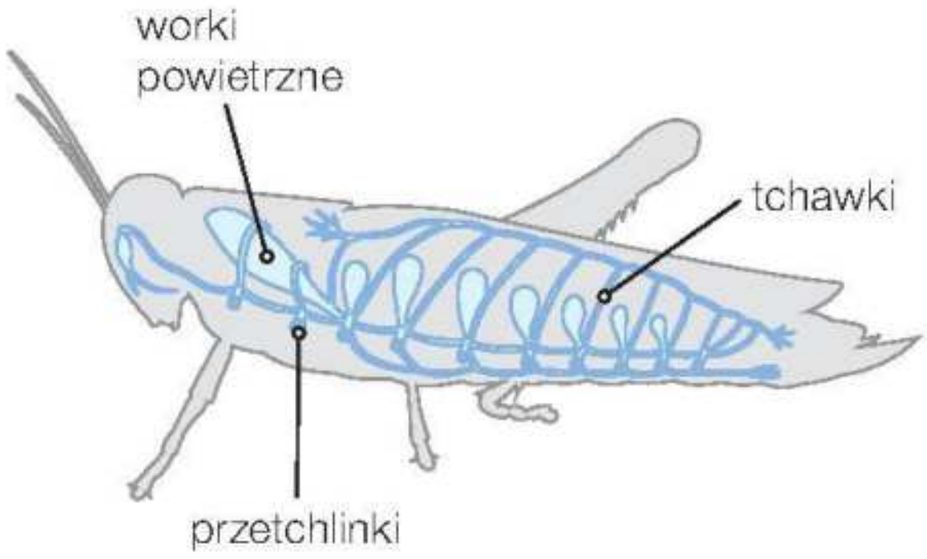
U skorupiaków hemolimfa dostaje się do skrzeli naczyniami doprowadzającymi. Przez cienkie ściany tych narządów zachodzi dyfuzja tlenu z wody do hemolimfy oraz dyfuzja dwutlenku węgla w kierunku przeciwnym. Hemolimfa bogata w tlen przepływa naczyniami odprowadzającymi do worka osierdziowego i serca, skąd jest rozprowadzana po całym ciele.



U pajęczaków hemolimfa napływa z jamy ciała do wnętrza blaszek płucotchawek. Tam zachodzi dyfuzja tlenu z powietrza do blaszek płucotchawek oraz dyfuzja dwutlenku węgla w kierunku przeciwnym. Hemolimfa bogata w tlen wpływa ostiami do serca, skąd jest rozprowadzana po całym ciele.

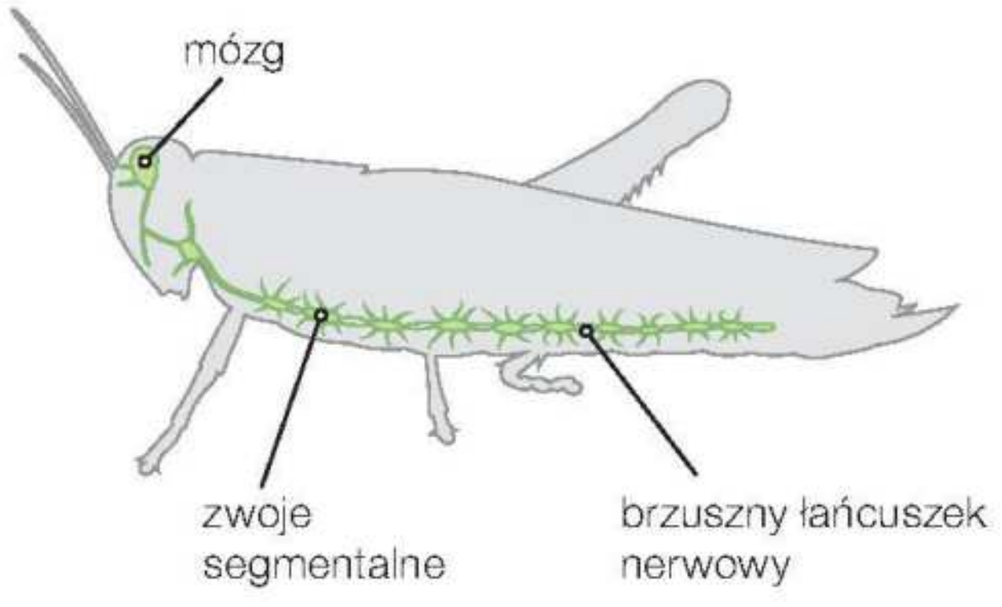


U owadów i wijów występują tchawki, a u owadów również worki powietrzne. Tchawki doprowadzają tlen bezpośrednio do każdej komórki ciała. Powietrze dociera do nich przez przetchlinki. Ścianki tchawek mają wzmocnienia wewnętrzne w postaci chitynowych spirali, które utrzymują drożność systemu tchawkowego. Ruch powietrza wewnątrz tchawek odbywa się dzięki rytmicznym skurczom ścian ciała.



Układ nerwowy stawonogów

Najprostszy układ nerwowy stawonogów składa się ze **zwojów nadprzełykowego** i **podprzełykowego** oraz **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.



Układ nerwowy owada.

U licznych gatunków pajęczaków zwój nadprzełykowy, zwój podprzełykowy i brzuszny łańcuszek nerwowy zlewają się ze sobą, tworząc zwartą masę okołogardzielową. Natomiast u owadów z połączenia się zwoju nadprzełykowego z kilkoma pierwszymi zwojami segmentalnymi powstaje **mózg**.

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. Osobniki różnych gatunków stawonogów mogą mieć tylko oczy proste, tylko oczy złożone lub oba typy oczu.

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 zlokalizowane są 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,

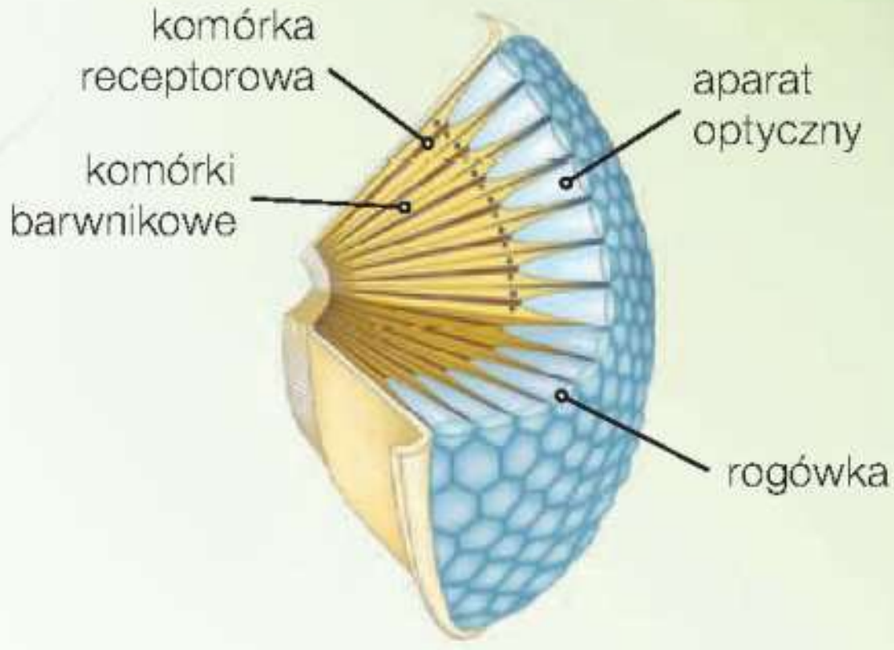
Narządy zmysłów stawonogów

Większość stawonogów charakteryzuje się dobrze wykształconymi narządami zmysłów.

Czułki są m.in. narządami węchu. U samców wielu owadów, np. motyli nocnych, wychwytują z powietrza cząsteczki feromonów płciowych – substancji zapachowych produkowanych przez samice.

Oko złożone (obraz spod SEM) odróżnia kolory i zmiany natężenia światła oraz pozwala na rozpoznawanie kształtów. Jakość otrzymanego obrazu zależy od liczby ommatidiów.

Narządy tympalne (bębenkowe) obecne u niektórych owadów umożliwiają rejestrowanie dźwięków. U świerszcza domowego (*Acheta domesticus*) znajdują się one na odnóżach.



W skład oka złożonego może wchodzić od kilku do ok. 30 tys. ommatidiów. Każde z nich jest zbudowane z aparatu optycznego załamującego światło, a także z komórek receptorowych i barwnikowych.

oraz narządy równowagi w postaci statocyst. Narządy tympanalne, rejestrujące dźwięki, znajdują się zazwyczaj na odnóżach. Mają one postać cienkich, kutykularnych błon, rozpiętych w specjalnych jamkach pancerza.

Układ wydalniczy stawonogów

Narządami wydalania i osmoregulacji u części stawonogów są przekształcone **metanefrydia**. Składają się one z pęcherzyka i 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, wijów i niektórych pajęczaków są **cewki Malpighiego** [wym. malpigiego]. Mają one postać ślepo zakończonych, rurkowatych uwypukleń przewodu pokarmowego, wyrastających na granicy jelita środkowego i 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 są zmuszone do oszczędnej gospodarki wodnej, dlatego wydalają związki, które nie wymagają rozcieńczenia i są znacznie mniej toksyczne, np. **kwas moczowy**.

Rozmnażanie się i rozwój stawonogów

Stawonogi rozmnażają się wyłącznie **płciowo**. Z reguły są zwierzętami **rozdzielnopłciowymi**, obojnactwo występuje u nich bardzo rzadko (m.in. u niektórych gatunków pasożytniczych). U wielu gatunków obserwuje się wyraźny **dymorfizm płciowy**, polegający najczęściej na różnicy w budowie wybranych narządów (np. odnóży odwłokowych niektórych skorupiaków lub czułków owadów). Ponadto samice są zwykle większe od samców.

Kłowacznik władczy (*Dolichomitus imperator*) składa jaja w ciele larw chrząszczy żerujących w drewnie. Jest to możliwe dzięki długiemu pokładełku, za pomocą którego przebija się przez korę.

Gonady stawonogów mogą być parzyste lub nieparzyste. Odchodzą od nich **przewody wyprowadzające**, 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 wodnych zachodzi **zapłodnienie zewnętrzne**, natomiast u form lądowych – **wewnętrzne**. Większość stawonogów to zwierzęta **jajorodne**. Do wyjątków należą np. skorpiony, które są żyworodne. 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 stawonogów obserwuje się **przeobrażenie** (metamorfozę). Wyróżnia się dwa typy przeobrażenia: **niezupełne** i **zupełne**.

Wśród stawonogów spotyka się również zwierzęta rozmnażające się na drodze **partenogenezy** (np. mszyce). U niektórych gatunków występuje **heterogonia**.

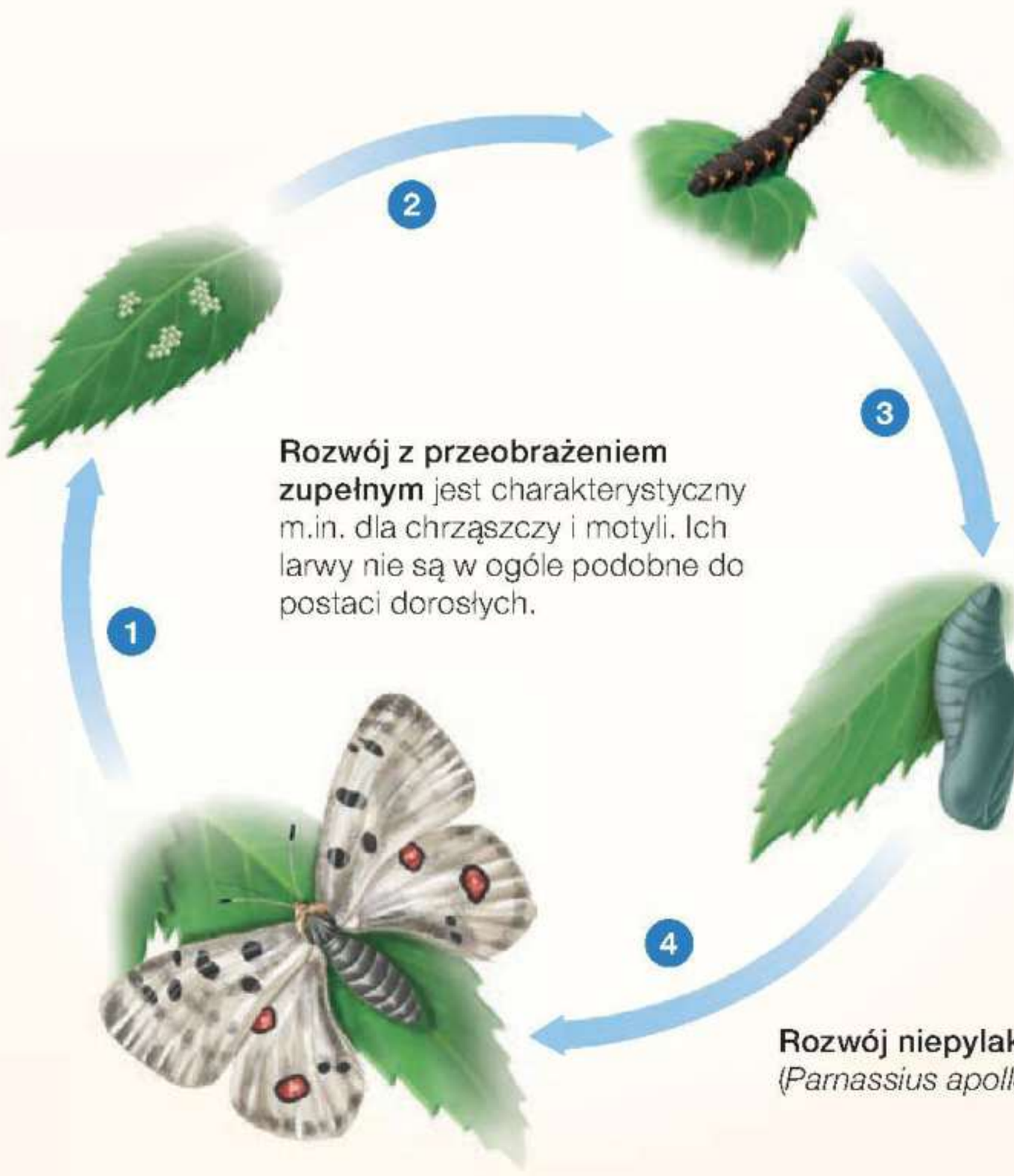
Przeobrażenie niezupełne i zupełne

U stawonogów rozwój złożony może zachodzić z przeobrażeniem niezupełnym lub zupełnym. W rozwoju złożonym z przeobrażeniem niezupełnym występują dwa podobne do siebie stadia rozwojowe: larwa oraz postać dorosła – imago. W rozwoju złożonym z przeobrażeniem zupełnym występują trzy stadia rozwojowe: larwa, poczwarka i imago. Larwa znacznie różni się od postaci dorosłej wyglądem i trybem życia. Przebudowa organizmu do postaci dorosłej odbywa się w stadium poczwarki.

1. Postać dorosła (imago) składa jaja w środowisku, w którym żyje.
2. Z jaja wykluwa się larwa, która od imago różni się jedynie 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 z przeobrażeniem niezupełnym jest charakterystyczny m.in. dla ważek i prostoskrzydłych. Larwy tych zwierząt opuszczające osłony jajowe różnią się od postaci dorosłej jedynie szczegółami budowy.

Rozwój konika (*Chorthippus*).



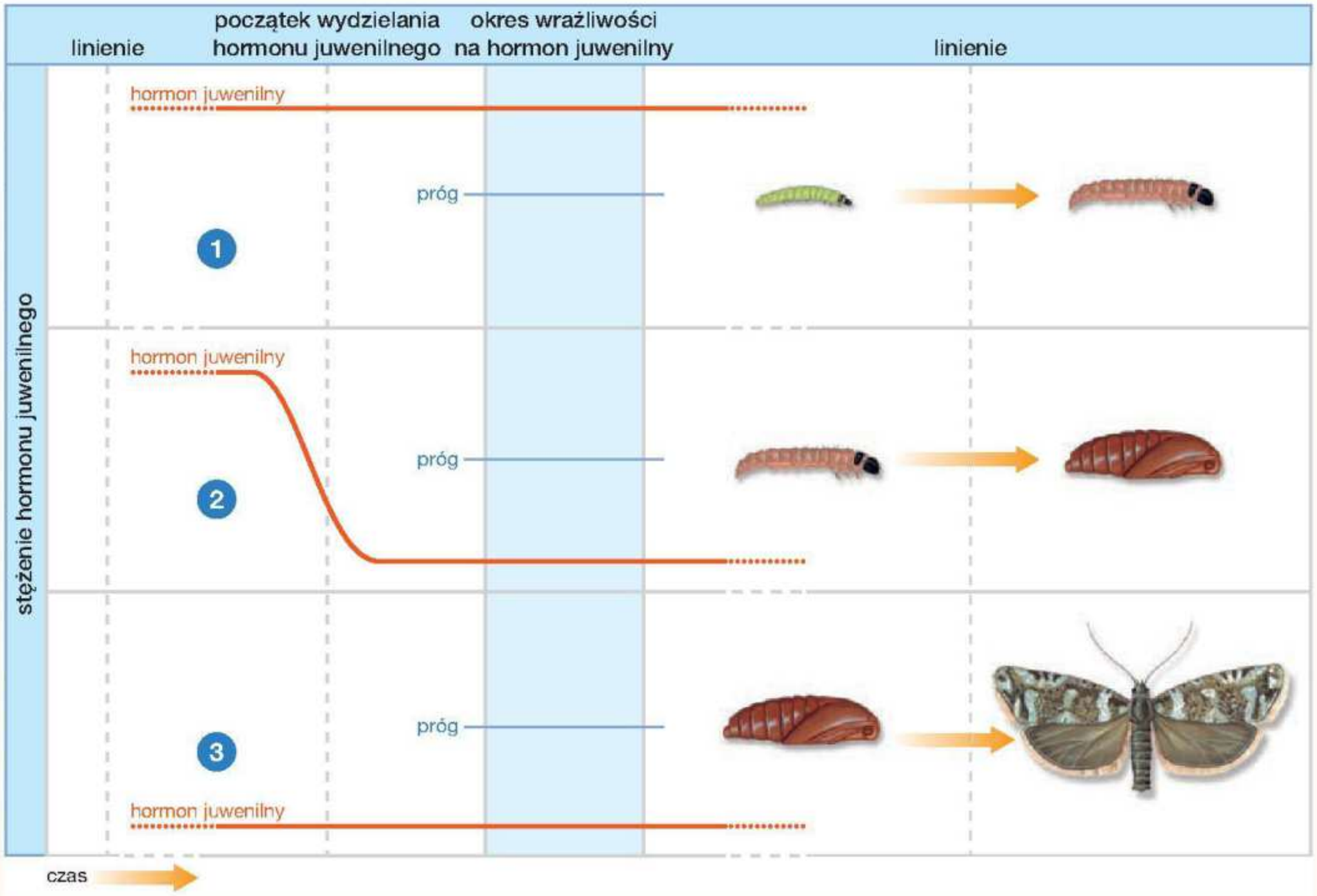
Rozwój z przeobrażeniem zupełnym jest charakterystyczny m.in. dla chrząszczy i motyli. Ich larwy nie są w ogóle podobne do postaci dorosłych.

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 przepoczwarzeniu powłoki poczwarki pękają i wychodzi z nich dorosły, zdolny do rozrodu owad.

Rozwój niepylaka apollo (*Parnassius apollo*).

Hormonalna regulacja linienia owadów

Proces linienia u owadów kontrolują substancje wydzielane przez kilka narządów: ciała sercowate i ciała przyległe znajdujące się w pobliżu mózgu oraz gruczoł protorakalny, umiejscowiony w segmentach tułowiowych. Komórki w ciałach sercowatych wytwarzają **hormon protorakotropowy** (PTTH), który pobudza gruczoł protorakalny do wytwarzania hormonu linienia – **ekdyzonu**. Pod wpływem ekdyzonu nabłonek odrzuca stary oskórek i wytwarza nowy. Nowy oskórek, w zależności od poziomu **hormonu juwenilnego** wydzielanego przez ciała przyległe, może być larwalny, poczwarkowy lub imaginalny.



1. Przy stałym ponadprogowym (wysokim) stężeniu hormonu juwenilnego zachodzą kolejne linienia larwy.
2. Obniżenie stężenia hormonu juwenilnego poniżej wartości progowej skutkuje przemianą larwy w poczwarkę.
3. Przy stałym podprogowym (niskim) stężeniu hormonu juwenilnego zachodzi przeobrażenie poczwarki w postać imago.

Polecenia kontrolne

1. Wymień cechy wspólne poznanych grup stawonogów.
2. Podaj zalety i wady wynikające z pokrycia ciała twardym oskórkiem.
3. Scharakteryzuj narządy wymiany gazowej stawonogów.
4. Wyjaśnij, na czym polega rozwój z przeobrażeniem niezupełnym i zupełnym. Podaj przykłady stawonogów, u których występuje dany typ rozwoju.

5.12. Różnorodność i znaczenie stawonogów

Zwróć uwagę na:
- różnorodność stawonogów,
- znaczenie stawonogów.

Stawonogi są dominującą grupą bezkręgowców i najbardziej zróżnicowaną grupą zwierząt. Obecnie znanych jest ponad milion gatunków, a przypuszcza się, że liczba ta jest kilka razy większa. Stawonogi opanowały wszystkie środowiska i – jako jedyne bezkręgowce – wykształciły zdolność lotu.

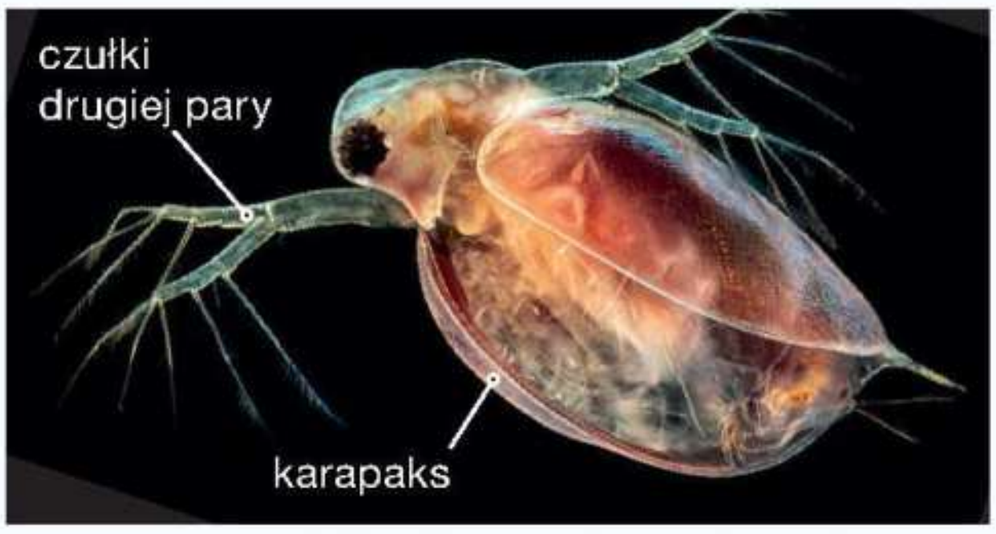
W obrębie typu stawonogów wyróżnia się trzy podtypy: skorupiaki, szczękoczułkopodobne oraz tchawkodyszne.

Podtyp: Skorupiaki

Do podtypu skorupiaków (Crustacea) należą m.in. skrzelonogi (Branchiopoda), wąsonogi (Cirripedia) i pancerzowce (Malacostraca), klasyfikowane w kategorii gromady.

Skrzelonogi

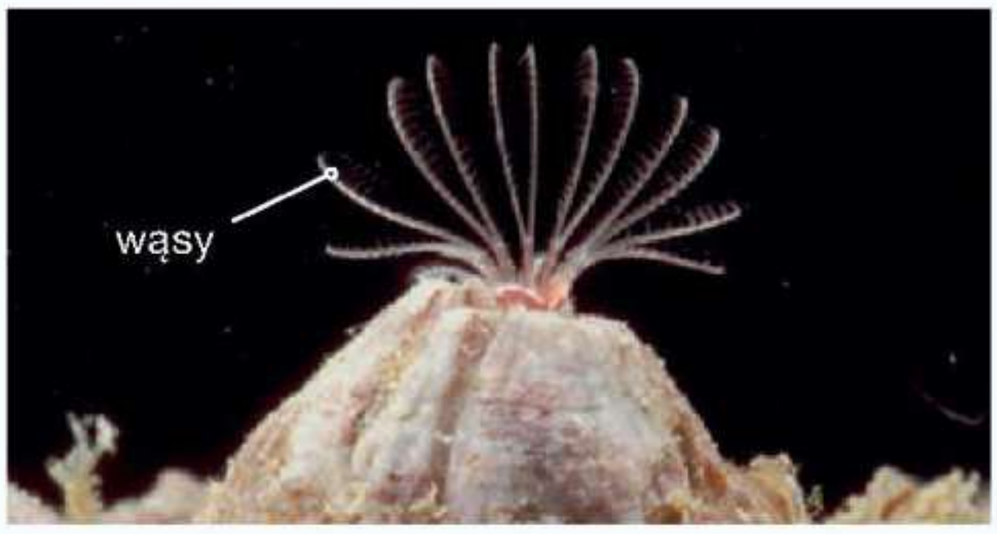
Skrzelonogi, np. rozwielitki (*Daphnia*), to zwierzęta wodne, które stanowią ważny składnik zooplanktonu. Ich ciało ma zwykle mikroskopijne rozmiary i jest zbudowane z różnej liczby segmentów. Skrzelonogi nie mają odnóży odwłokowych.



Rozwielitki mają dwuklapowy karapaks, a druga para ich czułków jest silnie rozwinięta i pełni funkcje lokomotoryczne.

Wąsonogi

Wąsonogi, np. pąkle (*Balanus*), to zwierzęta wodne, zazwyczaj osiadłe. Ich ciało ma niewyraźną segmentację, a głowa i odwłok są zwykle zredukowane. Odnóża kroczne wąsonogów są najczęściej przekształcone w wąsy, które odcedzają z wody cząstki pokarmowe.



Ciało pąkli jest okryte stożkowym pancerzykiem.

Pancerzowce

Większość pancerzowców to zwierzęta wodne o wyraźnej segmentacji ciała. Ich cechami charakterystycznymi są oczy złożone oraz odnóża: gębowe, tułowiowe i odwłokowe.

Do pancerzowców wodnych należą m.in. kraby (Brachyura). Wiele krabów może okresowo przebywać na lądzie, ponieważ ich skrzela są ukryte głęboko pod pancerzem i wysychają powoli.

Podtyp: Szczękoczułkopodobne

Do podtypu szczękoczułkopodobnych (Heliceromorpha) należą m.in. ostrogony (Xiphosurida) i pajęczaki (Arachnida), klasyfikowane w kategorii gromady. Z kolei do pajęczaków zalicza się np. skorpiony, pająki, kosarze i roztocze.

Pajęczaki

Pajęczaki to głównie zwierzęta lądowe, w większości kosmopolityczne. Tylko nieliczne gatunki przystosowały się wtórnie do środowiska wodnego. Ich odwłok jest pozbawiony odnóży. Oddychają płucotchawkami.

Skorpiony (Scorpionida) występują na obszarach o klimacie gorącym i suchym. Zwierzęta te prowadzą drapieżny tryb życia. Ich nogogłaszczki są zakończone szczypcami, a na końcu dwuczęściowego odwłoka mieści się gruczoł jadowy.

Kosarze (Opiliones) należą do drapieżników. Mają krótkie, owalne ciało, bez wyraźnego podziału na głowotułów i odwłok. Ich odnóża są długie i nitkowate. W sytuacji zagrożenia kosarze odrzucają niektóre z odnóży i poruszają się na pozostałych.

Pająki (Araneae) 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.

Roztocze (Acari) to zwierzęta drapieżne, roślinożerne, saprofagi lub pasożyty. Ich głowotułów i odwłok są zrośnięte, natomiast szczękoczułki przekształciły się w narząd gryzący lub kłująco-ssący.

Ostrogony

Ostrogony (Xiphosurida) to zwierzęta wodne, występujące w niektórych rejonach Oceanu Atlantyckiego i Oceanu Spokojnego. Ich głowotułów okrywa jednolity oskórek, a na odnóżach odwłokowych znajdują się skrzela.

Podtyp: Tchawkodyszne

Do podtypu tchawkodsznych (Tracheata) należą wije (Myriapoda) i owady (Insecta), klasyfikowane w kategorii nadgromady.

Wije

Do wijów zalicza się m.in. pareczniki i krocionogi.

Pareczniki (Chilopoda) mają homonomicznie segmentowane ciało. Każdy segment jest zaopatrzony w jedną parę odnóży krocznych. Na głowie znajdują się charakterystyczne szczękonóża.

Krocionogi (Diplopoda) mają ciało zbudowane z diplosegmentów. Każdy diplosegment powstaje w wyniku zlania się dwóch segmentów i zawiera dwie pary odnóży krocznych.

Owady

Owady są najliczniejszą grupą stawonogów, która charakteryzuje się wielką różnorodnością form. Należą do niej m.in. rybiki, motyle, ważki, pchły, prostoskrzydłe, pluskwiaki, chrząszcze, błonkoskrzydłe i muchówki.

Rybiki (Zygentoma) to owady bezskrzydłe, z gryzącym aparatem gębowym i oczami prostymi. Na ich odwłoku często występują szczątkowe odnóża.

Motyle (Lepidoptera) to owady z aparatem gębowym typu ssącego. Skrzydła obu par są u nich błoniaste, duże i pokryte drobnymi łuskami.

Ważki (Odonata) to owady drapieżne o rozłożystych, błoniastych skrzydłach. Mają gryzący aparat gębowy i duże oczy złożone.

Pchły (Siphonaptera) to owady bezskrzydłe, z kłująco-ssącym aparatem gębowym. Trzecia para odnóży jest skoczna. Zwierzęta te są pasożytami ptaków i ssaków.

U prostoskrzydłych (Orthoptera) pierwsza para skrzydeł jest skórzasta, a druga – błoniasta. Owady te mają gryzący aparat gębowy. Trzecia para odnóży tułowiowych jest skoczna.

Pluskwiaki (Hemiptera) 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. Odnóża tułowiowe są często zmodyfikowane.

Chrząszcze (Coleoptera) 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.

Błonkoskrzydłe (Hymenoptera) mają zwykle gryząco-liżący aparat gębowy. Skrzydła są błoniaste, przy czym pierwsza para jest większa od drugiej. Odnóża tułowiowe są często przystosowane do grzebania w ziemi lub zbierania pyłku. Przedstawiciele tej grupy, np. pszczoły, tworzą niekiedy złożone struktury społeczne.

Muchówki (Diptera) 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.

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 (*Euphausia superba*) żywi się fitoplanktonem, a sam stanowi pożywienie jednego z największych ssaków – płetwala błękitnego (*Balaenoptera musculus*).

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 (*Geotrupes stercocrarius*) 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 (*Locusta migratoria*), 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. Jednymi z najbardziej jadowitych pająków są wałęsaki (*Phoneutria*).

Pasożyty

Niektóre gatunki stawonogów to pasożyty zewnętrzne. Na przykład roztocze z grupy kleszcze (Ixodida) żywią się krwią kręgowców. Tą drogą przenoszą również choroby, np. boreliozę lub kleszczowe zapalenie opon mózgowych.

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 (*Bombyx mori*) są hodowane w celu uzyskiwania jedwabnych nici do produkcji jedwabiu naturalnego.

Niszczenie żywności i przedmiotów użytkowych

Wiele stawonogów, zwłaszcza owadów, niszczy produkty żywnościowe oraz przedmioty użytkowe człowieka. Na przykład kołatek wrężyk (*Anobium punctatum*) niszczy przedmioty drewniane, głównie meble.

Polecenia kontrolne

1. Roztocze kojarzone są głównie z organizmami szkodliwymi dla zdrowia człowieka. Na podstawie dostępnych źródeł ustal, czy taka opinia jest słuszna.
2. Korzystając z dostępnych źródeł, przedstaw strukturę społeczną wybranego gatunku owada.
3. Wyjaśnij, w jaki sposób owady przystosowały się do życia w różnych środowiskach.

5.13. Mięczaki – zwierzęta o miękkim, niesegmentowanym ciele

Zwróć uwagę na:
- budowę i czynności życiowe mięczaków,
- znaczenie mięczaków w przyrodzie i dla człowieka.

Mięczaki (Mollusca) to bardzo zróżnicowana grupa bezkręgowców, która pod względem liczby gatunków ustępuje jedynie stawonogom. Zwierzęta te zasiedliły prawie całą kulę ziemską, przy czym zdecydowana większość gatunków żyje w morzach i oceanach, a nieliczne bytują w wodach słodkich. Niektóre ślimaki żyją na lądzie, w miejscach odznaczających się dużą wilgotnością. Przetrwanie w środowisku lądowym jest możliwe dzięki temu, że podczas suszy zapadają w stan **anabiozy**. Zwierzę wciąga wówczas ciało do muszli i zakrywa jej ujście warstwą śluzu z dużą zawartością soli wapnia. W ten sposób przeczekuje niesprzyjający okres.

Mięczaki są zwierzętami wolno żyjącymi lub osiadłymi. Wiele gatunków charakteryzuje się niewielkimi rozmiarami, lecz do tej grupy należy również kałamarnica olbrzymia (*Architeuthis dux*) – największy bezkręgowiec świata. Osobniki tego gatunku osiągają nawet 18 m długości. Głównymi grupami mięczaków są: **ślimaki**, **małże** i **głowonogi**.

Budowa morfologiczna wybranych grup mięczaków

Mięczaki cechują się wspólnym planem budowy. Ich ciało składa się zwykle z trzech części: głowy, nogi i worka trzewiowego.

Ślimaki

Ślimaki (Gastropoda) zamieszkują wody słodkie i słone oraz lądy. Ich miękkie ciało składa się z głowy, nogi i worka trzewiowego. Wiele gatunków wytwarza szkielet zewnętrzny w postaci muszli. Muszla jest jednoczęściowa i najczęściej spiralnie skręcona. Ślimaki lądowe i większość słodkowodnych oddychają za pomocą płuca, natomiast morskie za pomocą skrzeli.

Do ślimaków lądowych należy m.in. winniczek (*Helix pomatia*). Ślimak ten występuje w miejscach wilgotnych, np. w parkach, lasach i ogrodach. Żywi się głównie świeżymi liśćmi. Winniczek wytwarza spiralnie skręconą muszlę.

Do ślimaków morskich należy np. *Chromodoris magnifica*, który występuje m.in. w tropikalnych wodach Oceanu Indyjskiego. Ślimak ten odżywia się wyłącznie gąbkami. Nie wytwarza muszli.

Ogólna budowa ciała mięczaków

Mięczaki to zwierzęta niesegmentowane, dwubocznie symetryczne lub wtórnie asymetryczne. Ich ciało jest zwykle miękkie, w zależności od gatunku nagie bądź okryte całkowicie lub częściowo muszlą. Tylko u głowonogów może występować **szkielet wewnętrzny**.

Ciało mięczków dzieli się zazwyczaj na trzy części: **głowę, worek trzewiowy** i **nogę**. U niektórych gatunków głowa jest uwstecznicona. W części głowowej mieszczą się otwór gębowy oraz narządy zmysłów, takie jak oczy i czułki. Worek trzewiowy zawiera większość narządów wewnętrznych i występuje u wszystkich mięczaków. Jest okryty fałdem ściany ciała nazywanym **płaszczem**. Przestrzeń między płaszczem a workiem trzewiowym to **jama płaszczowa**. Znajdują się w niej narządy wymiany gazowej – skrzela lub płuco – oraz ujścia układów wydalniczego, pokarmowego i rozrodczego. Noga u większości gatunków jest silnie umięśnionym narządem ruchu służącym do pełzania, pływania lub zagrzebywania się w podłożu. U mięczaków osiadłych jest ona silnie uwsteczniona. Natomiast u głowonogów w rozwoju zarodkowym jej przednia część ulega przekształceniu w **ramiona** i **lejek**. Ramiona wyposażone w okrągłe przyssawki są narządami chwytnymi oraz uczestniczą w poruszaniu się. Z kolei lejek pełni wyłącznie funkcje lokomotoryczne.

Mięczaki to zwierzęta **trójwarstwowe,** które mają wtórną jamę ciała. Zachowała się u nich również pierwotna jama ciała, ukształtowana w zatoki. Do zatok wylewa się krew z naczyń krwionośnych.

Małże

Małże (Bivalvia) żyją w zbiornikach wody słodkiej i słonej. W ich ciele nie występuje głowa, a muszla składa się z dwóch części.

Głowonogi

Głowonogi (Cephalopoda) zamieszkują wyłącznie morza i oceany. Noga jest u nich przekształcona w ramiona i lejek. Większość gatunków nie ma muszli, lecz wytwarza chrzęstny bądź mineralny szkielet wewnętrzny.

Muszla występuje wyłącznie u łodzików (Nautiloidea) – niewielkich głowonogów zasiedlających tropikalne wody Indopacyfiku.

Do głowonogów należy np. kalmar *Loligo forbesi*, który występuje w Oceanie Atlantyckim. Jest on drapieżnikiem, tak jak wszystkie głowonogi.

Pokrycie ciała mięczaków

Ciało mięczaków pokrywa jednowarstwowy **nabłonek**. Zawiera on liczne gruczoły wydzielające śluz, a na brzegu płaszcza – gruczoły wytwarzające substancje, z których powstaje **muszla**. Śluz chroni ciało przed drobnymi urazami mechanicznymi, a mięczakom lądowym ułatwia pełzanie po podłożu. Muszla pełni funkcję ochronną i stanowi szkielet zewnętrzny. Jest ona zbudowana z węglanu wapnia oraz substancji organicznej zwanej konchiolinią. Na przekroju poprzecznym muszli można zazwyczaj wyróżnić trzy warstwy: zewnętrzną (konchiolinową), środkową (porcelanową) i wewnętrzną (perłową). Muszle mięczaków są bardzo zróżnicowane pod względem kształtu, rozmiarów i rzeźby powierzchni. Mogą być jednoczęściowe (u ślimaków) lub złożone z dwóch części (u małży). U niektórych mięczaków muszla jest częściowo lub całkowicie zredukowana (np. u głowonogów).

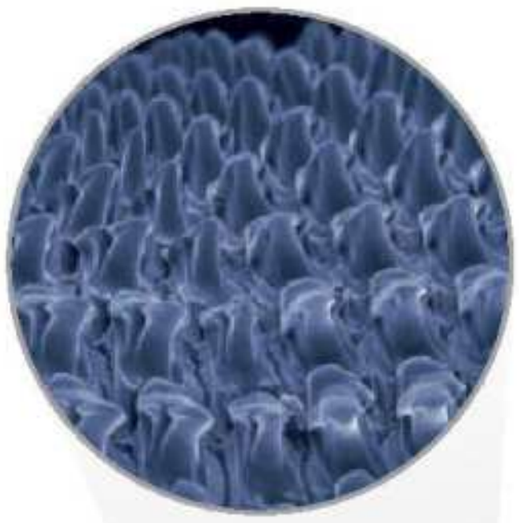
Pod nabłonkiem znajduje się warstwa **tkanki łącznej**, a pod nią **mięśnie**. Całość tworzy **wór powłokowy**. Oprócz mięśni wora powłokowego u mięczaków można wyróżnić mięśnie poruszające poszczególnymi narządami, np. mięśnie wciągające nogę do muszli.

Układ pokarmowy mięczaków

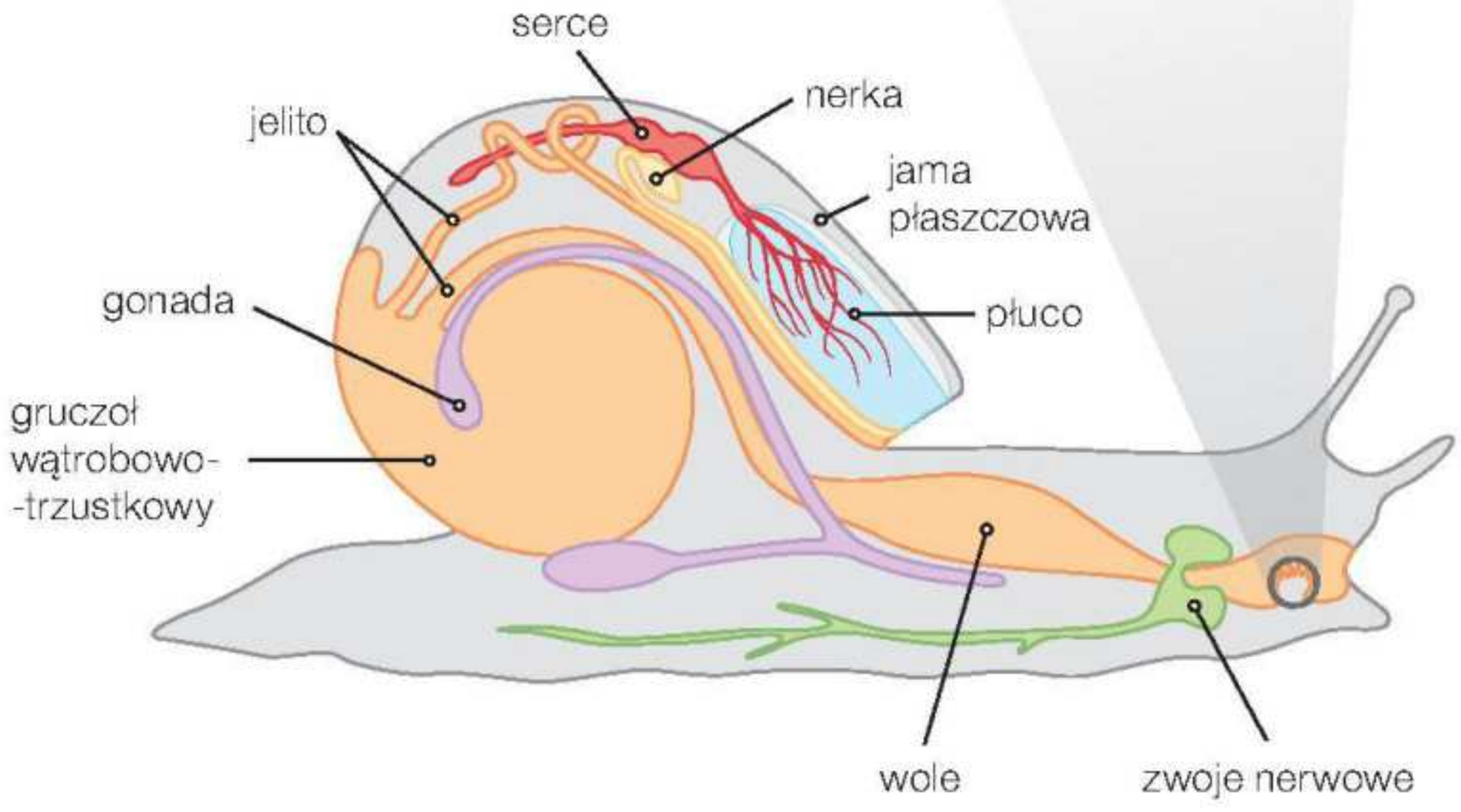
Przewód pokarmowy mięczaków jest zróżnicowany na trzy odcinki: **jelito przednie**, **jelito środkowe** i **jelito tylne**. Jelito przednie rozpoczyna się otworem gębowym prowadzącym do gardzieli, do której uchodzą przewody **gruczołów ślinowych**. U większości mięczaków w gardzieli znajduje się **tarka**, służąca do zeskrobywania i rozdrabniania pokarmu. Jej powierzchnię pokrywają rzędy ząbków odrastających w miarę ścierania. 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 wewnętrzna ślimaka

Ślimaki nie wykazują przystosowań do osiadłego lub bardzo aktywnego trybu życia, a ich ciało cechuje wyraźny podział na trzy podstawowe części. Dlatego budowę mięczaków można prześledzić na ich przykładzie.



Tarka u ślimaków mieści się na języku. Kształt tarki, wygląd ząbków oraz ich ułożenie stanowią ważne cechy systematyczne.



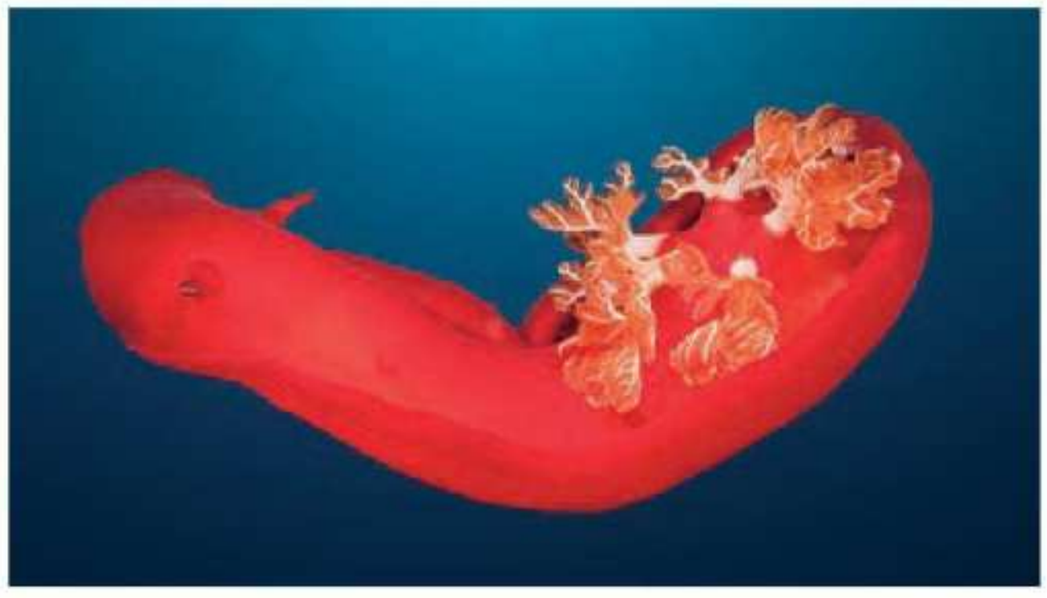
Budowa układu pokarmowego mięczaków zależy od grupy systematycznej i rodzaju pobieranego pokarmu. Wśród ślimaków wyróżnia się gatunki **roślinożerne, mięsożerne** i **wszystkożerne** – tylko nieliczne są pasożytami. W układzie pokarmowym niektórych ślimaków drapieżnych (np. stożków) do gardzieli uchodzą przewody **gruczołów jadowych**. Inne, np. rozkolce, wwiercają się w muszle ofiar, używając tarki.

Większość małży należy do **filtratorów**. Ich pokarm stanowią drobne cząstki organiczne, które dostają się wraz z wodą do jamy płaszczowej i osiadają na dużych orzęsionych skrzelach. Stamtąd dopiero trafiają do otworu gębowego.

Wszystkie głowonogi są **drapieżnikami**. W zdobywaniu i rozdrabnianiu pokarmu najważniejszą rolę odgrywa u nich nie tarka, lecz silny **chitynowy dziób**. Głowonogi chwytają ofiarę ramionami zaopatrzonymi w przyssawki, po czym rozdrabniają ją dziobem. Niektóre gatunki tej grupy mają gruczoły jadowe.

Układ oddechowy mięczaków

Narządami wymiany gazowej u mięczaków wodnych (głównie morskich) są **skrzela** umiejscowione w jamie płaszczowej. U niektórych gatunków uległy one zanikowi, a ich funkcję przejęły rozgałęzione wyrostki ciała, określane jako **skrzela wtórne**. Natomiast u ślimaków lądowych występuje **płuco**, czyli sieć naczyń



Wiele wodnych ślimaków ma na powierzchni ciała skrzela wtórne.

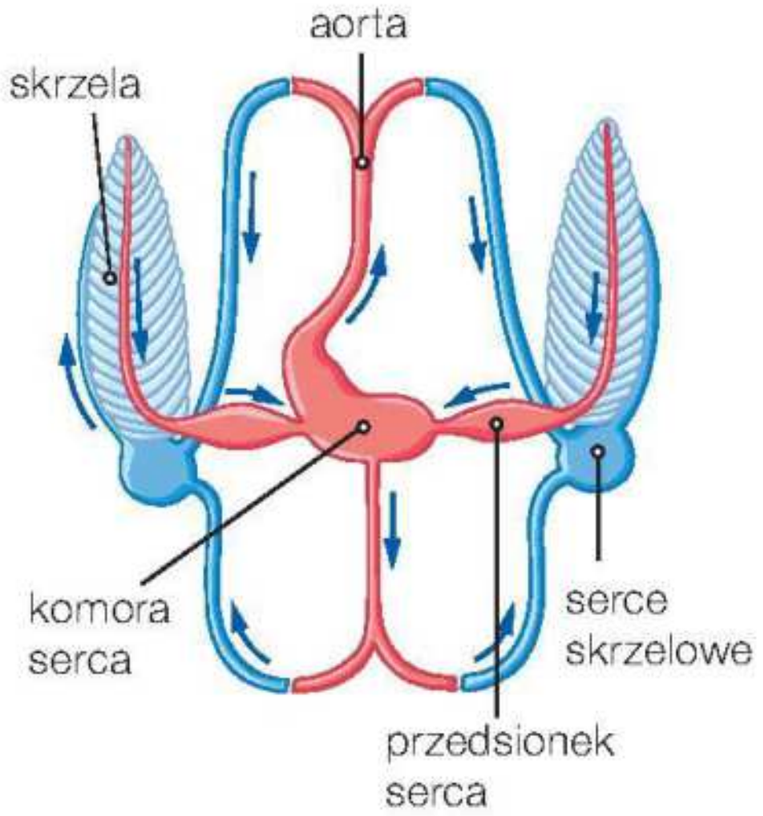
krwionośnych rozmieszczonych w ścianie jamy płaszczowej. Niektóre gatunki wyposażone w płuco, np. błotniarki i zatoczki, wtórnie zasiedliły środowisko wodne. Oddychają one powietrzem atmosferycznym, wynurzając się co pewien czas nad powierzchnię wody.

Układ krwionośny mięczaków

Mięczaki mają **otwarty układ krwionośny**. Krew jest pompowana przez **serce** otoczone workiem osierdziowym, składające się z komory oraz różnej liczby przedsionków. U większości mięczaków serce znajduje się w grzbietowej części worka trzewiowego. Krew odpływa z serca aortą rozgałęziającą się na wiele mniejszych naczyń tętniczych. Ostatecznie wylewa się do szczelin i zatok pierwotnej jamy ciała, gdzie oddaje tlen. Stąd jest zbierana przez naczynia żylne, którymi płynie do narządów wymiany gazowej i wraca żyłami bezpośrednio do serca.

Układ krwionośny głowonogów

Głowonogi mają najbardziej skomplikowany układ krwionośny spośród wszystkich bezkręgowców. Jest on prawie zamknięty – w wielu miejscach krew nie wylewa się do zatok jamy ciała, lecz tętnice łączą się z żyłami poprzez sieć naczyń włosowatych. Serce składa się z komory i dwóch lub czterech przedsionków (ich liczba odpowiada liczbie skrzeli). Ponadto, przed przedostaniem się do skrzeli, krew przepływa przez serca skrzelowe, czyli umięśnione odcinki naczyń, których skurcze przyspieszają przepływ krwi do skrzeli.



W związku z funkcjonowaniem serc skrzelowych w układzie krwionośnym głowonogów wyróżnia się, podobnie jak u kręgowców, dwa krwiobiegi: duży (serce – ciało – serce) i mały (serce – skrzela – serce).

Krew mięczaków jest najczęściej niebieska dzięki obecności w osoczu barwnika oddechowego – hemocyjaniny. Rzadziej zawiera czerwoną hemoglobinę lub jest bezbarwna.

Układ nerwowy mięczaków

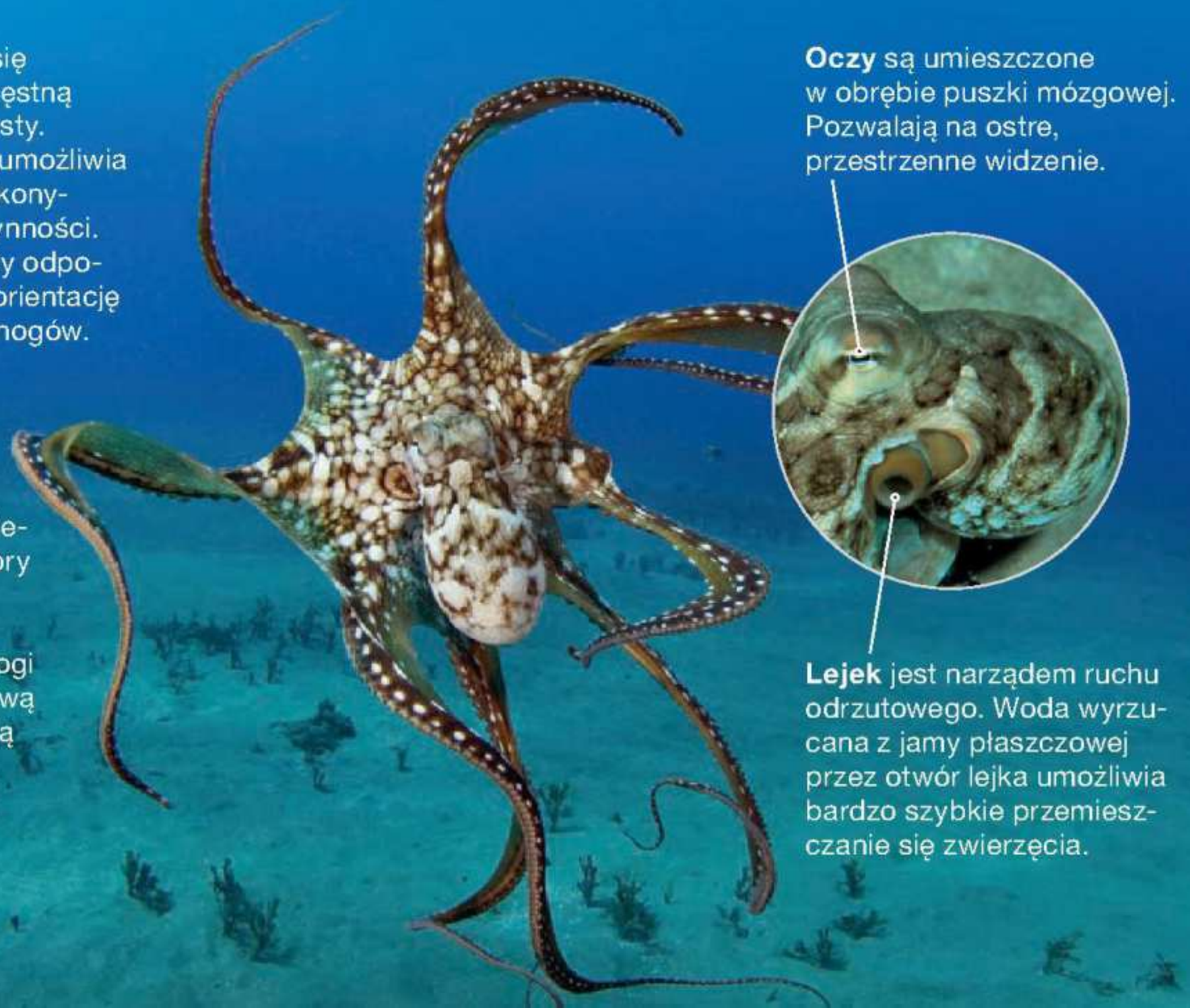
Układ nerwowy niżej uorganizowanych mięczaków składa się z **obrączki okołoprzełykowej** i kilku podłużnych **pni nerwowych** połączonych **spoidłami**. U form wyżej uorganizowanych na pniach powstają **zwoje nerwowe**. Większość gatunków ma parzyste zwoje głowowe, nożne, płaszczowe i trzewiowe.

Najwyższy stopień rozwoju, zarówno pod względem budowy, jak i koncentracji zwojów, osiągnął układ nerwowy głowonogów. Zwoje nerwowe zlewają się u nich w **mózg** umieszczony w **chrzęstnej puszce mózgowej**, która ochrania go przed urazami.

Mięczaki mają na ogół dobrze rozwinięte **narządy zmysłów**. Wokół ich otworu gębowego, na czułkach oraz na brzegach płaszcza i nogi, mieszczą się receptory dotyku. Jama płaszczowa jest często zaopatrzona w chemoreceptory. Z kolei narządy równowagi występują w postaci statocyst. Oczy ślimaków są osadzone na szczycie lub u podstawy drugiej pary czułków. Najwyższy stopień rozwoju osiągnęły oczy głowonogów. Wykazują one duże podobieństwo do oczu kręgowców, chociaż mają inne pochodzenie. Oczy głowonogów są zdolne do **akomodacji** dzięki zmianom położenia soczewki względem siatkówki. Siatkówka oka cechuje się dużym zagęszczeniem komórek

Głowonogi – inteligentne, wyspecjalizowane drapieżniki

Głowonogi wykształciły przystosowania, które umożliwiają im aktywne polowanie oraz skuteczne unikanie niebezpieczeństwa. Największym ewolucyjnym osiągnięciem tej grupy zwierząt jest doskonały rozwój układu nerwowego, który pozwolił na wykształcenie złożonych zdolności zapamiętywania i uczenia się. Głowonogi, zwłaszcza ośmiornice, potrafią np. wydostać pożywienie z zamkniętego słoika, zbudować schronienie z kamieni czy rozpoznać i ominąć szklaną przeszkodę. Zdolności takich nie wykazuje nawet wiele ssaków.



W **głowie** znajduje się mózg osłonięty chrzęstną puszką oraz statocysty. Silny rozwój mózgu umożliwia analizę sytuacji i wykonywanie złożonych czynności. Natomiast statocysty odpowiadają za świetną orientację przestrzenną głowonogów.

Oczy są umieszczone w obrębie puszki mózgowej. Pozwalają na ostre, przestrzenne widzenie.

Powłoka ciała zawiera liczne chromatofory odpowiedzialne za zmianę ubarwienia. Dzięki temu głowonogi upodabniają się barwą do środowiska i stają się niewidoczne na jego tle.

Lejek jest narządem ruchu odrzutowego. Woda wyrzucana z jamy płaszczowej przez otwór lejka umożliwia bardzo szybkie przemieszczanie się zwierzęcia.

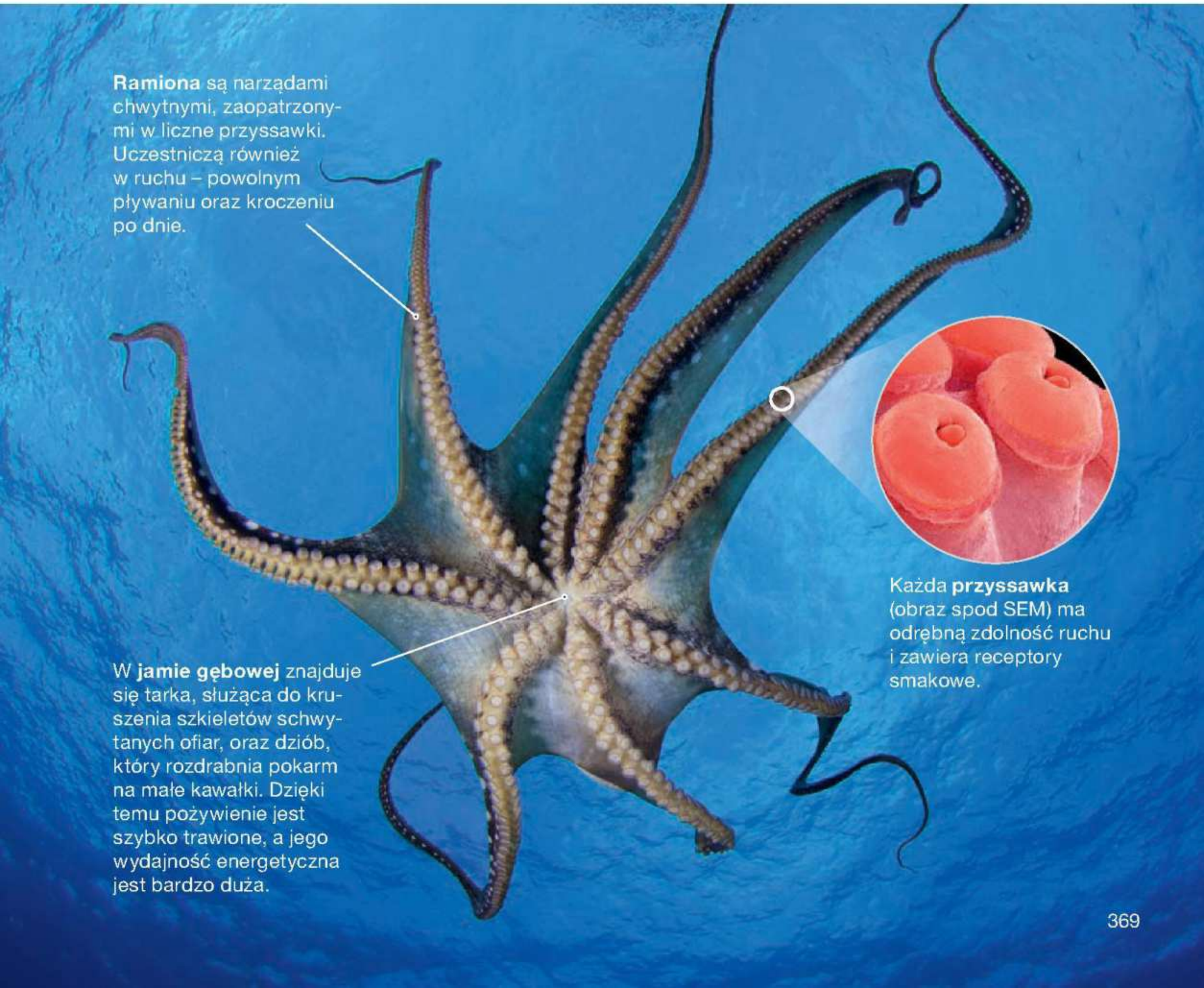
receptorowych i dzięki temu jakość powstającego na niej obrazu jest bardzo dobra.

Układ wydalniczy mięczaków

Układ wydalniczy mięczaków rozpoczyna się parą **orzęsionych lejków** umiejscowionych w worku osierdziowym. Odbierają one zbędne produkty przemiany materii z krwi i przekazują je do parzystych **nerek**. Mocz uchodzi z nerek moczowodami, a z nich trafia do jamy płaszczowej. Mięczaki wodne wydalają głównie **amoniak** i **mocznik**, a lądowe – **kwas moczowy**.

Rozmnażanie się i rozwój mięczaków

Mięczaki rozmnażają się wyłącznie **płciowo**. Wyróżnia się wśród nich zarówno formy **rozdzielnopłciowe** (głowonogi), jak i **obojnacze** (większość małży i ślimaków). Niektóre mięczaki rozdzielnopłciowe wykazują wyraźny **dymorfizm płciowy**, widoczny m.in. w budowie muszli lub zróżnicowaniu rozmiarów ciała. Prymitywniejsze gatunki mają gonady parzyste, a bardziej zaawansowane ewolucyjnie – gonady nieparzyste. U wielu mięczaków morskich zapłodnienie jest zewnętrzne lub dochodzi do niego w jamie płaszczowej. Zapłodnieniem wewnętrznym cechują się głowonogi oraz gatunki lądowe, przy czym u tych ostatnich występuje zapłodnienie krzyżowe. Większość mięczaków to zwierzęta jajorodne, rzadziej jajożyworodne lub żyworodne. Głowonogi i prawie wszystkie ślimaki płucodyszne cechuje rozwój prosty. W rozwoju pozostałych pojawia się **larwa**, z której rozwija się postać dorosła, lub kolejna larwa – żeglarek.



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 i ssaków.

Udział w oczyszczaniu wód

Małże, np. omułek jadalny (*Mytilus edulis*), 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 (*Lymnaea stagnalis*) i błotniarka moczarowa (*Galba truncatula*) są żywicielami pośrednimi motylicy wątrobowej.

Gatunki jadowite

Pewne gatunki mięczaków wytwarzają silne jady, które mogą stanowić zagrożenie dla zdrowia człowieka. Jednym z najbardziej jadowitych ślimaków jest stożek geograficzny (*Conus geographus*), 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.

Materiał jubilerski

Muszle mięczaków i perły wytwarzane przez małże stanowią surowiec do wyrobu ozdób, m.in. biżuterii.

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 (*Teredo navalis*) uszkadza drewniane elementy konstrukcji, które są zanurzone w wodzie.

Polecenia kontrolne

1. Wymień cechy charakterystyczne mięczaków.
2. Określ, jaką funkcję pełni u mięczaków muszla.
3. Opisz narządy wymiany gazowej występujące u mięczaków.
4. Podaj cechy pozwalające zaklasyfikować omułka jadalnego do grupy małży.
5. Wykaż, że głowonogi są najwyżej rozwiniętymi bezkręgowcami.

5.14. Szkarłupnie – bezkręgowe zwierzęta wtórouste

Zwróć uwagę na:
- budowę i czynności życiowe szkarłupni,
- znaczenie szkarłupni w przyrodzie i dla człowieka.

Szkarłupnie (Echinodermata) to zwierzęta wyłącznie morskie, zasiedlające zarówno wody 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. Ich charakterystyczną cechą budowy jest **symetria promienista**. Ma ona charakter wtórny, o czym świadczy fakt, że stadia larwalne tych zwierząt są dwubocznie symetryczne. Do szkarłupni zalicza się: **liliowce**, **rozgwiazdy**, **wężowidła**, **jeżowce** i **strzykwy**.

Ogólna budowa ciała szkarłupni

Szkarłupnie należą do zwierząt trójwarstwowych, mają dobrze rozwiniętą celomę i – w odróżnieniu od innych bezkręgowców – są **wtórouste**. Ich charakterystyczną cechą jest obecność **układu wodnego**, zwanego również **układem ambulakralnym**. Stanowi on część celomy i u większości szkarłupni kontaktuje się bezpośrednio ze środowiskiem zewnętrznym. Układ ambulakralny pełni wiele funkcji, m.in.:
- umożliwia ruch,
- uczestniczy w wymianie gazowej,
- uczestniczy w odżywianiu się i transporcie substancji,
- bierze udział w wydalaniu zbędnych lub szkodliwych produktów przemiany materii,
- odbiera bodźce ze środowiska zewnętrznego.

Wykształcenie układu wodnego spowodowało znaczne uproszczenie lub nawet brak pozostałych układów narządów.

W budowie morfologicznej większości szkarłupni wyodrębnia się **tarczę**, czyli część centralną, oraz pięć lub więcej **ramion**. Zwierzęta te nie mają głowy. W ich ciele wyróżnia się jedynie **stronę oralną** (gębową), gdzie leży otwór gębowy, i **stronę aboralną**, gdzie u większości gatunków znajduje się otwor odbytowy. Obie strony wyznaczają oś ciała, wokół której są promieniście ułożone narządy.

Pokrycie ciała szkarłupni

Ciało szkarłupni jest pokryte nabłonkiem o budowie komórkowej lub syncytialnej. Pod nim znajduje się warstwa tkanki łącznej, w której rozwinął się mezodermalny szkielet wewnętrzny, zbudowany z wapiennych płytek. Kolejnymi warstwami są słabo rozwinięte mięśnie oraz orzęsiony nabłonek celomatyczny.

Szkielet jeżowców ma postać zwartej, rzeźbionej puszki. U żywych jeżowców na jego powierzchni występują kolce.

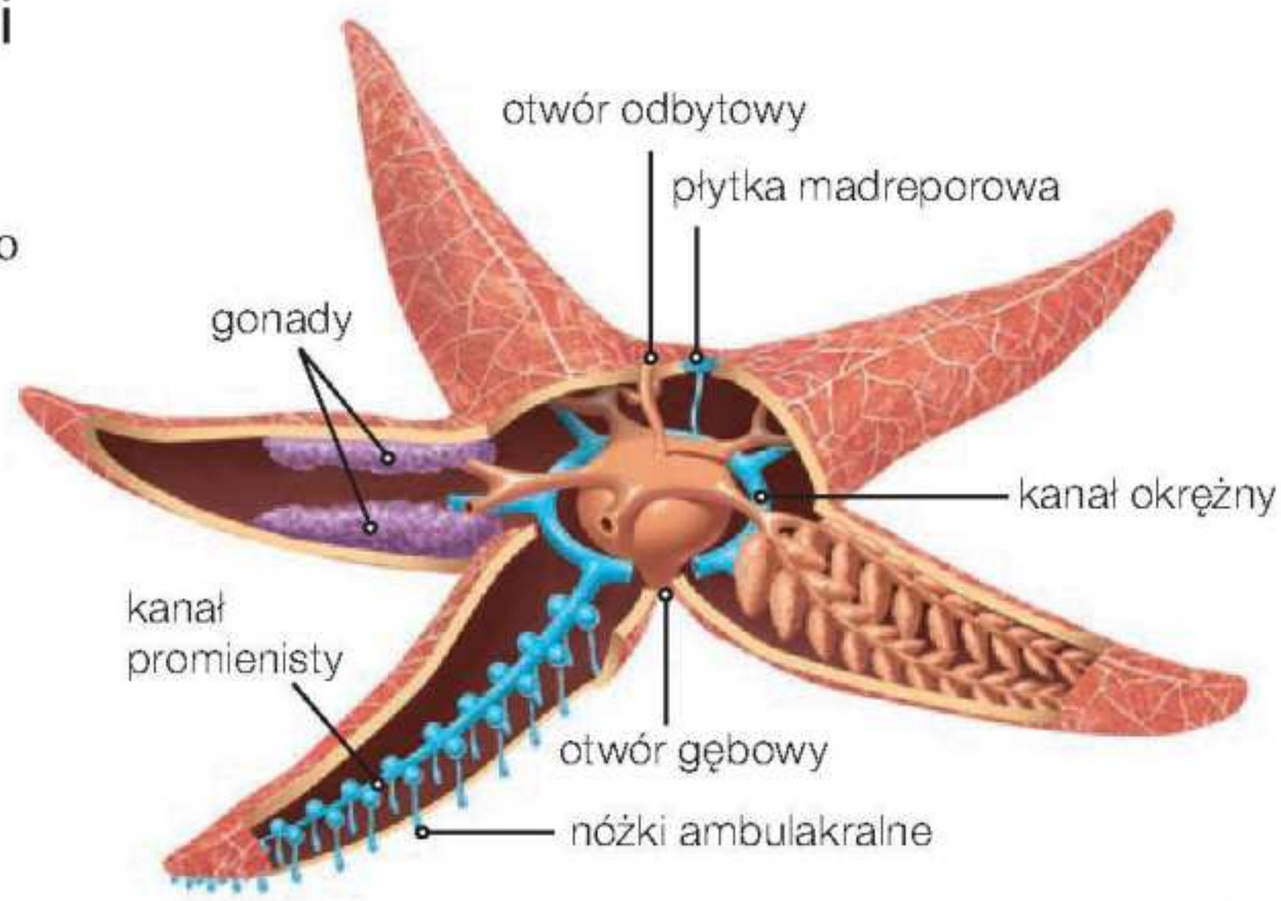
Układ pokarmowy szkarłupni

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, a napadając na większą zdobycz, wynicowują żołądek przez otwór gębowy. Następnie otaczają

Budowa ciała szkarłupni

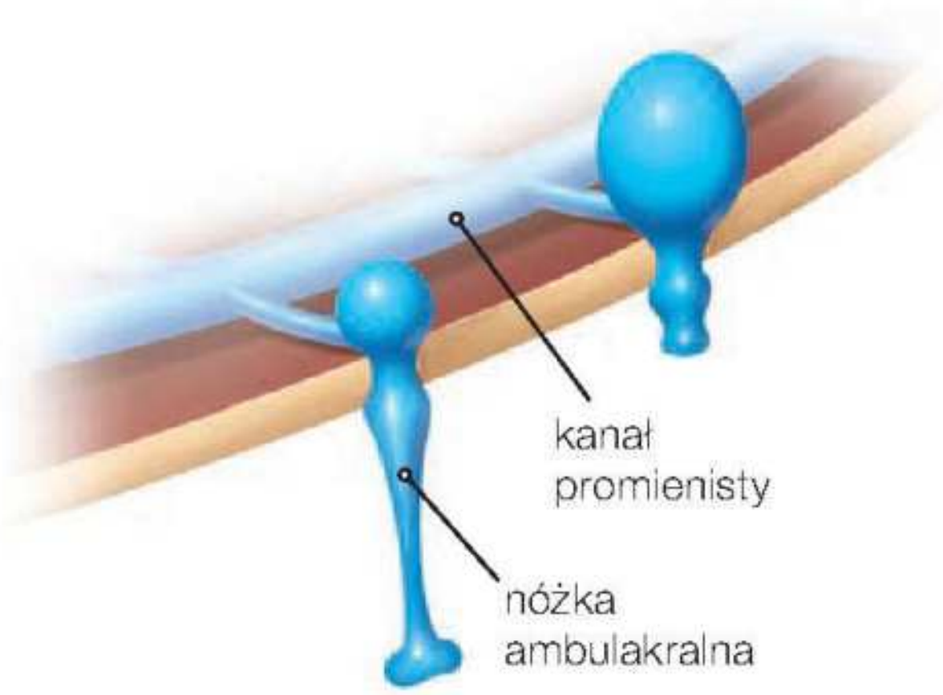
Ciało szkarłupni ma symetrię promienistą. Ze względu na wykształcenie układu wodnego większość układów narządów jest silnie zredukowana.



Budowa wewnętrzna szkarłupni na przykładzie rozgwiazdy.

Układ wodny

Układ wodny to system kanałów wypełnionych płynem. Rozpoczyna się leżącą po stronie aboralnej płytką madreporową (sitową). Znajdują się w niej otwory, przez które woda dostaje się najpierw do tzw. kanału kamiennego, a następnie do kanału okrężnego i kanałów promienistych prowadzących do ramion. Kanały promieniste mają odgałęzienia z ampułkami, które wnikają do nóżek ambulakralnych, zakończonych przyssawkami. Nóżki ambulakralne pełnią funkcję narządów ruchu oraz dotyku, a u liliowców, rozgwiazd, jeżowców i wężowideł uczestniczą w wymianie gazowej.



Zwiększenie ciśnienia wody w nóżce ambulakralnej powoduje jej wydłużenie. Następnie przyssawka przytwierdza nóżkę do podłoża. Usunięcie wody z nóżki powoduje zmniejszenie jej długości i podciągnięcie ciała.

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 odżywiają m.in. mułem dennym, protistami i drobnymi zwierzętami, z kolei strzykwy – mułem i drobnymi cząstkami organicznymi.

Wymiana gazowa u szkarłupni

Część szkarłupni nie ma układu oddechowego, a u pozostałych gatunków jest on 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 dwa duże, cienkościenne i silnie rozgałęzione worki leżące w jamie ciała, nazywane **płucami wodnymi**.

Transport substancji u szkarłupni

Transport substancji w organizmie szkarłupni odbywa się za pomocą układów krwionośnego i wodnego. **Układ krwionośny**, zwany hemalnym, jest **otwarty**. Składa się z kanału okrężnego oraz systemu zatok i kanałów, które dają odgałęzienia do pozostałych narządów ciała. Płyn występujący w układzie hemalnym gromadzi się na skutek przenikania przez ściany przewodu pokarmowego substancji odżywczych, które są następnie rozprowadzane po organizmie.

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**. Słabo wykształcone są także narządy zmysłów. Bodźce nerwowe odbierają **nóżki ambulakralne**, a u niektórych gatunków również **czułki**. Rozgwiazdy i jeżowce mają fotoreceptory w postaci **oczu** o nieskomplikowanej budowie, umożliwiających rozróżnianie natężenia światła. U strzykw i jeżowców występują narządy równowagi – **statocysty**.

Planktonowa, dwubocznie symetryczna larwa rozgwiazdy (zdjęcie spod mikroskopu optycznego).

Wydalanie i osmoregulacja szkarłupni

Szkarłupnie **nie mają układu wydalniczego**. W wydalaniu uczestniczą **amebocyty**, które znajdują się w płynie wypełniającym jamę ciała. Wychwytują one i gromadzą 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. Dlatego żyją w morzach o stałym i dużym zasoleniu.

Rozmnażanie się i rozwój szkarłupni

Szkarłupnie są zwierzętami **rozdzielnopłciowymi**. Ich gonady mają zwykle postać woreczków, z których gamety uchodzą krótkimi kanałami do wody. U większości gatunków występują **zapłodnienie zewnętrzne** i **jajorodność**. 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.

Szkarłupnie – nietypowe bezkręgowce

Szkarłupnie są nietypową grupą organizmów. W porównaniu z omawianymi wcześniej zwierzętami pewne elementy ich budowy i rozwoju uwsteczniły się (cechy regresywne), a pewne – rozwinęły (cechy progresywne).

Mimo że zachowały się liczne skamieniałości szkarłupni, ich pochodzenie wciąż nie jest znane. Przypuszcza się, że są one daleko spokrewnione z pozostałymi bezkręgowcami. Przemawia za tym fakt, że do tej pory u innych bezkręgowców nie udało się wykazać elementów, których budowa nawiązywałaby do budowy układu wodnego czy szkieletowego szkarłupni.

Odmiennie przebiega również rozwój zarodkowy szkarłupni, zwłaszcza powstawanie otworu gębowego. Zwierzęta te, podobnie jak strunowce, są wtórouste, podczas gdy bezkręgowce należą do pierwoustych. Dowodzi to, że szkarłupnie i strunowce miały prawdopodobnie wspólnego przodka. Szkarłupnie są więc bliżej spokrewnione ze strunowcami (w tym również z kręgowcami) niż z innymi bezkręgowcami.

Cechy szkarłupni

Cechy charakterystyczne tylko dla szkarłupni	Cechy regresywne	Cechy progresywne
• układ wodny • szkielet wewnętrzny zbudowany z wapiennych płytek	• symetria promienista • brak głowy • brak centralizacji układu nerwowego • zanik układów oddechowego i wydalniczego	• przekształcanie się pragęby w otwór odbytowy i powstawanie wtórnego otworu gębowego • mezodermalny szkielet wewnętrzny pokryty ektodermalnym nabłonkiem

Dowiedz się więcej

Różnorodność szkarłupni

Liliowce

Liliowce (Crinoidea) są zwierzętami osiadłymi. Ich tarcza centralna ma kształt kielicha, na którego brzegu znajduje się pięć ramion – pojedynczych lub rozdzielonych na kilka do kilkuset gałęzi. Kielich jest osadzony na łodyżce przytwierdzającej zwierzę do podłoża.

Rozgwiazdy

Rozgwiazdy (Asteroidea) mają tarczę centralną oraz stosunkowo grube ramiona (najczęściej pięć). Poruszają się za pomocą nóżek ambulakralnych. Odznaczają się dużymi zdolnościami regeneracyjnymi.

Wężowidła

Wężowidła (Ophiuroidea) charakteryzują się niewielką tarczą centralną oraz wyraźnie odgraniczonymi, stosunkowo cienkimi ramionami. Mogą przemieszczać się za pomocą ruchów ramion, dzięki czemu są wyjątkowo ruchliwe. Nie mają otworu odbytowego.

Jeżowce

Ciało jeżowców (Echinoidea) jest kuliste, pokryte ruchomymi kolcami. Szkielet wewnętrzny składa się ze ściśle przylegających do siebie płytek. Zwierzęta te mają aparat szczękowy, zwany latarnią Arystotelesa, zbudowany z płytek i pięciu ostrych, ruchomych wapiennych zębów.

Strzykwy

Strzykwy (Holothuroidea) to zwierzęta dwubocznie symetryczne. Z przodu ich obłego ciała znajduje się otwór gębowy otoczony wieńcem czułków. Strzykwy potrafią regenerować narządy wewnętrzne, które w sytuacji zagrożenia wyrzucają przez otwór odbytowy.

Znaczenie szkarłupni w przyrodzie i dla człowieka

Składnik sieci troficznych ekosystemów

Szkarłupnie stanowią element sieci troficznych ekosystemów. Są zarówno konsumentami, jak i bazą pokarmową dla innych organizmów, m.in. morskich ślimaków, ryb, ptaków i ssaków.

Źródło pokarmu dla człowieka

W wielu krajach poławia się szkarłupnie 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. Substancje wytwarzane przez ogórka morskiego (*Cucumaria frondosa*) są badane pod względem wykorzystania w terapii nowotworów.

Gatunki jadowite

Pewne gatunki szkarłupni wytwarzają silne jady, które mogą 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. Wymień układy, które nie występują u szkarłupni.
4. Podaj cechy odróżniające od siebie poszczególne grupy szkarłupni.

Podsumowanie

1 Podział zwierząt ze względu na przebieg rozwoju zarodkowego i budowę ciała

Zwierzęta	beztkankowce	• gąbki			
	tkankowce	dwuwarstwowce	• parzydełkowce		
		trójwarstwowce	acelomatyczne	• płazińce	pierwouste
			pseudocelomatyczne	• wrotki • nicienie	
			celomatyczne	• mięczaki • pierścienice • stawonogi	
				• szkarłupnie • strunowce	wtórouste

2 Podział zwierząt ze względu na symetrię ciała

Zwierzęta		
asymetryczne	o symetrii promienistej	o symetrii dwubocznej
• gąbki	• parzydełkowce • większość dorosłych szkarłupni	• płazińce • wrotki • nicienie • mięczaki • pierścienice • stawonogi • strunowce

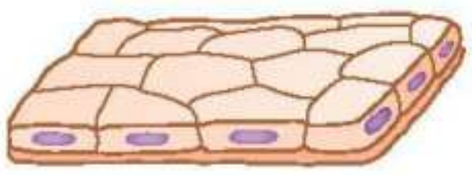
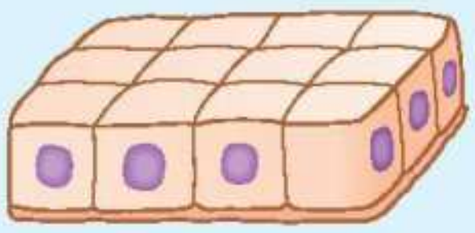
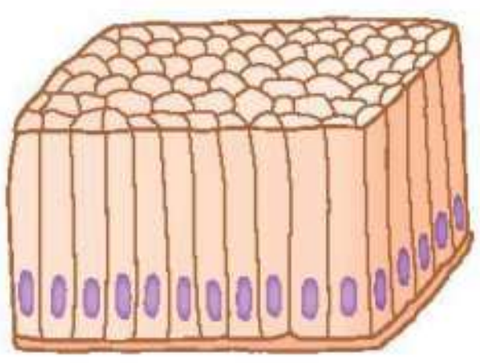
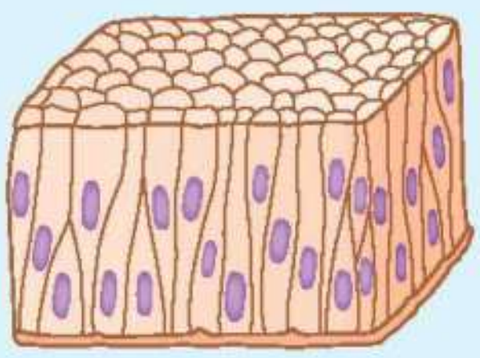
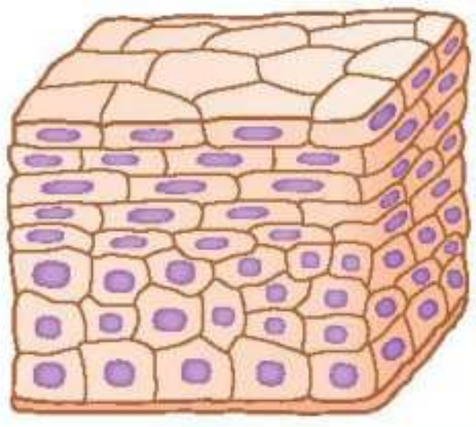
3 Podział zwierząt ze względu na ostateczny produkt azotowej przemiany materii

Zwierzęta		
amonioteliczne	ureoteliczne	urikoteliczne
wiele bezkręgowców wodnych, niektóre ryby i żółwie wodne	organizmy lądowe, głównie dorosłe płazy oraz ssaki	organizmy lądowe, głównie owady, ptaki i gady

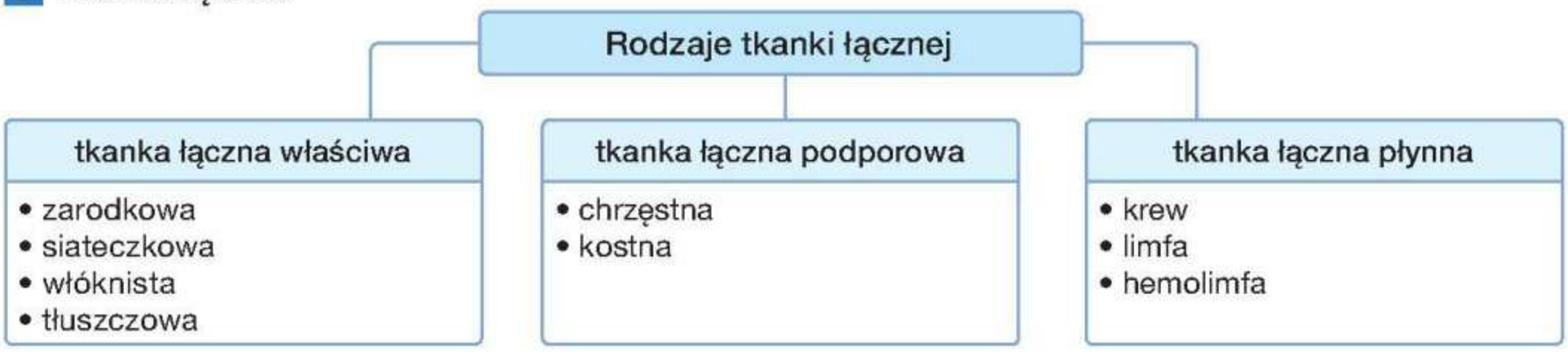
4 Cechy gąbek – zwierząt beztkankowych

Cecha	Opis
Występowanie	Występują wyłącznie w środowisku wodnym – większość w morzach i oceanach, nieliczne gatunki żyją w wodach słodkich.
Budowa ciała	Nie wykształcają tkanek i narządów. Ściana ich ciała składa się z dwóch warstw komórek – pinakodermy i gastrodermy – oddzielonych od siebie galaretowatą substancją – mezohylem. Wnętrze ciała zajmuje jama zwana spongocelem, przez którą ciągle przepływa woda – wpływa ona przez liczne otwory wlotowe i wydostaje się z ciała gąbki przez otwór wypustowy.
Reakcja na bodźce	Nie mają komórek nerwowych – reagują na działanie bodźców pochodzących ze środowiska bardzo słabo, zamykając otwory wlotowe i otwór wypustowy.
Ruch	Nie mają komórek mięśniowych – nie wykonują ruchów lokomotorycznych.
Rozmnażanie się	Rozmnażają się zazwyczaj bezpłciowo – przez podział, fragmentację ciała lub pączkowanie.
Odżywianie się	Większość gatunków należy do filtratorów, nieliczne gatunki są drapieżnikami.

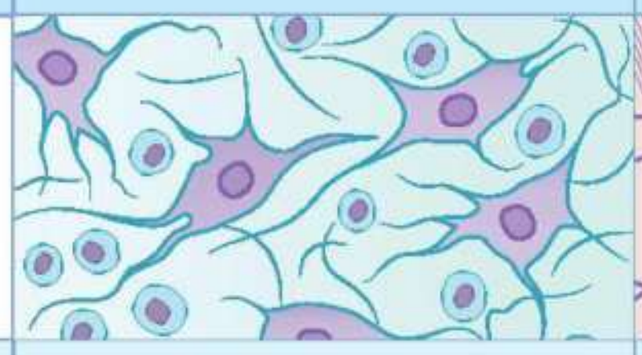
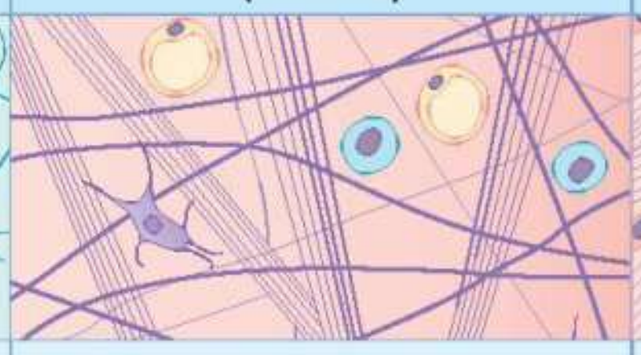
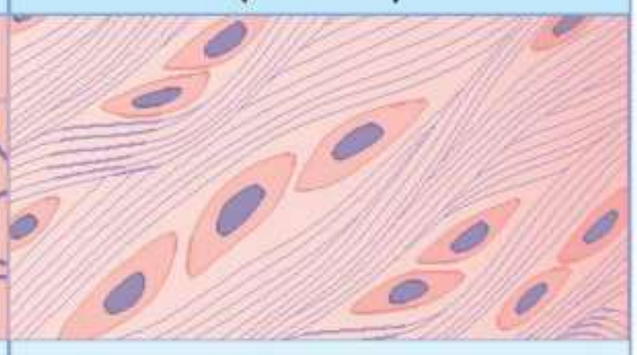
5 Tkanka nabłonkowa

Tkanka nabłonkowa			
rodzaj tkanki	**budowa**	**funkcje**	**przykłady występowania**
Nabłonek jednowarstwowy płaski 	• jest zbudowany z silnie spłaszczonych komórek, których jądra komórkowe są położone centralnie	• stanowi barierę fizyczną między wnętrzem ciała a środowiskiem zewnętrznym • umożliwia transport różnych substancji (np. gazów oddechowych) między organizmem a środowiskiem	• występuje na powierzchni skrzeli • buduje ściany pęcherzyków płucnych • buduje wyściółkę naczyń krwionośnych • stanowi powierzchnię ciała niektórych bezkręgowców, np. płazińców
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 o 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 większej części przewodu pokarmowego • 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 pokrywają rzęski	• zatrzymuje i usuwa zanieczyszczenia powietrza	• stanowi pokrycie dróg oddechowych
Nabłonek wielowarstwowy płaski 	• jest zbudowany z wielu warstw komórek, które spłaszczają się w miarę wzrostu odległości od błony podstawnej	• tworzy warstwę ochronną	• nabłonek rogowaciejący pokrywa ciało większości kręgowców • nabłonek nierogowaciejący występuje m.in. w przełyku, odbycie i pochwie

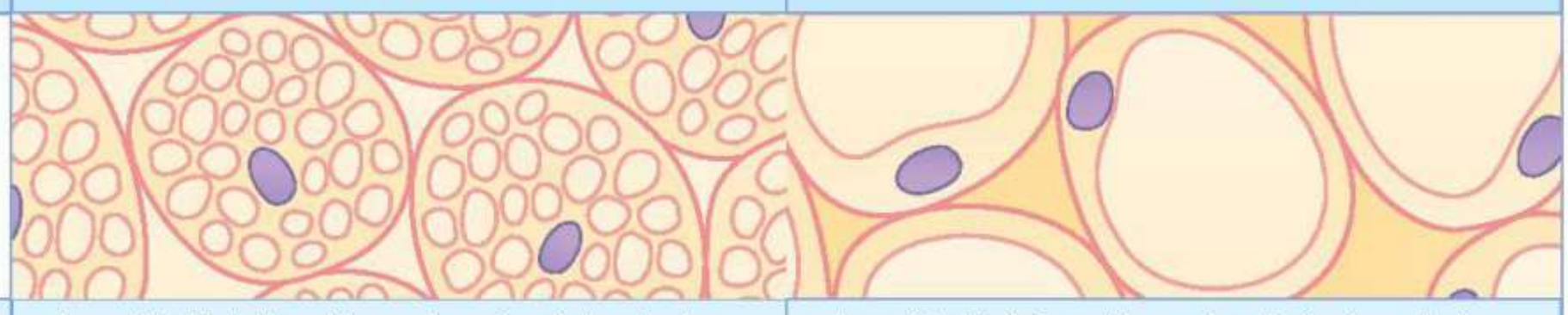
6 Tkanka łączna



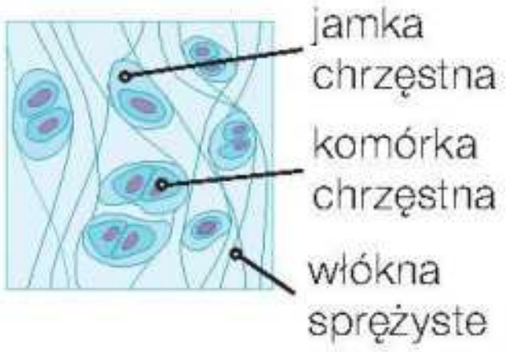
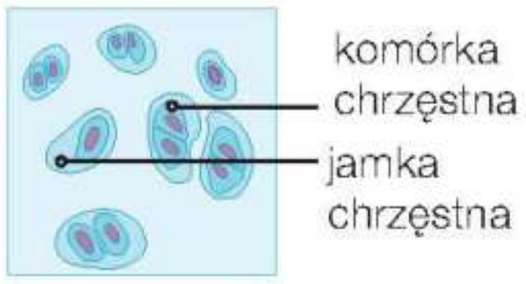
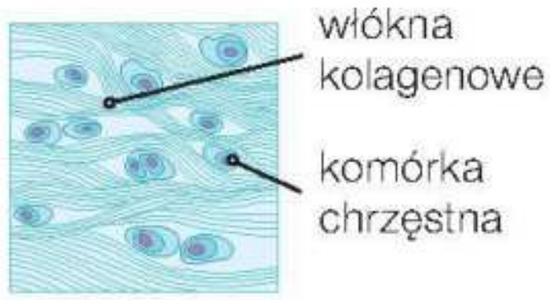
Rodzaje tkanki łącznej właściwej

Rodzaj	Tkanka łączna właściwa		
	tkanka siateczkowa	tkanka włóknista luźna (wiotka)	tkanka włóknista zbita (zwarta)
Wygląd			
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 m.in. z fibroblastów i substancji podstawowej, w skład której wchodzą głównie pęczki włókien kolagenowych
Funkcje	• jest elementem szpiku kostnego • jest elementem węzłów limfatycznych • jest elementem śledziony	• tworzy zrąb narządów • wypełnia wolne przestrzenie między narządami	• buduje ścięgna i więzadła • buduje skórę właściwą kręgowców

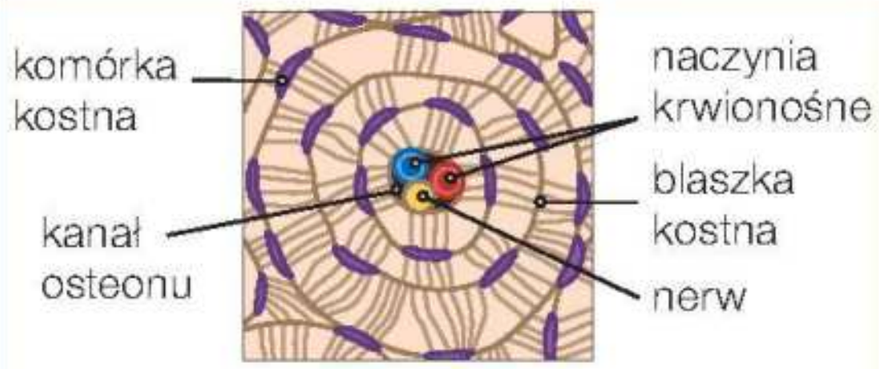
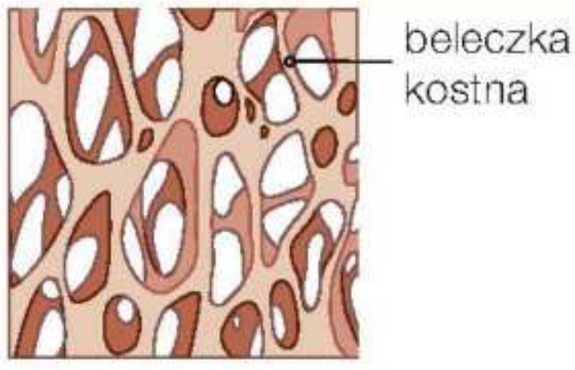
Rodzaje tkanki tłuszczowej

Cecha	Tkanka tłuszczowa	
	tkanka tłuszczowa brunatna	tkanka tłuszczowa żółta
Wygląd		
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, szybko tracących ciepło • u osób szczupłych • 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
Wygląd			
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
Funkcje	• 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

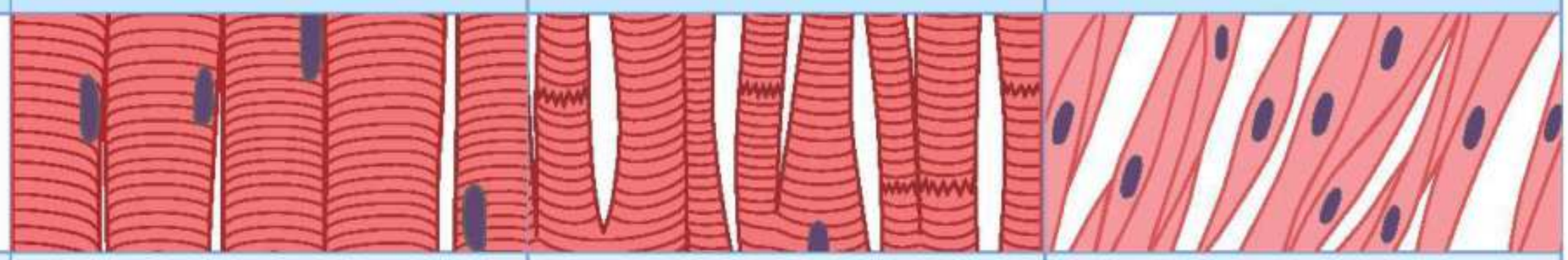
Rodzaje tkanki kostnej

Cecha	Tkanka kostna	
	tkanka kostna zbita	tkanka kostna gąbczasta
Wygląd		
Budowa	• blaszki kostne tworzą osteony • między osteonami występują dodatkowe blaszki kostne	• 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 oraz gazy oddechowe, a także bierze udział w reakcjach odpornościowych organizmu	• ma skład podobny do osocza krwi – jest zbudowana z wody, innych związków nieorganicznych i 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 kręgowców

7 Tkanka mięśniowa

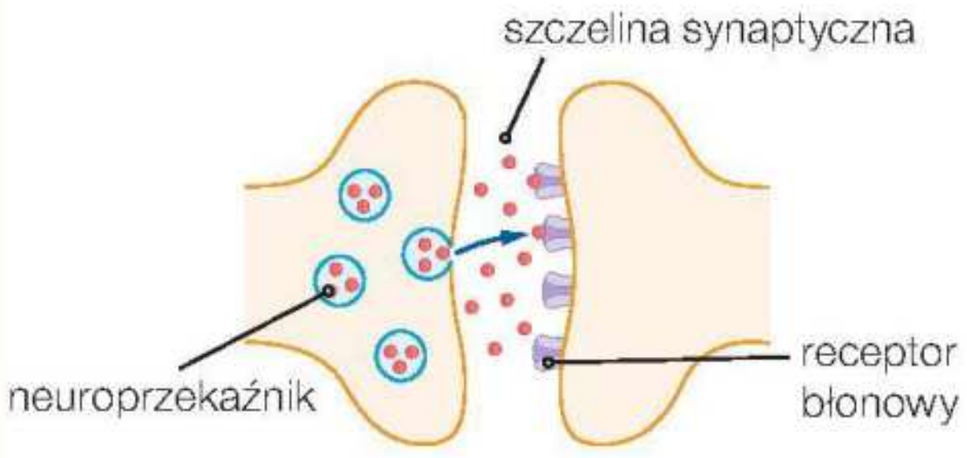
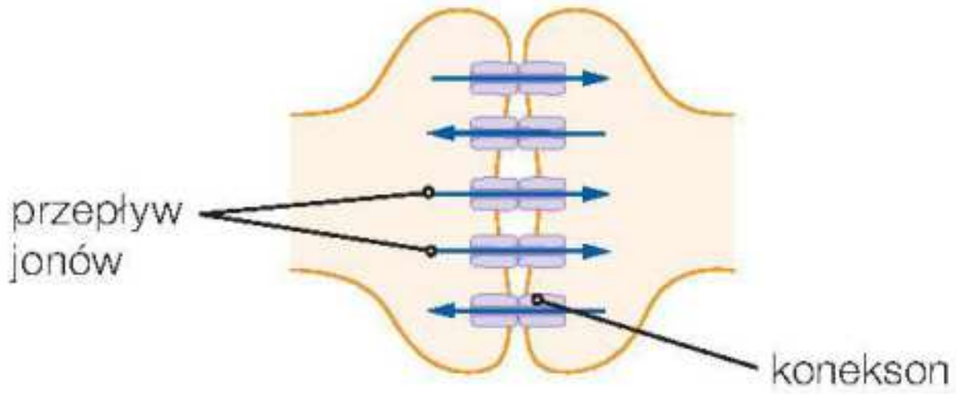
Cecha	Rodzaje tkanki mięśniowej		
	poprzecznie prążkowana szkieletowa	poprzecznie prążkowana serca	gładka
Wygląd			
Liczba i ułożenie jąder komórkowych	• duża liczba jąder komórkowych, ułożonych peryferycznie pod błoną komórkową	• jedno lub dwa jądra komórkowe położone centralnie	• u kręgowców – jedno jądro komórkowe położone centralnie
Kształt komórek	• komórki mięśniowe długie i cylindryczne	• komórki mięśniowe cylindryczne, o widlasto rozgałęzionych końcach	• komórki mięśniowe wrzecionowate
Obecność wstawek	• brak	• obecne	• brak
Ułożenie filamentów i prążkowanie	• filamenty cienkie i grube ułożone na przemian – poprzeczne prążkowanie	• filamenty cienkie i grube ułożone na przemian – poprzeczne prążkowanie	• filamenty cienkie i grube ułożone nieregularne – brak prążkowania
Charakterystyka skurczów	• szybkie i silne • zwykle zależne od woli	• szybkie, słabsze niż skurcze mięśni szkieletowych • niezależne od woli	• długotrwałe i powolne • niezależne od woli

8 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

9 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 (wyjątek: koralowce)	• zbudowany z otworu gębowego i jamy gastralnej (brak odbytu)	• brak (wymiana gazowa 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, jelita przedniego i jelita środkowego (brak odbytu) • u tasiemców – brak	• brak (wymiana gazowa całą powierzchnią ciała) • u pasożytów wewnętrznych fermentacja
Wrotki	• zbudowana z nabłonka, oskórka (niekiedy z galaretowatą otoczką) • mięśnie nie wchodzą w skład powłoki ciała, lecz dzielą się na odrębne grupy	• wewnętrzny hydrauliczny • często zewnętrzny pancerz	• zbudowany z otworu gębowego, jamy gębowej, gardzieli, przełyku, żołądka, jelita, kloaki i odbytu	• brak (wymiana gazowa całą powierzchnią ciała)
Nicienie	• zbudowana z wora powłokowo-mięśniowego, który składa się z oskórka, nabłonka i mięśni	• wewnętrzny hydrauliczny	• zbudowany z otworu gębowego, jamy gębowej, gardzieli, jelita środkowego, jelita tylnego i odbytu	• brak (wymiana gazowa całą powierzchnią ciała) • u pasożytów wewnętrznych fermentacja
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 i tylnego oraz odbytu	• u pijawek i skąposzczetów – brak • 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	• zbudowany z otworu gębowego, przełyku, wola (u owadów), żołądka, jelita środkowego i tylnego oraz odbytu	• u skorupiaków – skrzela • u wijów, owadów i części pajęczaków – tchawki • u pozostałych pajęczaków – płucotchawki
Mięczaki	• zbudowana z worapowłokowego, który składa się z nabłonka, warstwy tkanki łącznej i mięśni	• zewnętrzny – muszla (u niektórych brak)	• zbudowany z otworu gębowego, gardzieli, żołądka, jelita środkowego i tylnego oraz odbytu	• u małży, głowonogów i niektórych ślimaków – skrzela • u ślimaków płucodysznych – płuca
Szkarłupnie	• zbudowana z nabłonka, warstwy tkanki łącznej zawierającej szkielet wewnętrzny oraz mięśni i nabłonka celomatycznego	• wewnętrzny, zbudowany z wapiennych płytek	• zbudowany z otworu gębowego, przełyku, żołądka, jelita środkowego i tylnego oraz odbytu (u wężowideł brak)	• u niektórych – brak • 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	• brak – wydalanie całą powierzchnią ciała	• u wielu występuje przemiana pokoleń – meduzy rozmnażającej się płciowo i polipa rozmnażającego się bezpłciowo
Płazińce	• brak	• zwykle zbudowany z dwóch zwojów nerwowych i podłużnych pni nerwowych	• protonefrydialny (komórki płomykowe, przewody wyprowadzające i otwór wydalniczy)	• płciowo, u wirków – rozwój prosty, u przywr i tasiemców – rozwój złożony • powszechne obojnactwo i zapłodnienie krzyżowe
Wrotki	• brak	• zbudowany z trzech zwojów, od których odchodzą parzyste nerwy do różnych narządów ciała	• protonefrydialny (komórki płomykowe i kanaliki boczne, które otwierają się do kloaki)	• u wielu występuje przemiana pokoleń – pokolenia rozmnażającego się płciowo oraz pokolenia rozmnażającego się partenogenetycznie
Nicienie	• brak	• zbudowany z pierścienia okołogardzielowego, zwojów nerwowych, 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, brak serca • u dżdżownicy występują tzw. serca boczne	• zbudowany ze zwojów nadprzełykowych, obrączki okołoprzełykowej, zwojów podprzełykowych i pni nerwowych	• metanefrydialny (urzęsione lejki i przewody wydalnicze) • u niektórych wieloszczetów występują protonefrydia	• płciowo, u skąposzczetów i pijawek – rozwój prosty, u wieloszczetów – rozwój złożony • u wielu skąposzczetów obojnactwo i zapłodnienie krzyżowe
Stawonogi	• otwarty, serce obecne	• 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, wijów i niektórych pajęczaków – cewki Malpighiego	• płciowo, u pajęczaków i niektórych skorupiaków – rozwój prosty, u owadów i niektórych skorupiaków – rozwój złożony
Mięczaki	• otwarty, serce obecne	• u większości zbudowany z obrączki okołoprzełykowej i pni nerwowych • u głowonogów występuje mózg	• zbudowany z nerek oraz z moczowodów	• płciowo, rozwój prosty lub złożony • u wielu ślimaków obojnactwo i zapłodnienie krzyżowe
Szkarłupnie	• otwarty, brak serca	• składa się z pierścienia i pni nerwowych	• brak – funkcje pełnią podocyty	• płciowo, rozwój złożony

Sposób na zadania

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Wirki (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.

a) Podkreśl nazwy <u>dwóch</u> gatunków zwierząt należących do tego samego typu, do którego należą wirki.

glista ludzka, *motylica wątrobowa*, *dżdżownica ziemna*, *pijawka lekarska*, *tasiemiec uzbrojony*

b) Wykaż związek między budową nabłonka u wirków a środowiskiem ich życia. W odpowiedzi uwzględnij rolę rzęsek i śluzu.

c) Podaj nazwy <u>trzech</u> struktur komórkowych występujących w komórkach gruczołowych nabłonka wirków oraz określ ich rolę w produkcji mucyny.

d) Podaj nazwy listków zarodkowych, z których powstają tkanki (nabłonkowa i mięśniowa) budujące wór powłokowo-mięśniowy wirków.

Wskazówki

Podpunkt a)

1. Przypomnij sobie, do jakiej grupy systematycznej należą wirki. Informacje na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 314.
2. Zastanów się, które z wymienionych zwierząt należą do tej samej grupy systematycznej, do której należą wirki. Informacje na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 314.
3. Podkreśl nazwy właściwych organizmów.

Podpunkt b)

1. Odszukaj informację na temat środowiska życia wirków. Znajdziesz ją w podręczniku na s. 314.
2. Przypomnij sobie wiadomości dotyczące budowy nabłonka u wirków. Informacje na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 314 i 315.
3. Zastanów się, do czego mogą służyć wirkom rzęski znajdujące się na powierzchni nabłonka oraz jaką funkcję pełni śluz. Informację na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 315.
4. Sformułuj odpowiedź.

Podpunkt c)

1. Zastanów się, jaką budowę chemiczną ma mucyna. Informacje na ten temat znajdziesz we wstępie do zadania.
2. Przypomnij sobie, jakie organelle komórkowe uczestniczą w biosyntezie związków, do których należy mucyna. Informację na ten temat znajdziesz w podręczniku do klasy 1 na s. 109, 110 i 112.
3. Sformułuj odpowiedź.

Podpunkt d)

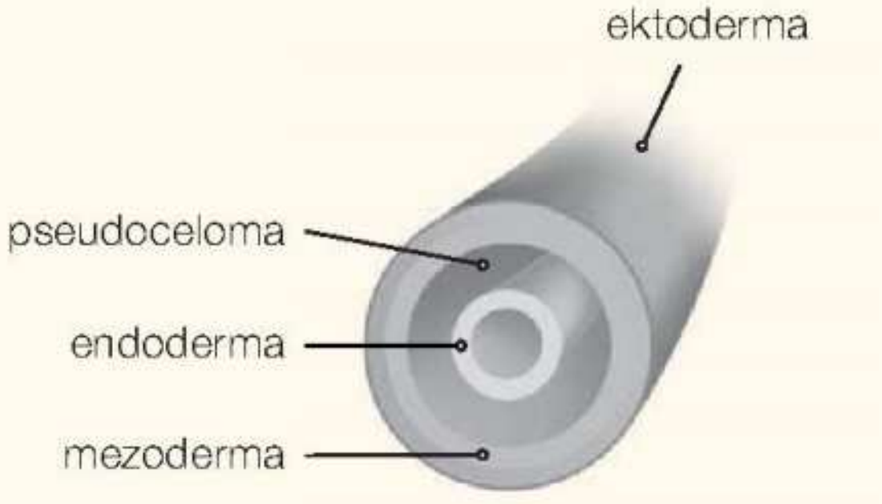
1. Przypomnij sobie, jakie listki zarodkowe uczestniczą w formowaniu się tkanek i narządów zwierząt. Informacje na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 276.
2. Odszukaj we wstępie do zadania opis budowy powłoki ciała wirka. Informacje te możesz również znaleźć w podręczniku na s. 314 i 315.
3. Sformułuj odpowiedź.

Zadania powtórzeniowe

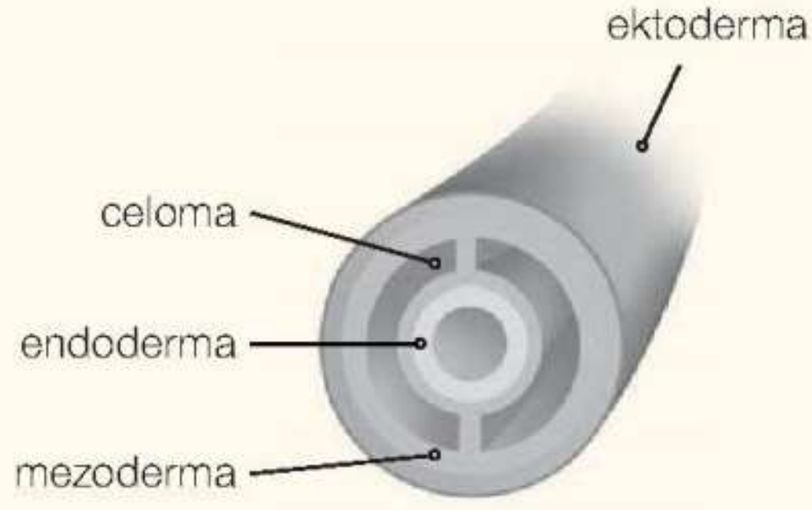
WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Na schematach przedstawiono przekroje poprzeczne przez ciało dwóch różnych zwierząt. Pierwszy schemat (A) obrazuje przekrój przez ciało organizmu pseudocelomatycznego, natomiast drugi (B) – przekrój przez ciało organizmu celomatycznego.

A.



B.

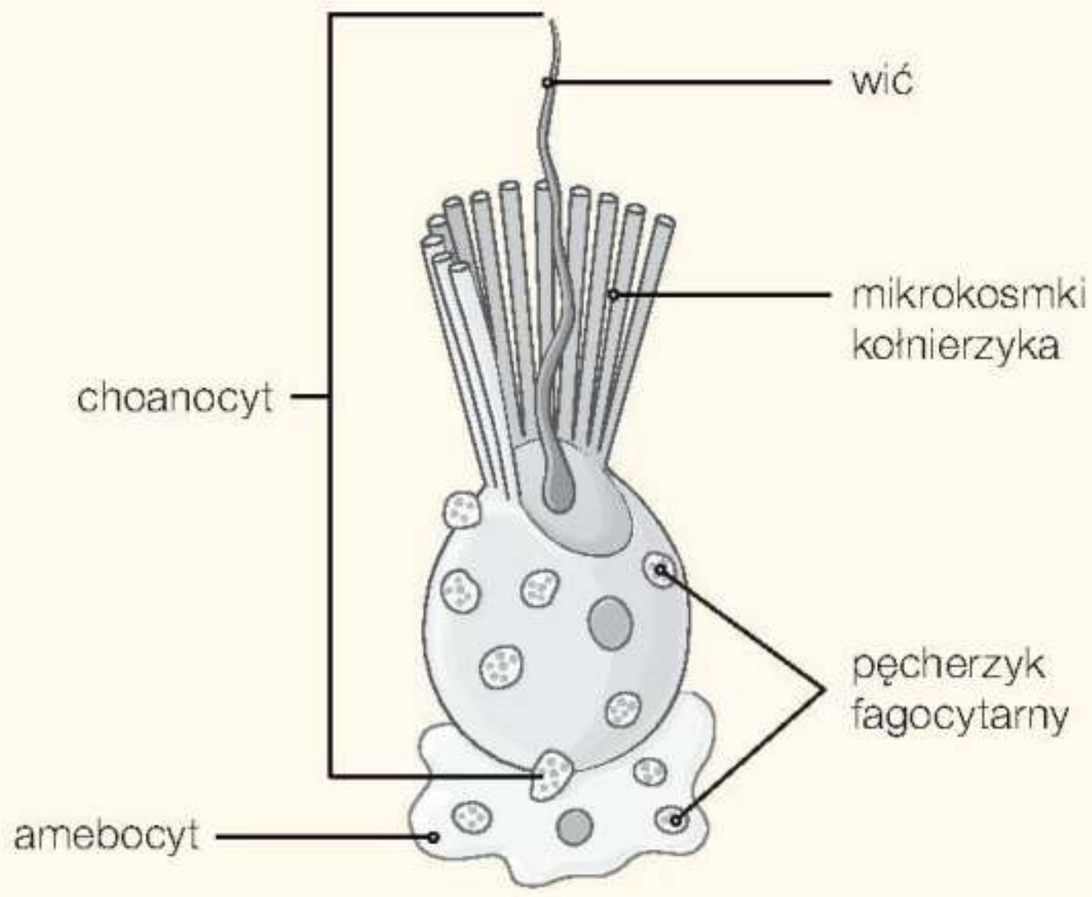


a) Podaj dwie cechy budowy wewnętrznej, którymi różnią się zwierzęta pseudocelomatyczne od zwierząt celomatycznych.

b) Oceń, czy poniższe stwierdzenia dotyczące zwierząt pseudocelomatycznych i celomatycznych są prawdziwe. Zaznacz P, jeśli stwierdzenie jest prawdziwe, albo F – jeśli jest fałszywe.

1.	Zarówno zwierzęta pseudocelomatyczne, jak i zwierzęta celomatyczne należą do trójwarstwowców.	P	F
2.	Wszystkie zwierzęta celomatyczne należą do wtóroustych.	P	F
3.	U zwierząt pseudocelomatycznych jama ciała jest w pełni ograniczona przez komórki mezodermy.	P	F

2 Na schemacie przedstawiono choanocyty i amebocyty – komórki biorące udział w odżywianiu się gąbek. Pierwszym etapem tego procesu jest fagocytoza, podczas której zachodzi trawienie wewnątrzkomórkowe. Następnie uzyskane substancje odżywcze są rozprowadzane po całym ciele przez amebocyty – komórki zdolne do ruchów pełzakowatych.



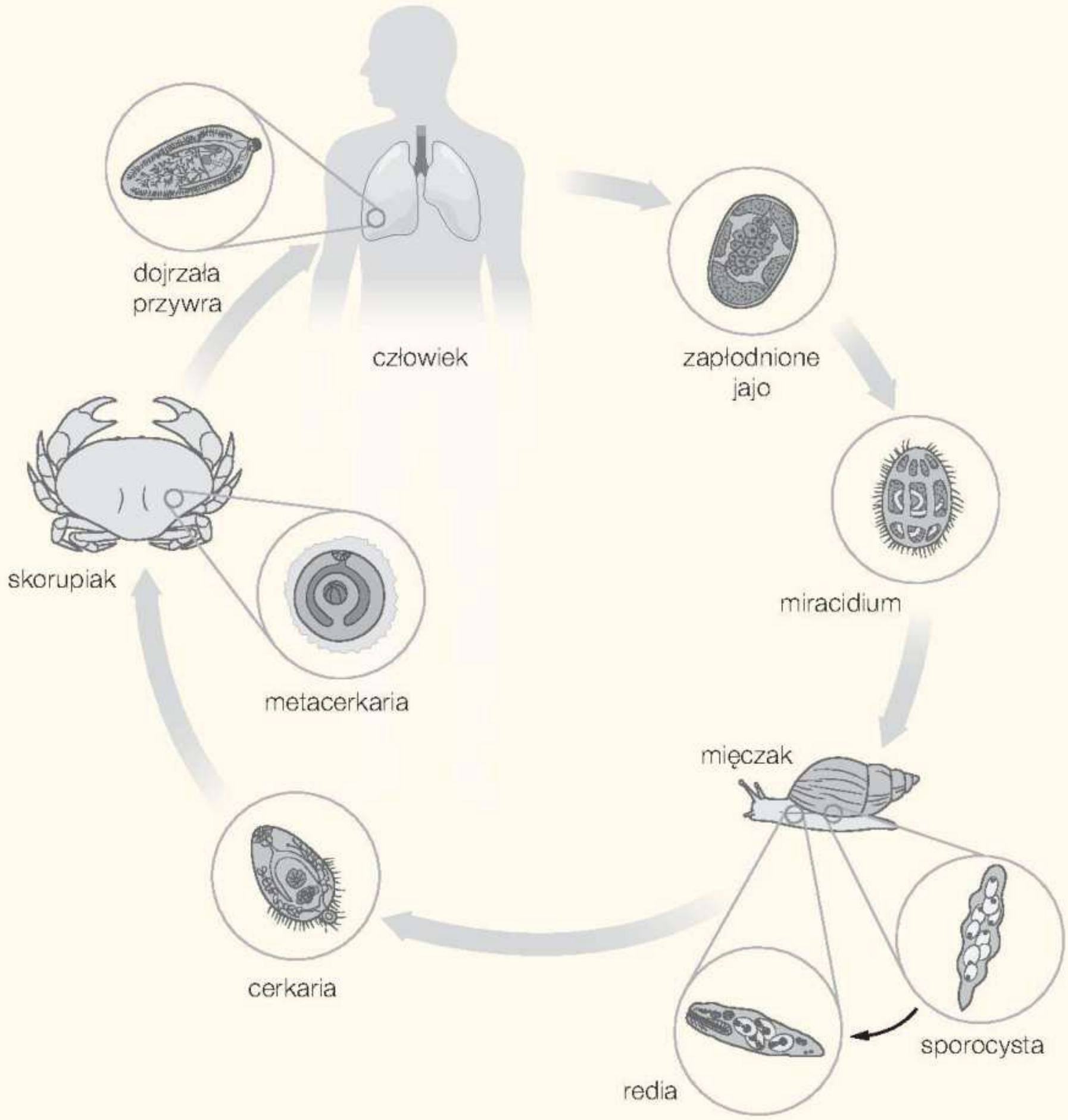
a) Określ, jakie funkcje pełnią choanocyty w odżywianiu się gąbek.

b) Uzupełnij poniższe zdania tak, aby zawierały prawdziwe informacje. Podkreśl właściwe określenia.

Fagocytoza polega na pobieraniu *cząstek stałych / substancji drobnocząsteczkowych rozpuszczonych w wodzie*. Następnie pokarm jest trawiony z udziałem *peroksysomów / lizosomów*. Niestrawione resztki usuwane są na drodze *egzocytozy / endocytozy*.

c) Podaj nazwę elementu cytoszkieletu, który umożliwia amebocytom wykonywanie ruchów pełzakowatych.

3 Schemat przedstawia cykl rozwojowy przywry płucnej.



a) Określ, który z organizmów – człowiek, mięczak czy skorupiak – jest żywicielem ostatecznym przywry płucnej. Odpowiedź uzasadnij.

b) Na podstawie schematu oceń, czy poniższe stwierdzenia dotyczące cyklu rozwojowego przywry płucnej są prawdziwe. Zaznacz P, jeśli stwierdzenie jest prawdziwe, albo F – jeśli jest fałszywe.

1.	W cyklu życiowym przywry płucnej nie zachodzi mejoza.	P	F
2.	Przywra płucna jest pasożytem wewnętrznym człowieka.	P	F
3.	Przywra płucna ma rozwój złożony.	P	F

4 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).

Określ, która cecha szkarłupni jest cechą regresywną, a którą – cechą progresywną. Wstaw znak X w odpowiednich miejscach tabeli.

		Cecha regresywna	Cecha progresywna
1.	Symetria promienista.		
2.	Przekształcanie pragęby w otwór odbytowy i powstawanie otworu gębowego na przeciwnym biegunie ciała.		
3.	Zanik układu wydalniczego.		

5 Schemat przedstawia cykl życiowy wrotków.

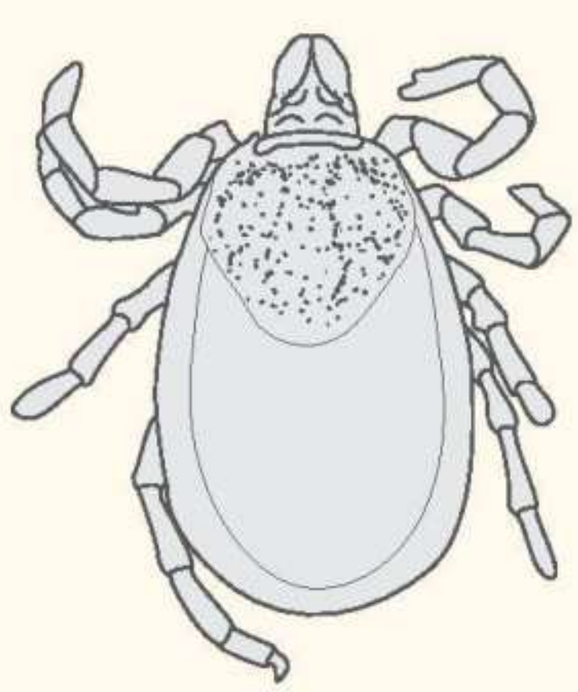
a) Podaj przykład organizmu, w którego cyklu życiowym – podobnie jak u wrotków – naprzemiennie występują pokolenia rozmnażające się płciowo i partenogenetycznie.

b) Określ, który typ rozmnażania wrotków – partenogeneza czy rozmnażanie płciowe – pozwala na przetrwanie tych zwierząt w zmiennych warunkach środowiska. Odpowiedź uzasadnij.

c) Wyjaśnij, dlaczego z jaj amiktycznych samic nie powstają samce.

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) Wymień 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) Zaznacz poprawne dokończenie zdania.

Borelioza jest chorobą wywoływaną przez

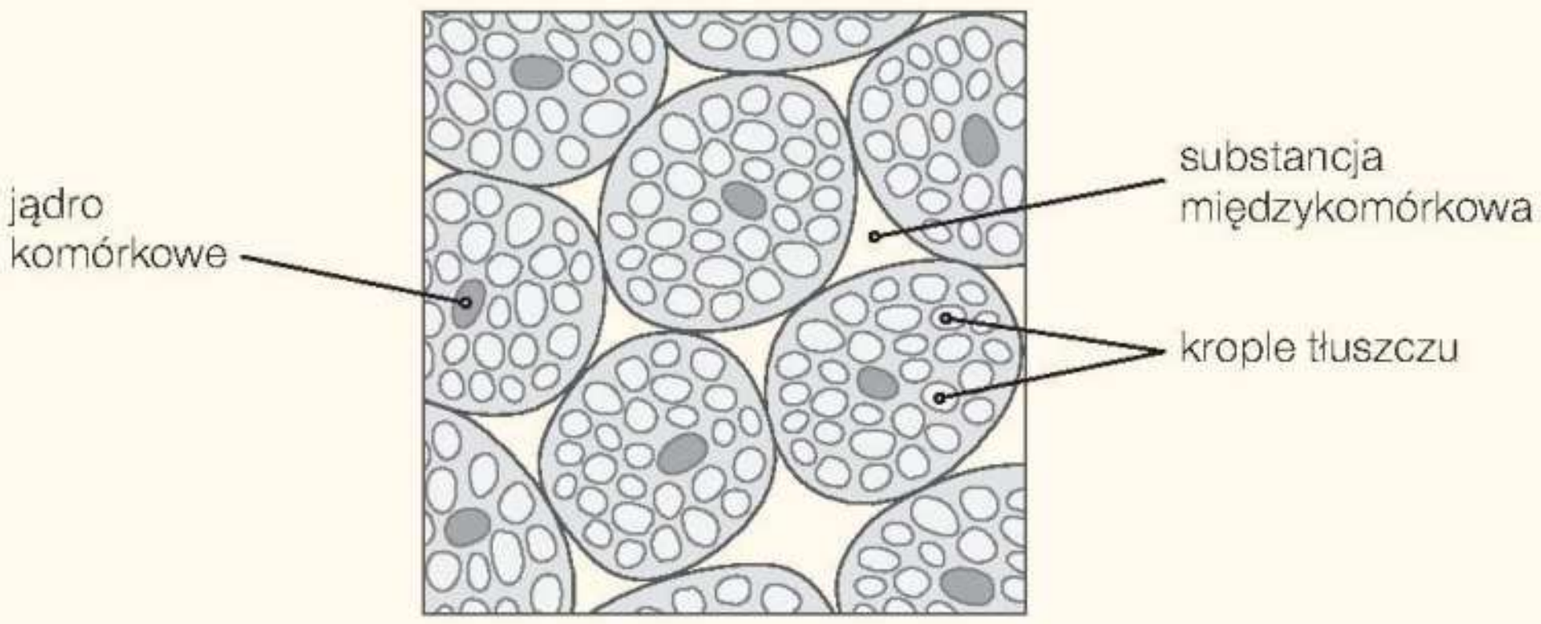
A. wirusy.

B. bakterie.

C. pierwotniaki.

D. nicienie.

7 Na schemacie przedstawiono jeden z rodzajów tkanki tłuszczowej, który występuje u człowieka.



a) Określ, czy jest to tkanka tłuszczowa brunatna czy żółta. Odpowiedź uzasadnij, uwzględniając cechę budowy komórek przedstawionych na schemacie.

b) Podaj nazwę grupy tkanek, do której należy tkanka tłuszczowa. W odpowiedzi podaj widoczną na schemacie cechę budowy tkanki, która świadczy o tej przynależności.

6. Różnorodność strunowców

6.1. Charakterystyka strunowców
6.2. Cechy charakterystyczne kręgowców
6.3. Ryby – żuchwowce pierwotnie wodne
6.4. Płazy – kręgowce dwuśrodowiskowe
6.5. Gady – pierwsze owodniowce
6.6. Ptaki – latające zwierzęta pokryte piórami
6.7. Ssaki – kręgowce wszechstronne i ekspansywne

Fot. Tukan – ptak występujący w Ameryce Środkowej i dużej części Ameryki Południowej.

6.1. Charakterystyka strunowców

Zwróć uwagę na:
- pokrewieństwo między poszczególnymi grupami strunowców,
- cechy charakterystyczne strunowców,
- cechy różniące bezczaszkowce i kręgowce,
- cechy lancetników jako przedstawicieli strunowców.

Strunowce (Chordata) to zwierzęta, które w trakcie rozwoju wykształcają łącznotkankową **strunę grzbietową**, pełniącą funkcję szkieletu wewnętrznego. U większości gatunków występuje ona tylko w okresie rozwoju zarodkowego, a następnie zostaje zastąpiona przez szkielet chrzęstny lub kostny. U niektórych przedstawicieli struna grzbietowa zachowuje się również na etapie larwalnym (np. żachwy) lub przez całe życie (np. lancetniki). Strunowce są organizmami o dwubocznej symetrii ciała. Należą do zwierząt **trójwarstwowych** i **wtóroustych.** Zalicza się je też do **wtórnojamowców**, ponieważ mają wtórną jamę ciała (celomę).

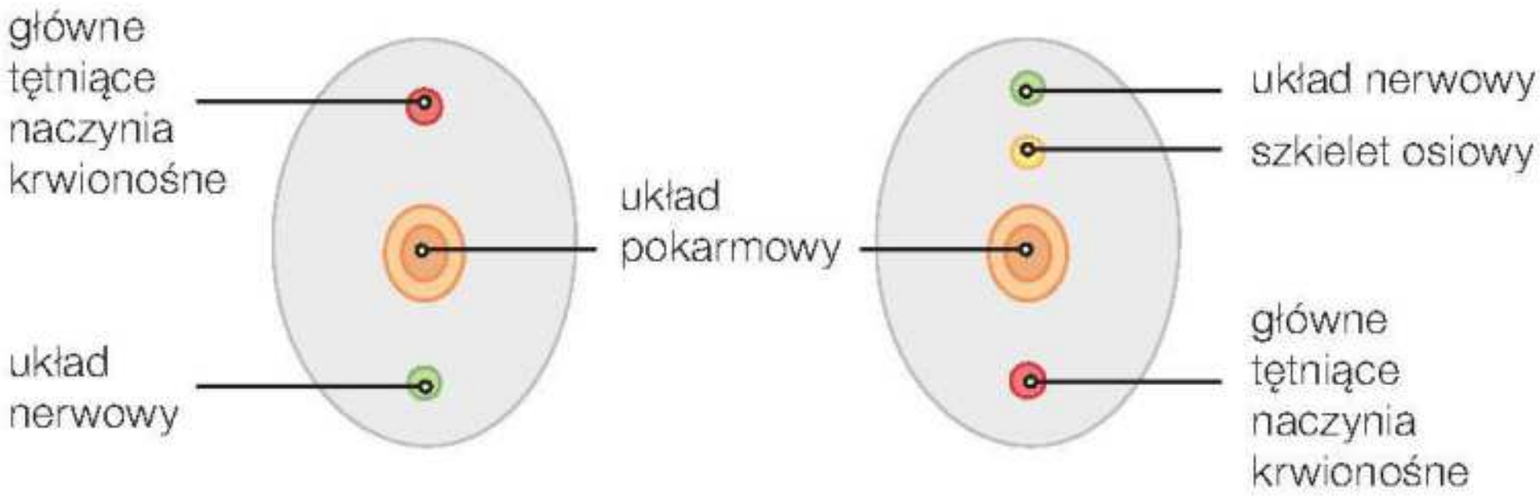
Cechy wspólne strunowców

Wszystkie strunowce charakteryzują się wspólnymi cechami pojawiającymi się w rozwoju zarodkowym. U niektórych gatunków cechy te występują również w stadium larwalnym lub utrzymują się przez całe życie. Są to:

- występowanie szkieletu osiowego w postaci **struny grzbietowej**, czyli elastycznego pręta zbudowanego z ciasno upakowanych komórek tkanki łącznej; u kręgowców struna grzbietowa zostaje zastąpiona trzonami kręgów,
- występowanie **gardzieli** – wspólnego odcinka układów pokarmowego i oddechowego, w którego ścianach znajdują się szczeliny skrzelowe,
- charakterystyczny układ narządów osiowych: nad szkieletem osiowym znajduje się cewka nerwowa, natomiast pod szkieletem osiowym – przewód pokarmowy i główne tętniące naczynia krwionośne;
- układ nerwowy w postaci **cewki nerwowej**, czyli zamkniętej z obu końców rurki, która ciągnie się w grzbietowej części ciała, nad szkieletem osiowym; u **kręgowców** cewka nerwowa przekształca się w **mózgowie** i **rdzeń kręgowy**,
- występowanie umięśnionego **ogona**, zlokalizowanego w tylnej części ciała.

Plany budowy bezkręgowców i strunowców

Plany budowy bezkręgowców i strunowców różnią się od siebie położeniem głównych narządów wewnętrznych. Różnice w położeniu narządów wynikają z odmiennego formowania się biegunów ciała i ostatecznego otworu gębowego.



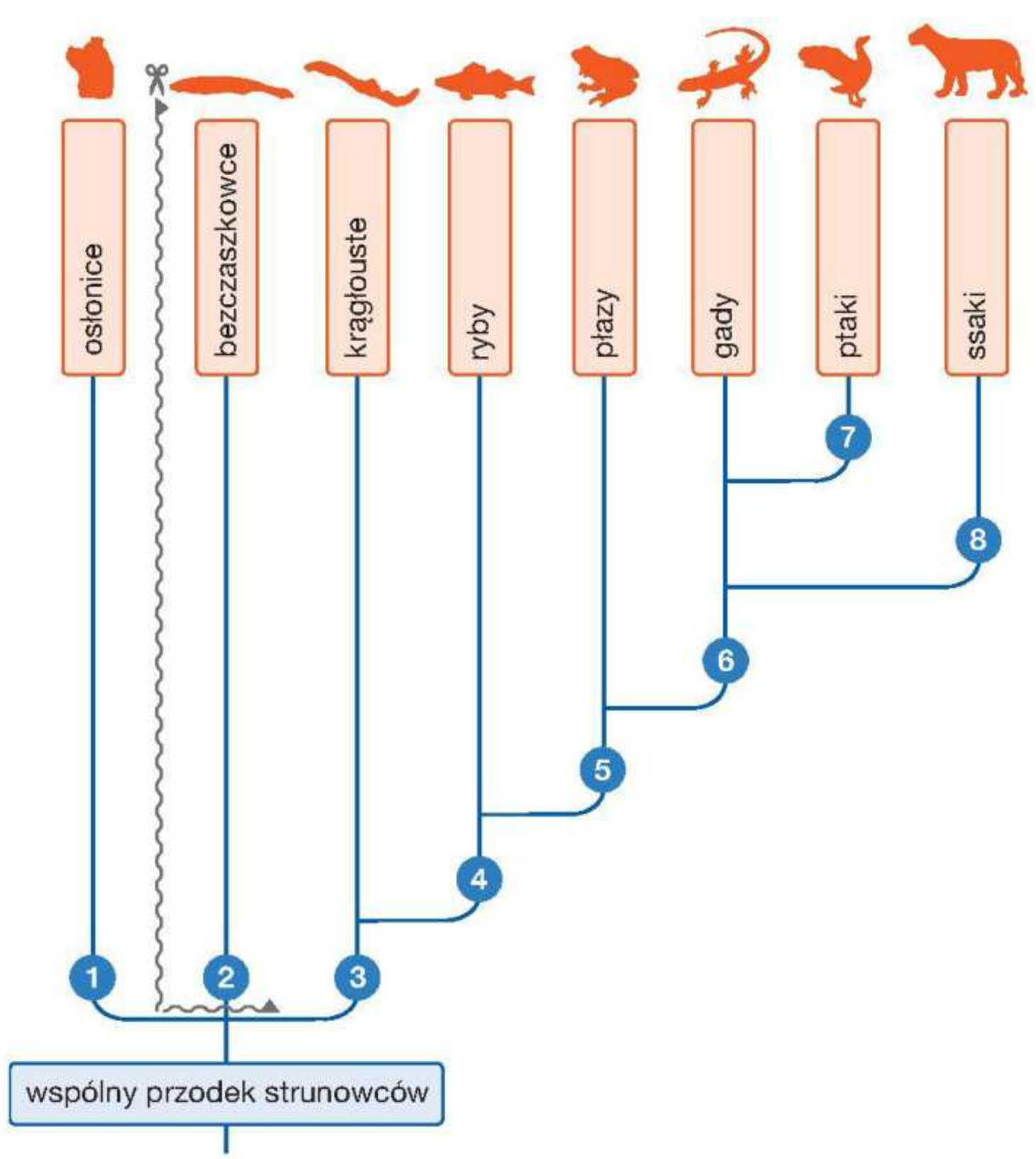
Plan budowy bezkręgowca. **Plan budowy strunowca.**

Drzewo rodowe strunowców

W klasyfikacji strunowców bierze się pod uwagę ogólny plan ich budowy, m.in. stopień rozwoju szkieletu wewnętrznego. W związku z tym wyróżnia się trzy podtypy strunowców: osłonice, bezczaszkowce oraz kręgowce. Ewolucyjny rozwój strunowców odzwierciedla w przybliżeniu drzewo rodowe.

1. Uproszczenie budowy ciała, wykształcenie osłony – tuniki.
2. Zachowanie struny grzbietowej przez całe życie.
3. Zastąpienie struny grzbietowej kręgosłupem.
4. Wykształcenie szczęk.
5. Wykształcenie palczastych kończyn i dwóch krwiobiegów.
6. Powstanie błon płodowych.
7. Stałocieplność i wytwarzanie piór.
8. Stałocieplność, wykształcenie włosów, gruczołów mlekowych oraz odruchu ssania.

U większości kręgowców szkielet osiowy w postaci struny grzbietowej występuje tylko podczas wczesnych etapów rozwoju zarodkowego. W dalszych etapach zostaje on zastąpiony trzonami kręgów, z których wyrastają łuki nerwowe tworzące kanał kręgowy dla rdzenia kręgowego.



Lancetniki – przykład strunowców

Bezczaszkowce (Acrania) to zwierzęta, które przez całe życie zachowują wszystkie typowe cechy strunowców. Charakteryzują się one ponadto brakiem dobrze wyodrębnionej głowy i czaszki. Przypuszcza się, że podobną do nich budowę miały pierwsze, prymitywne strunowce. Spośród ok. 50 gatunków bezczaszkowców większość stanowią **lancetniki**, do których należy m.in. szparoskrzelec lancetowaty (*Branchiostoma lanceolatum*). Lancetniki mają niewielkie rozmiary – długość ich ciała nie przekracza zwykle 8 cm. Żyją w wodach słonych tropikalnej i umiarkowanej strefy klimatycznej, w warstwie przydennej. Zazwyczaj zagrzebują się w piasku w pobliżu brzegów, wystawiając na zewnątrz przedni odcinek ciała.

Pokrycie ciała lancetników

Ciało lancetników jest pokryte skórą, zbudowaną z jednowarstwowego nabłonka, pod którym znajduje się cienka warstwa tkanki łącznej.

Przez skórę przeświecają mięśnie zbudowane z segmentów, tzw. **miomerów**, mających kształt litery V, zwróconej wierzchołkiem do przodu ciała. Poszczególne miomery są oddzielone przegrodami łącznotkankowymi – **miosep-tami**. Miomery prawej i lewej strony ciała są przesunięte względem siebie, co zwiększa sprawność poruszania się tych zwierząt. Wykonywanie ruchów umożliwiają naprzemienne skurcze mięśni prawej i lewej strony ciała.

Szkielet lancetników

Szkielet lancetników tworzy **struna grzbietowa** ciągnąca się wzdłuż całego ciała. Budują ją spłaszczone komórki ułożone ściśle jedna za drugą, podobnie jak monety w rulonie. Strunę grzbietową i cewkę nerwową otacza warstwa tkanki łącznej, która wnika między segmenty mięśniowe, tworząc miosepty. Sztywna struna grzbietowa sprawia, że ciało zachowuje stałą długość nawet podczas skurczów mięśni.

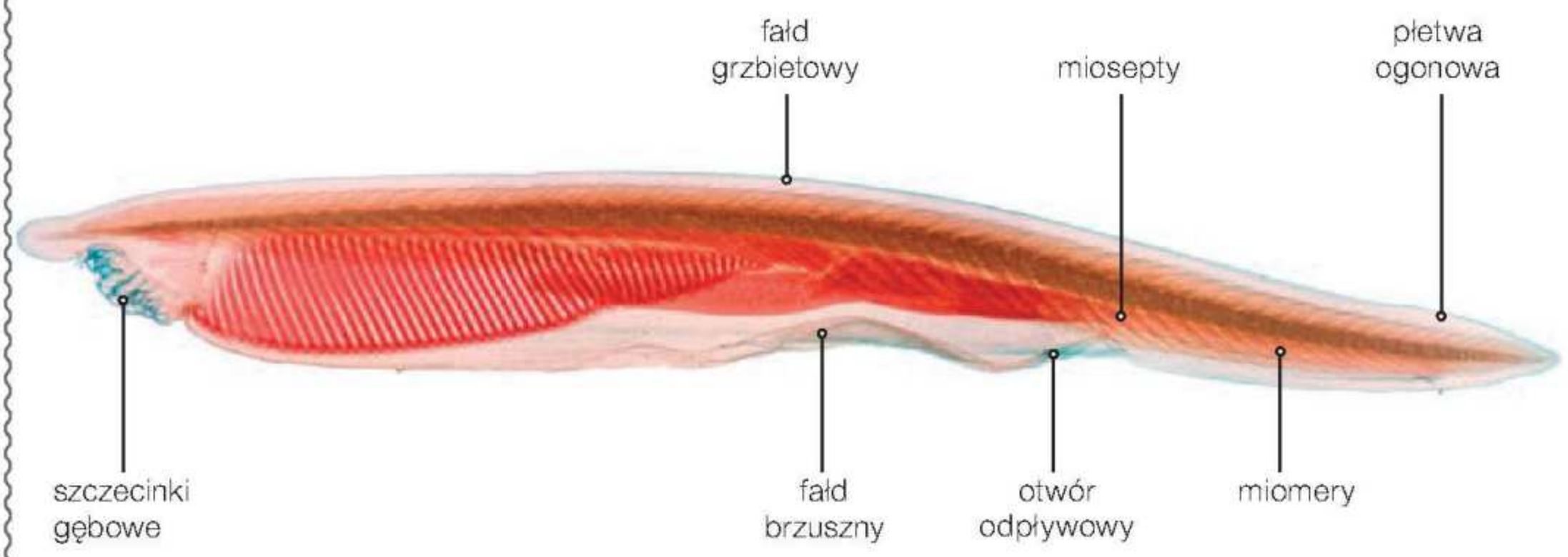
Układ pokarmowy lancetników

Lancetniki są **filtratorami**. Odżywiają się zawiesiną organiczną nagarnianą do otworu gębowego przez otaczające go **szczecinki gębowe**. Woda i cząstki pokarmowe trafiają do **jamy gębowej**, a następnie do **gardzieli**, która stanowi niemal połowę przewodu pokarmowego. Ściana gardzieli jest przebita licznymi **szczelinami skrzelowymi** (ok. 180 par), przez które woda przedostaje się do jamy okołoskrzelowej, a z niej na zewnątrz ciała przez otwór odpływowy. Wzdłuż gardzieli, po jej brzusznej stronie, biegnie podłużna rynienka (endostyl). Na jej powierzchni znajdują się gruczoły wydzielające śluz oraz komórki zaopatrzone w rzęski. Śluz zlepia cząstki pokarmu, a ruch rzęsek przesuwa je do krótkiego **przełyku**. Stamtąd pokarm trafia do jelita, którego ślepa część – **uchyłek wątrobowy** – wytwarza enzymy trawienne. Jelito kończy się **otworem odbytowym** leżącym przy końcu ciała, po lewej stronie płetwy ogonowej.

Układ nerwowy lancetników

Układ nerwowy lancetników składa się z **cewki nerwowej** oraz odchodzących od niej nerwów. W przedniej części ciała cewka nerwowa rozszerza się i tworzy pęcherzyk mózgowy stanowiący zaczątek mózgu.

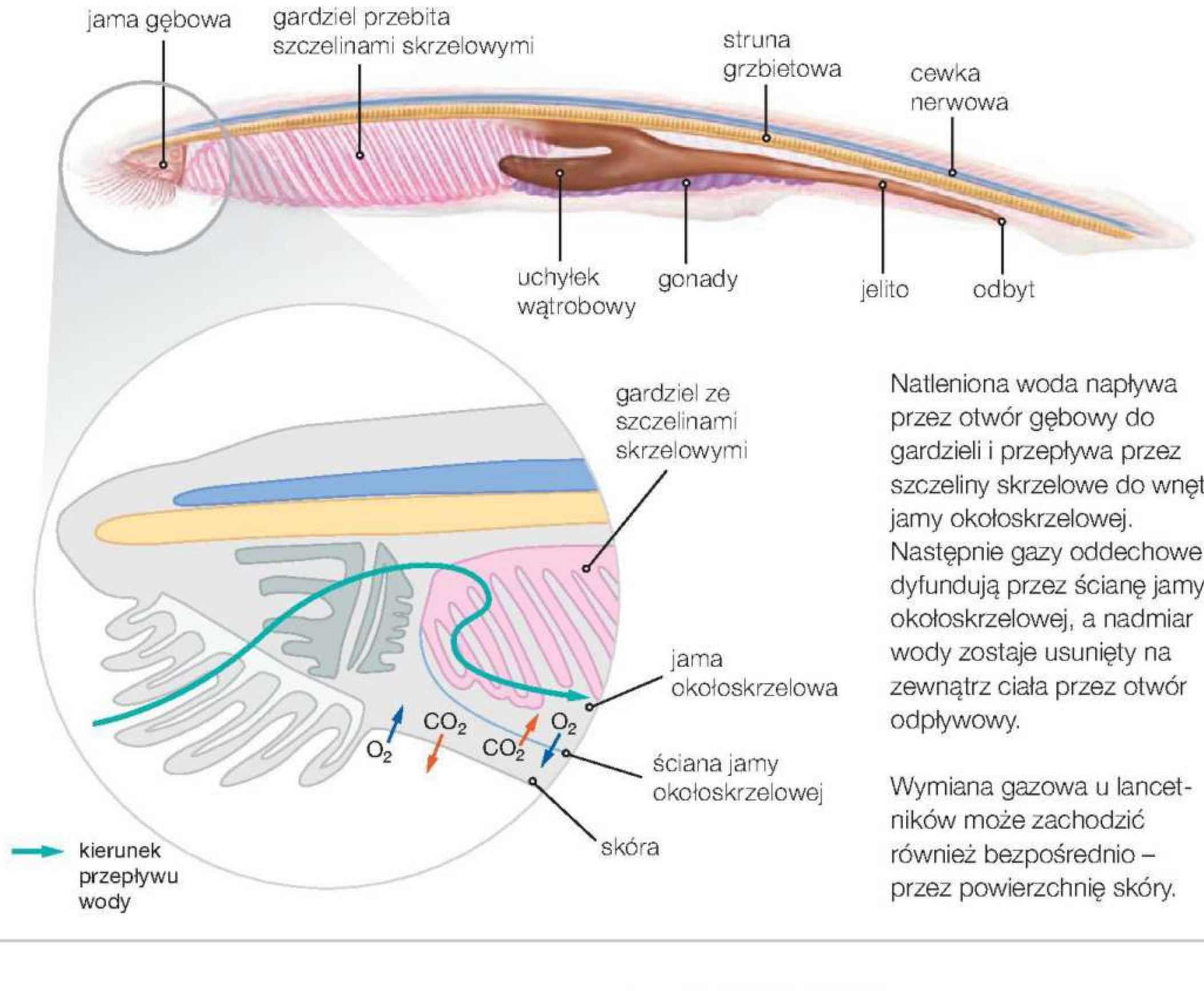
Narządy zmysłów lancetników są słabo rozwinięte. Należą do nich skupienia komórek światłoczułych, rozmieszczone w kanale cewki nerwowej i w pęcherzyku mózgowym. Światło dociera do nich przez cienką powłokę ciała. Z kolei komórki zmysłowe reagujące na dotyk znajdują się w skórze. Są one zlokalizowane przede wszystkim na szczecinkach gębowych otaczających otwór gębowy.



Szparoskrzelec lancetowaty nie ma wyodrębnionego odcinka głowowego. Jego ciało jest wydłużone, bocznie spłaszczone i ostro zakończone. Wzdłuż grzbietu ciągnie się pojedynczy niski fałd skórny, który przechodzi na ogon, tworząc lancetowatą płetwę ogonową. Po brzusznej stronie ciała występują dwa takie fałdy.

Budowa wewnętrzna lancetników i przebieg wymiany gazowej

Przez wiele lat przypuszczano, że narządem wymiany gazowej lancetników jest bogato unaczyniona gardziel poprzebijana szczelinami skrzelowymi. Według najnowszych badań narządami wymiany gazowej tych zwierząt są **ściana jamy okołoskrzelowej** i **skóra**. Gazy oddechowe przenikają przez nie bezpośrednio do tkanek na drodze dyfuzji, a wydajność tego procesu zwiększają niewielkie rozmiary lancetników i boczne spłaszczenie ich ciała.

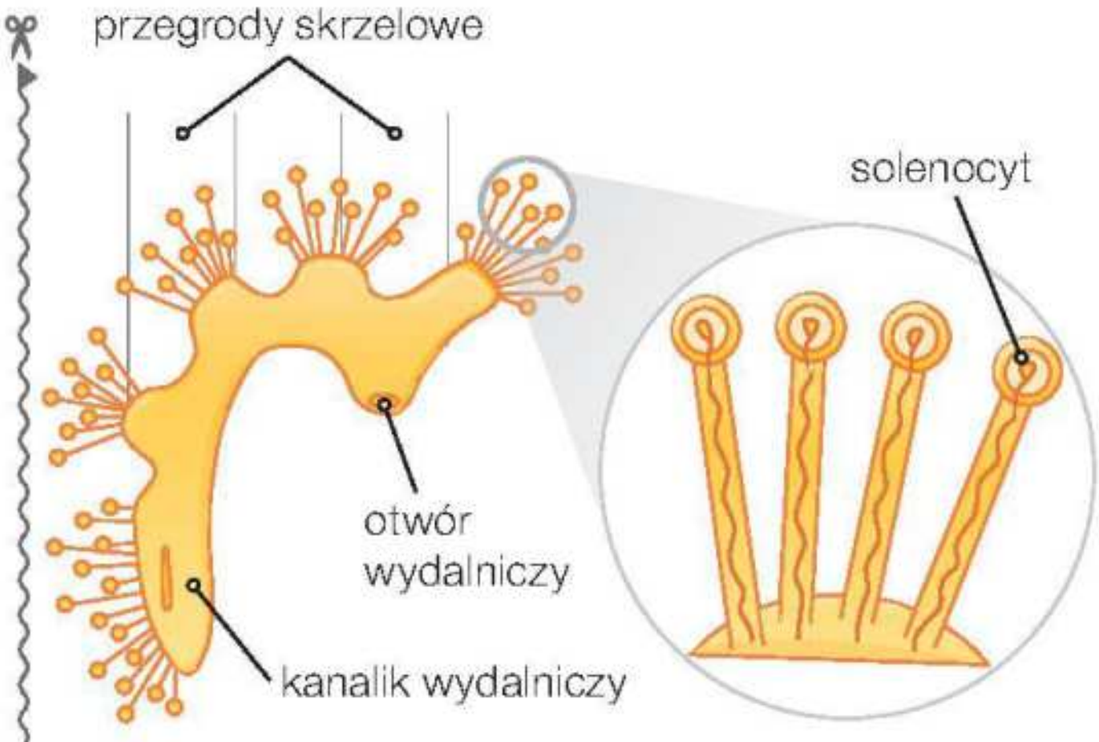


Natleniona woda napływa przez otwór gębowy do gardzieli i przepływa przez szczeliny skrzelowe do wnętrza jamy okołoskrzelowej. Następnie gazy oddechowe dyfundują przez ścianę jamy okołoskrzelowej, a nadmiar wody zostaje usunięty na zewnątrz ciała przez otwór odpływowy.

Wymiana gazowa u lancetników może zachodzić również bezpośrednio – przez powierzchnię skóry.

Układ wydalniczy lancetników

Układ wydalniczy lancetników jest zbudowany z ok. 100 par **protonefrydiów** położonych w grzbietowej części ciała, nad gardzielą. Każde protonefrydium składa się z kanalika, który z jednej strony jest ślepo zakończony, a z drugiej strony otwiera się do jamy okołoskrzelowej. Na zewnętrznej ścianie kanalika znajdują się pęczki **solenocytów** – komórek płomykowych wyposażonych w wici. Pęczki te są otoczone naczyniami krwionośnymi. Produkty



Fragment protonefrydialnego układu wydalniczego.

Układ krwionośny lancetników

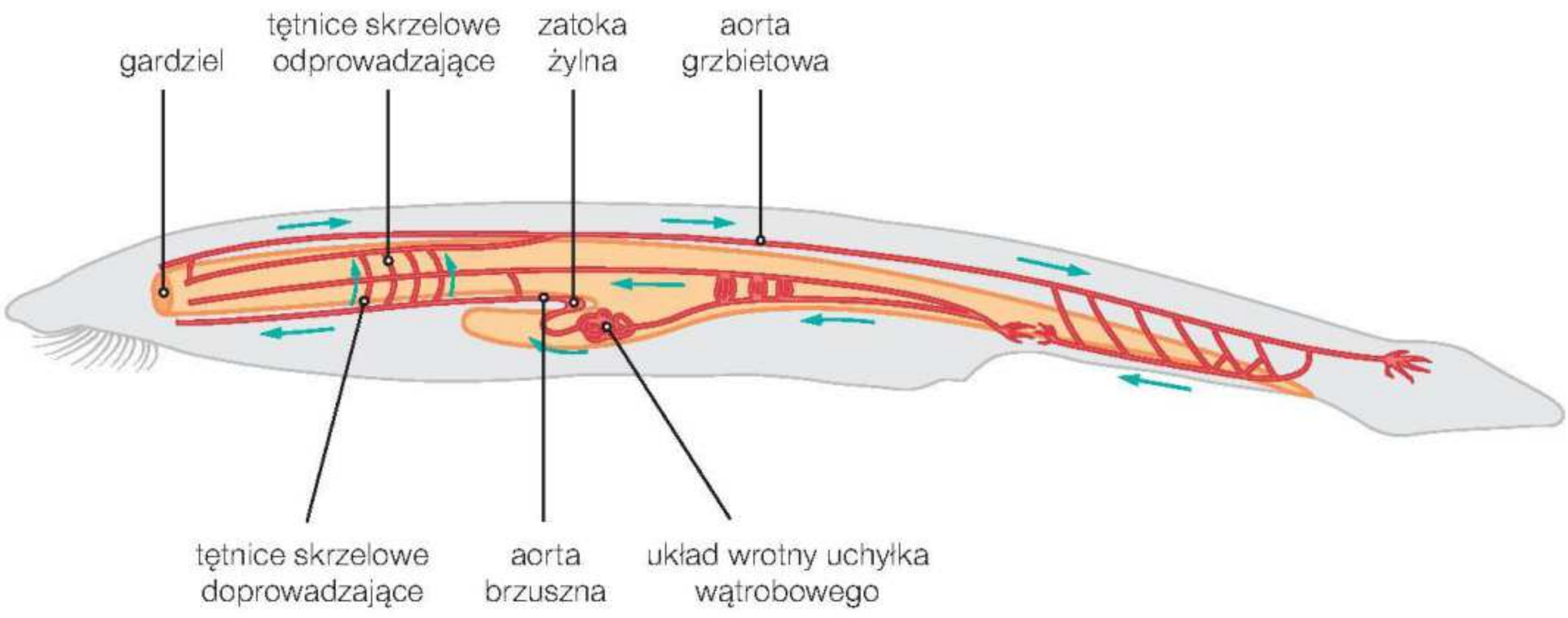
Lancetniki mają zamknięty układ krwionośny, który składa się z naczyń tętniczych i żylnych o podobnej budowie oraz z zatoki żylnej. Charakterystyczną cechą tych strunowców jest brak serca. Przepływ krwi zapewniają słabe i nieregularne skurcze naczyń krwionośnych, przede wszystkim aorty brzusznej oraz tętnic skrzelowych. W rezultacie krążenie krwi jest powolne.

Do **funkcji** układu krwionośnego lancetników należą:

- transport zbędnych lub szkodliwych produktów przemiany materii do protonefrydiów zlokalizowanych w pobliżu szczelin skrzelowych,
- transport składników odżywczych wchłoniętych w jelicie do uchyłka wątrobowego.

Najnowsze badania dowodzą, że w odróżnieniu od większości grup strunowców krew lancetników nie zawiera erytrocytów i barwników oddechowych, nie odgrywa zatem znaczącej roli w transporcie gazów oddechowych.

Krążenie krwi



Krew w naczyniach krwionośnych położonych po brzusznej stronie ciała przepływa w kierunku jamy gębowej, a w naczyniach krwionośnych znajdujących się po grzbietowej stronie ciała – w kierunku płetwy ogonowej.

przemiany materii (głównie amoniak) przenikają z krwi w pobliże solenocytów, skąd ruch wici przesuwa je do kanalików. Następnie są usuwane do jamy okołoskrzelowej, a stamtąd – przez otwór odpływowy – na zewnątrz ciała.

Układ rozrodczy lancetników

Lancetniki są zwierzętami **rozdzielnopłciowymi**. Nie występuje u nich dymorfizm płciowy, a gonady samic i samców morfologicznie nie różnią się od siebie. Lancetniki mają ok. 30 par gonad rozmieszczonych po bokach ciała. Po pęknięciu gonad komórki jajowe i plemniki dostają się do jamy okołoskrzelowej, a następnie do wody, gdzie następuje **zapłodnienie zewnętrzne**. Zygota rozwija się w swobodnie pływającą planktoniczną **larwę**, która po pewnym czasie przeobraża się w dorosłego osobnika. Gonady lancetników tworzą się od nowa w każdym sezonie rozrodczym.

Dowiedz się więcej

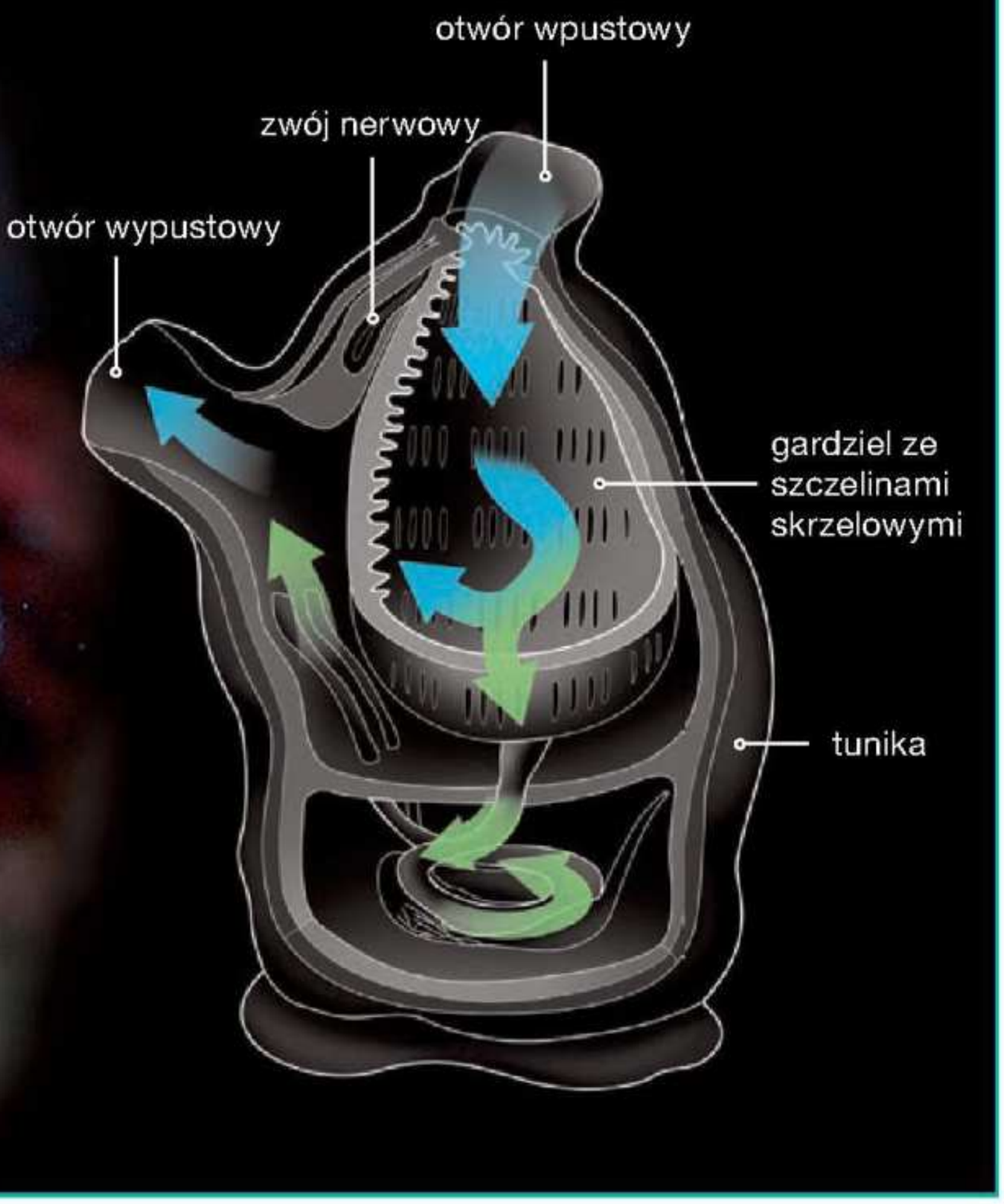
Osłonice

Do osłonic należą zwierzęta wyłącznie morskie – osiadłe lub wolno żyjące. Mają dużo prostszą budowę ciała niż lancetniki i w przeciwieństwie do innych strunowców odznaczają się otwartym układem krwionośnym oraz brakiem układu wydalniczego. Struna grzbietowa i leżąca nad nią cewka nerwowa występują u nich prawie wyłącznie w rozwoju zarodkowym. Jedynie ogonice mają strunę grzbietową przez całe życie.

Ogonica.

Żachwy

Ciało żachw ma beczułkowaty lub workowaty kształt i tak jak u innych osłonic jest otoczone zewnętrzną osłoną – tuniką – zbudowaną z wielocukru o nazwie tunicyna. W tunice znajdują się dwa otwory. Woda z pokarmem dostaje się do gardzieli przez otwór wpustowy, natomiast niestrawione resztki pożywienia są usuwane wraz z wodą przez otwór wypustowy. Gardziel pełni również funkcję narządu wymiany gazowej.



Polecenia kontrolne

1. Porównaj ogólny plan budowy strunowców z ogólnym planem budowy bezkręgowców.
2. Wymień cechy lancetników decydujące o ich przynależności do strunowców.

6.2. Cechy charakterystyczne kręgowców

Zwróć uwagę na:

- cechy charakterystyczne kręgowców,
- grupy systematyczne kręgowców,
- cechy charakterystyczne krągłoustych,
- grupy biologiczne kręgowców: bezżuchwowce i żuchwowce, skrzelodyszne i płucodyszne, bezowodniowce i owodniowce, zmiennocieplne i stałocieplne.

Kręgowce (Vertebrata) są najbardziej zaawansowanym ewolucyjnie podtypem strunowców. Cechują się niezwykle skomplikowaną budową ciała, dzięki czemu mogą osiągać znaczne rozmiary i prowadzić bardzo aktywny tryb życia. Kręgowce opanowały praktycznie wszystkie środowiska. Żyją w wodach słodkich i słonych oraz na lądach. Niektóre z nich wykształciły zdolność lotu. Kręgowcami pierwotnie wodnymi są krągłouste oraz ryby, natomiast pierwotnie lądowymi – płazy, gady, ptaki i ssaki.

Cechy kręgowców

Mimo ogromnego zróżnicowania morfologicznego kręgowce mają pewne cechy charakterystyczne:

- w ich ciele można wyróżnić trzy zasadnicze części – **głowę, tułów** i **ogon**. U niektórych gatunków między głową a tułowiem występuje dodatkowo **szyja**;
- przedni odcinek cewki nerwowej jest przekształcony w **mózgowie**, natomiast pozostała część tworzy **rdzeń kręgowy**. Mózgowie i rdzeń kręgowy budują ośrodkowy układ nerwowy, od którego odchodzą obwodowe nerwy czaszkowe i rdzeniowe;
- wykształcają chrzęstny lub kostny **szkielet wewnętrzny**, przy czym szkielet osiowy składa się głównie z kręgosłupa (stąd nazwa grupy systematycznej) oraz czaszki. **Kręgosłup** jest zbudowany z połączonych ze sobą elementów, zwanych kręgami. Pełni on funkcję podporową oraz ochrania rdzeń kręgowy. Funkcją **czaszki** jest natomiast ochrona mózgowia oraz niektórych narządów zmysłów;
- mają bardzo dobrze rozwinięty **zmysł równowagi** w postaci co najmniej dwóch kanałów półkolistych zlokalizowanych w uchu wewnętrznym – dzięki temu precyzyjnie rejestrują położenie ciała w przestrzeni;
- narządami ruchu są **kończyny** zlokalizowane na tułowiu. U kręgowców wodnych są to płetwy piersiowe i brzuszne, natomiast u kręgowców lądowych – palczaste kończyny przednie i tylne. Dzięki mięśniom znajdującym się u podstawy płetw lub przytwierdzonym do kości kończyn palczastych kręgowce wykonują bardzo sprawne ruchy;
- mają **zamknięty układ krwionośny** i dwu-, trój- lub czterojamowe **serce**. U większości grup w układzie krwionośnym występują dwa obiegi krwi.

Keratyna

Keratyna (substancja rogowa) jest białkiem wytwarzanym tylko przez kręgowce. Występuje głównie w naskórku – powierzchniowej warstwie skóry – oraz w większości jego wytworów, m.in: włosach, piórach, paznokciach, pazurach i kopytach. Dzięki dużej odporności na działanie czynników chemicznych i fizycznych keratyna pełni funkcję ochronną.

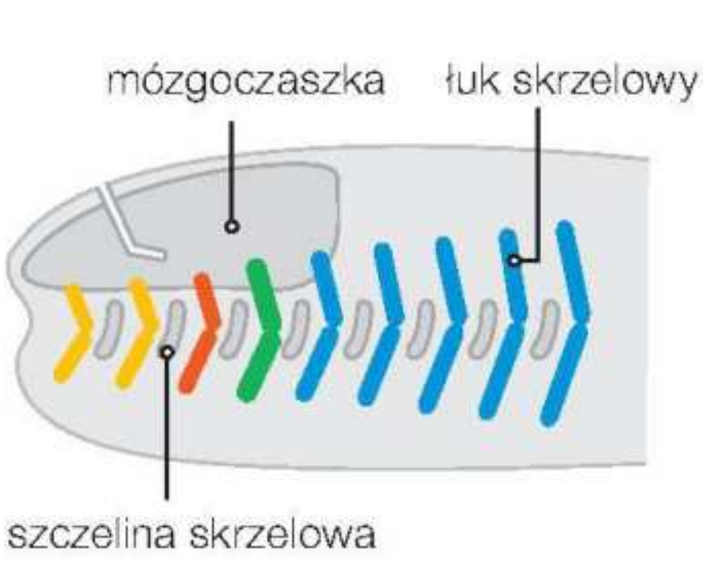
Porównanie cech głównych grup kręgowców

<table>
<tr><th>Krągłouste</th><th>Ryby</th><th>Płazy</th><th>Gady</th><th>Ptaki</th><th>Ssaki</th></tr>
<tr><td>bezżuchwowce</td><td colspan="5">żuchwowce
mają ruchomy aparat szczękowo-żuchwowy</td></tr>
<tr><td colspan="2">skrzelodyszne
oddychają skrzelami</td><td colspan="4">płucodyszne
oddychają płucami</td></tr>
<tr><td colspan="2">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 colspan="3">bezowodniowce</td><td colspan="3">owodniowce
występują u nich błony płodowe</td></tr>
<tr><td colspan="4">zmiennocieplne
nie utrzymują stałej temperatury ciała</td><td colspan="2">stałocieplne
utrzymują stałą temperaturę ciała</td></tr>
</table>

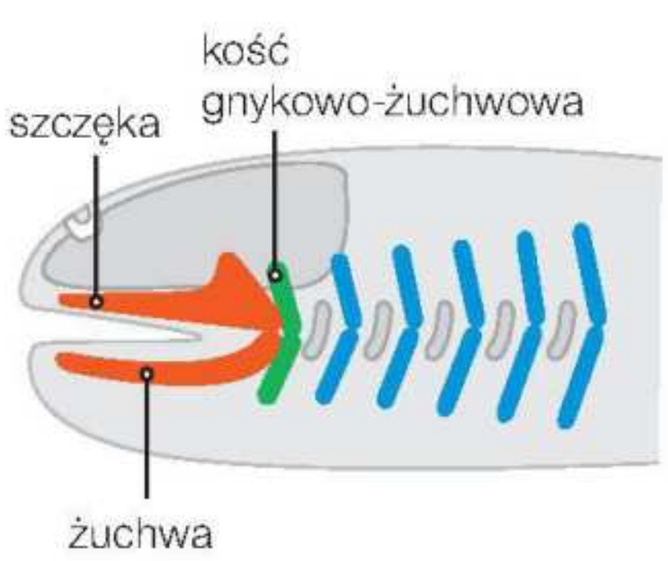
Ewolucja łuków skrzelowych u kręgowców

Najniżej uorganizowane kręgowce – krągłouste (bezżuchwowce) – mają dziewięć par łuków skrzelowych. U ryb pierwsze dwie pary łuków skrzelowych zanikły, trzecia para przekształciła się w szczękę i żuchwę, a czwarta – w kość gnykowo-żuchwową. U płazów z kości gnykowo-żuchwowej wykształciła się kosteczka słuchowa zwana strzemiączkiem, natomiast pozostałe łuki skrzelowe utworzyły szkielet języka, a także niektóre elementy krtani i tchawicy. U ssaków z fragmentów kości szczęk i żuchwy powstały dodatkowo kolejne kosteczki słuchowe – młoteczek i kowadełko.

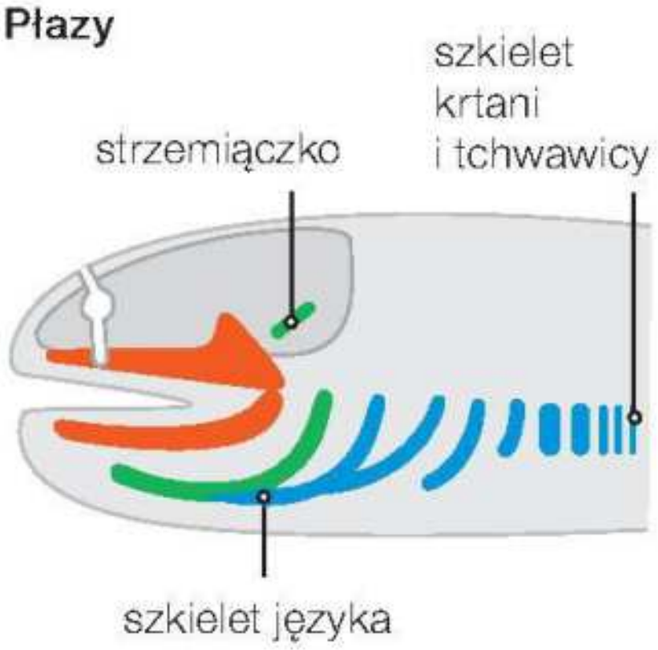
Krągłouste



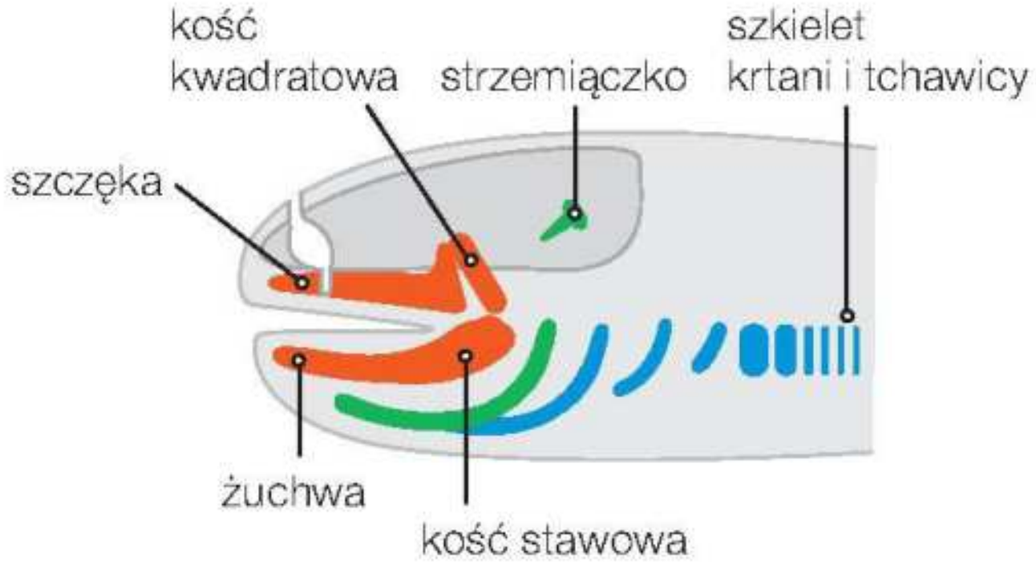
Ryby



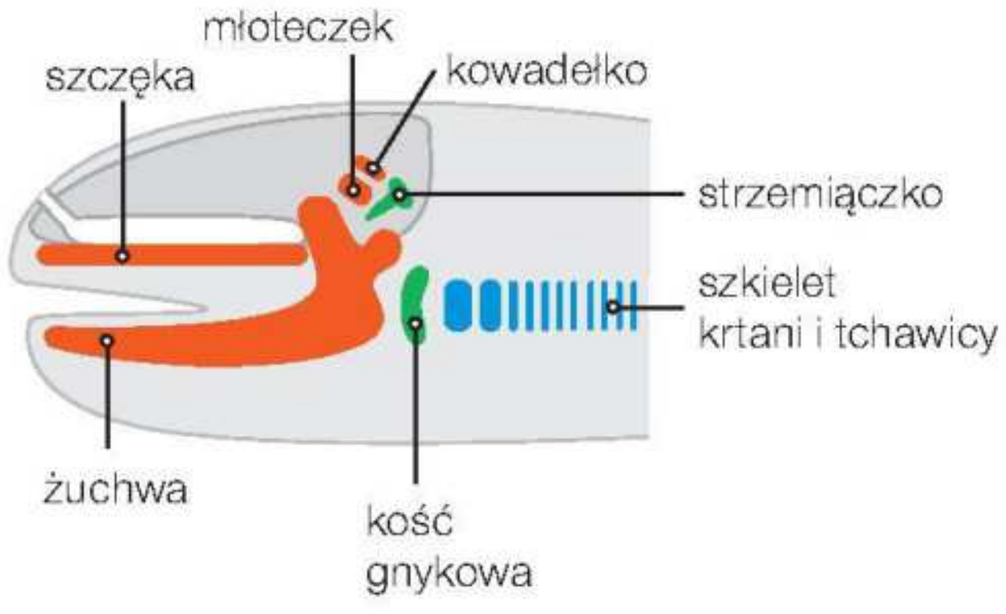
Płazy



Gady, ptaki



Ssaki



Wybrane cechy budowy kręgowców

Kręgowce mają wspólny plan budowy. Ze względu na odmienne środowisko życia największe różnice występują między kręgowcami wodnymi a kręgowcami lądowymi.

Układy: nerwowy, szkieletowy, mięśniowy

Układ nerwowy kręgowców jest bardzo dobrze rozwinięty, silnie zcentralizowany, a jego główne elementy – mózgowie i rdzeń kręgowy – są chronione szkieletem. Szkielet stanowi również miejsce przyczepu mięśni odpowiadających za ruch.

Szkielet osiowy kręgowców składa się przede wszystkim z czaszki i kręgosłupa. Czaszka chroni mózgowie oraz niektóre narządy zmysłów, natomiast kręgosłup chroni rdzeń kręgowy i stanowi miejsce przyczepu wielu mięśni.

Dzięki mięśniom poprzecznie prążkowanym przytwierdzonym do kości kręgowce wykonują bardzo sprawne ruchy.

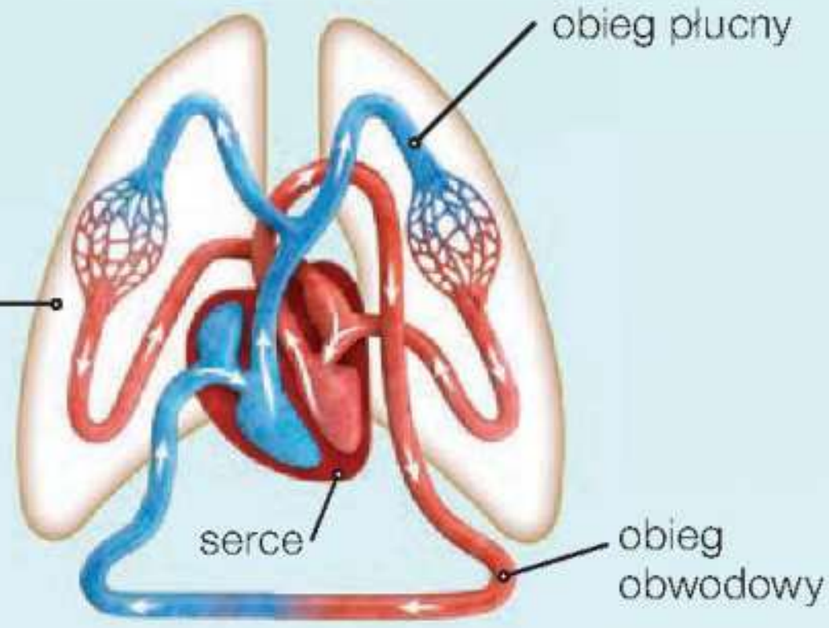
Narządami ruchu kręgowców lądowych są palczaste kończyny wsparte na kostnym szkielecie. U większości współczesnych gatunków kończyny mają pięć palców.

Narządami ruchu większości kręgowców wodnych są płetwy wsparte na kostnym lub chrzęstnym szkielecie. Płetwy piersiowe i brzuszne są narządami homologicznymi do kończyn palczastych kręgowców lądowych, dlatego określa się je mianem kończyn wiosłowych.

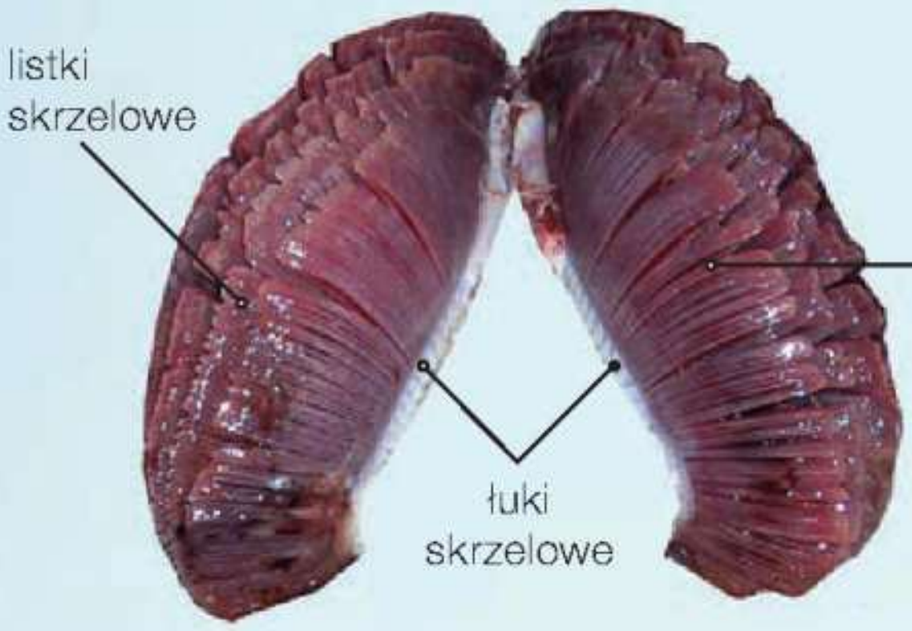
Układy: oddechowy i krwionośny

Aktywny tryb życia większości kręgowców wymaga wydajnych układów oddechowego i krwionośnego, których funkcjonowanie zabezpiecza potrzeby energetyczne organizmu.

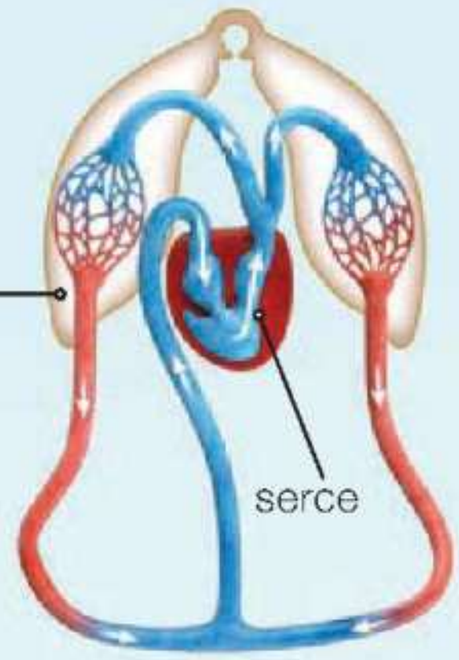
Narządami oddechowymi kręgowców pierwotnie lądowych są płuca. U niektórych grup systematycznych są one wspomagane przez skórę lub worki powietrzne.



Zamknięty układ krwionośny kręgowców pierwotnie lądowych jest zróżnicowany na dwa obiegi krwi – płucny (mały) i obwodowy (duży).



Narządami oddechowymi kręgowców pierwotnie wodnych są skrzela, zbudowane z silnie ukrwionych listków skrzelowych, osadzonych na łukach skrzelowych.

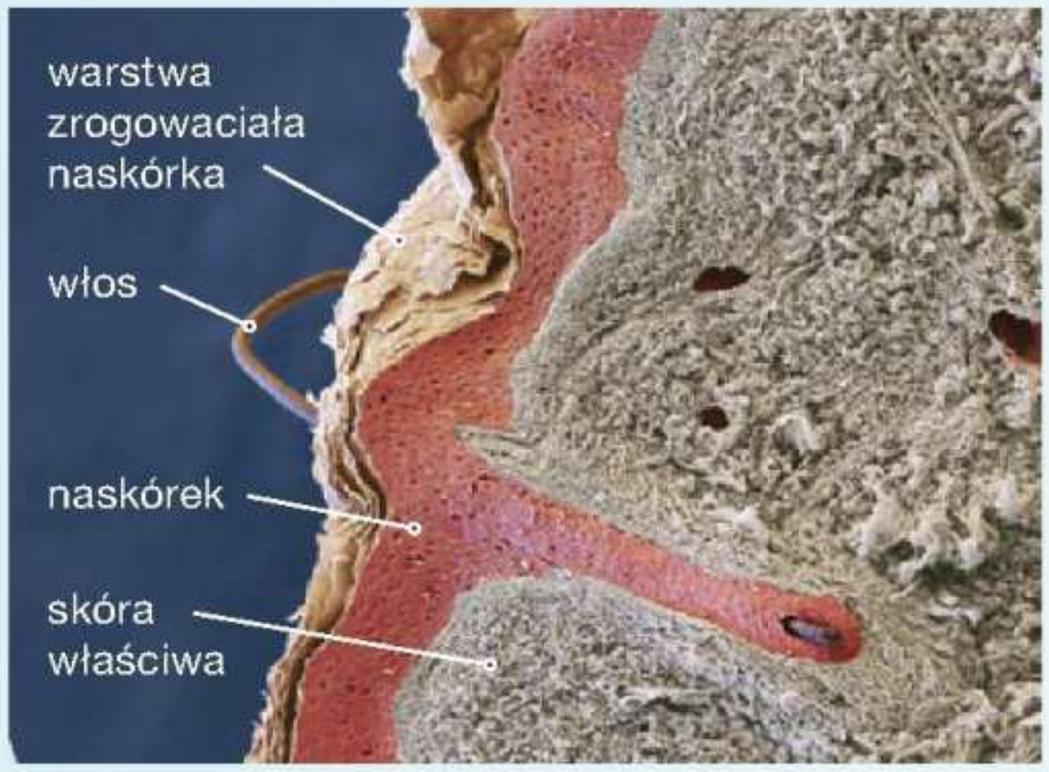


Zamknięty układ krwionośny kręgowców pierwotnie wodnych ma jeden obieg krwi.

Skóra

Skóra jest elastyczną powłoką, która pokrywa ciało kręgowców. Składa się z **naskórka** (nabłonka wielowarstwowego) i leżącej pod nim **skóry właściwej** (zbudowanej z tkanki łącznej). Skóra pełni wiele funkcji, m.in. zabezpiecza organizm przed urazami oraz wnikaniem drobnoustrojów chorobotwórczych. Zapewnia również homeostazę, czyli względną stałość warunków środowiska wewnętrznego organizmu.

Naskórek wytwarza **gruczoły** (np. śluzowe u ryb czy potowe u ssaków) oraz **struktury rogowe** zbudowane z keratyny, np. włosy.



Skóra człowieka (obraz spod SEM).

Temperatura ciała kręgowców

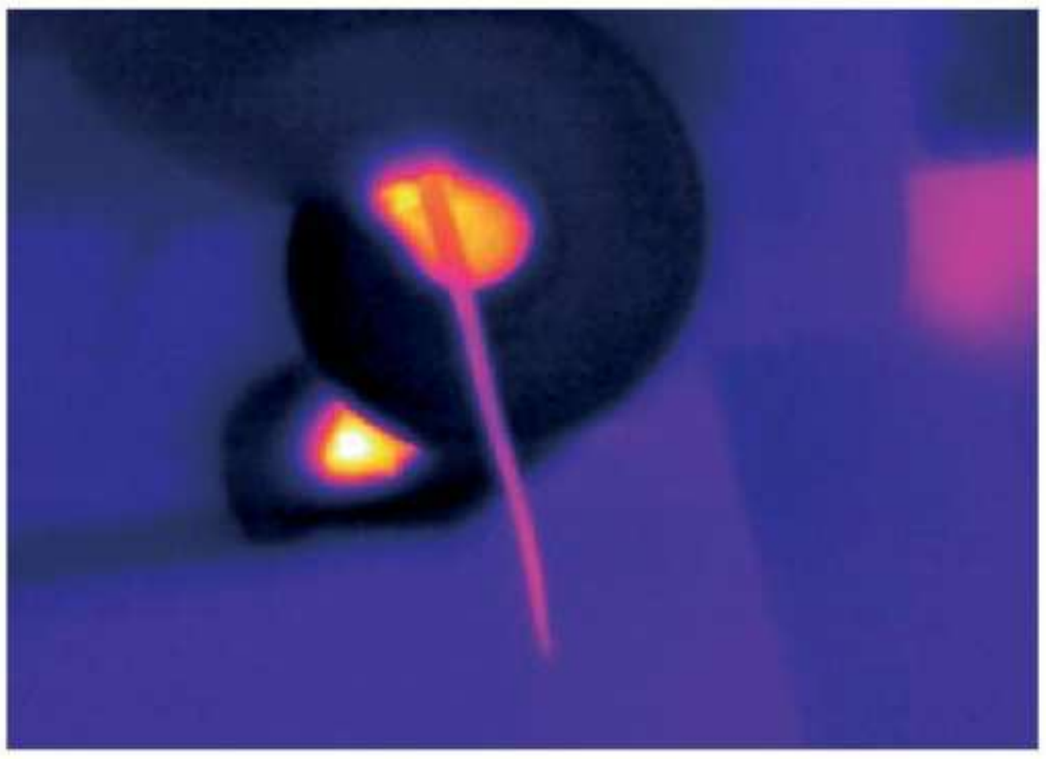
Środowisko zewnętrzne charakteryzuje się dużą zmiennością temperatur – wyróżnia się zmienność dobową, zmienność sezonową oraz zmienność uwarunkowaną położeniem geograficznym. Temperatura środowiska zewnętrznego nieustannie wpływa na organizmy, dlatego wiele z nich wykształciło mechanizmy **termoregulacji**, czyli utrzymywania optymalnej dla życia temperatury ciała. **Organizmy ektotermiczne**, zwane również ektotermami, pochłaniają ciepło niezbędne do prawidłowego funkcjonowania z otoczenia. Należą do nich zwierzęta bezkręgowe oraz niektóre kręgowce – krągłouste, ryby, płazy i gady. Z kolei **organizmy endotermiczne**, zwane również endotermami, uzyskują ciepło niezbędne do ogrzania ciała z procesów metabolicznych, głównie z oddychania tlenowego. Do tej grupy zwierząt należą ptaki i ssaki.

Ze względu na temperaturę ciała zwierzęta dzieli się na **zmiennocieplne** i **stałocieplne**.

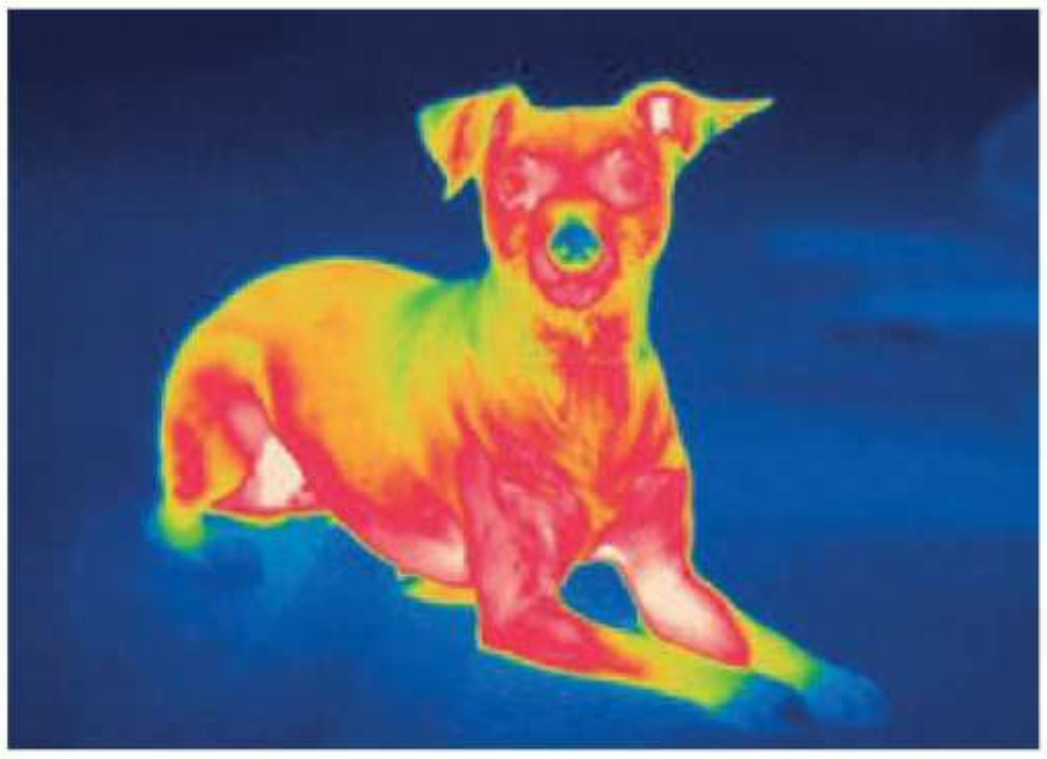
- Do zwierząt zmiennocieplnych należą bezkręgowce, krągłouste, ryby, płazy i gady. Organizmy te cechują się zmienną temperaturą ciała, uzależnioną od temperatury otoczenia. W niskiej temperaturze tempo ich metabolizmu ulega znacznemu obniżeniu, co pociąga za sobą zmniejszenie zużycia substratów energetycznych oraz zmniejszenie usuwania ciepła do otoczenia. Stan głębokiego obniżenia temperatury ciała i tempa metabolizmu w okresie zimowym nosi nazwę **hibernacji**.
- Do zwierząt stałocieplnych należą ptaki i ssaki. Cechują się one stałą temperaturą ciała, niezależną od temperatury otoczenia. Zaletą stałocieplności jest możliwość aktywnego funkcjonowania w szerokim zakresie temperatur środowiska. Odbywa się to jednak kosztem wysokiego tempa metabolizmu, a więc dużego zapotrzebowania na substraty energetyczne, czyli pokarm.
- Do zwierząt względnie stałocieplnych należą niektóre ssaki, np. świstaki, jeże i chomiki. Przez większość roku utrzymują one temperaturę ciała na stałym poziomie (ok. 38°C), jednak zimą zapadają w sen zimowy. Sen zimowy tych zwierząt jest połączony z hibernacją, czyli obniżeniem tempa metabolizmu i temperatury ciała (do ok. 4°C).

Bilans cieplny zwierząt stałocieplnych

Zachowanie stałej temperatury ciała wymaga utrzymania zrównoważonego bilansu cieplnego między ciepłem wytwarzanym w przemianach metabolicznych a ciepłem oddawanym do otoczenia. Odbywa się to dzięki mechanizmom termoregulacji, które kontrolują wytwarzanie ciepła metabolicznego oraz oddawanie ciepła z organizmu do otoczenia.



Węże, jako przedstawiciele gadów, są zwierzętami zmiennocieplnymi. Na termogramie widać różnicę temperatur między ciałem cieplejszego, schwytanego przez węża gryzonia (obszar żółto-czerwony) a chłodniejszym ciałem węża (ciemnogranatowy, spiralny kształt) i otoczeniem (obszar niebiesko-fioletowy).



Pies, jako przedstawiciel ssaków, jest zwierzęciem stałocieplnym. Na termogramie widać różnicę temperatur między cieplejszym ciałem zwierzęcia (obszar żółto-czerwony) a chłodniejszym otoczeniem (obszar niebieski).

Krągłouste – współczesne bezżuchwowce

Krągłouste (Cyclostomata) to najprymitywniejsze z obecnie żyjących kręgowców. Ich nazwa pochodzi od znajdującego się z przodu głowy okrągłego lejka przyssawkowego, na którego dnie leży otwór gębowy. Do najbardziej charakterystycznych cech krągłoustych należą: **brak żuchwy i kości szczęk, nieparzysty otwór węchowy, brak parzystych płetw oraz struna grzbietowa** jako główny element szkieletu osiowego. Współcześnie żyjące krągłouste nie przekraczają zwykle kilkudziesięciu centymetrów długości. Ich ciało jest wydłużone, na przekroju poprzecznym okrągłe lub lekko spłaszczone. Zwierzęta te zasiedlają wody słodkie i słone. Ich przedstawicielami są m.in. minogi, które pasożytują na rybach lub odżywiają się padliną.

Lejek przyssawkowy jest wyposażony w rogowe ząbki i pozwala na przytwierdzenie się do ciała ofiary, a następnie przebicie jego powłok. Działa również jak pompa ssąca, przez co umożliwia pobranie krwi ofiary. Za pomocą ząbków minóg zdrapuje fragmenty tkanek żywiciela.

Układ oddechowy minoga składa się z siedmiu par workowatych skrzeli wewnętrznych.

Polecenia kontrolne

1. Wymień cechy charakterystyczne kręgowców.
2. Opisz ewolucję łuków skrzelowych pojawiających się w rozwoju zarodkowym człowieka.
3. Wyjaśnij przyczyny zróżnicowania budowy układu oddechowego u różnych grup kręgowców.
4. Określ różnicę między zwierzętami zmiennocieplnymi a zwierzętami stałocieplnymi.
5. Wymień cechy krągłoustych świadczące o tym, że są one najniżej uorganizowanymi kręgowcami.

6.3. Ryby – żuchwowce pierwotnie wodne

Zwróć uwagę na:
- cechy charakterystyczne ryb,
- budowę i czynności życiowe ryb,
- przystosowania ryb do życia w wodzie,
- znaczenie ryb w przyrodzie i dla człowieka.

Ryby (Pisces) są kręgowcami **pierwotnie wodnymi**, zasiedlającymi zarówno wody słone, jak i słodkie. Tylko nieliczne gatunki potrafią przetrwać przez pewien czas poza środowiskiem wodnym. Ryby należą do zwierząt **zmiennocieplnych**. Wymiana gazowa odbywa się u nich za pomocą skrzeli wewnętrznych.

Ogólna budowa ciała ryb

Ryby charakteryzują się dużym zróżnicowaniem rozmiarów i kształtów. Najmniejsze mają długość zaledwie kilku milimetrów, natomiast największe – ponad 12 m. Kształt ciała ryb zależy głównie od trybu życia i warunków środowiska. Na przykład ryby zasiedlające strefę przydenną zbiorników wodnych mają inne kształty niż gatunki żyjące w otwartej toni wodnej. U większości ryb ciało jest bocznie spłaszczone i ma **kształt wrzecionowaty**. Dzięki temu podczas poruszania się łatwo pokonuje opór wody.

W ciele ryb można wyróżnić trzy części: głowę, tułów i ogon. **W części głowowej** znajdują się: oczy, parzyste otwory węchowe, otwór gębowy oraz szczeliny skrzelowe, które u większości gatunków są przykryte pokrywami (wieczkami) skrzelowymi. Ostatnia szczelina skrzelowa lub wolny brzeg pokrywy skrzelowej wyznaczają granicę między głową a tułowiem. Połączenie głowy i tułowia jest sztywne, co zapobiega urazom podczas poruszania się w wodzie – środowisku o dużej gęstości. **Na tułowiu** ryb znajdują się parzyste płetwy piersiowe i brzuszne (kończyny wiosłowe). Ponadto ciało większości ryb jest zaopatrzone w dodatkowe płetwy nieparzyste: grzbietową, odbytową i ogonową. U podstawy płetw znajdują się mięśnie, które umożliwiają wykonywanie bardzo sprawnych ruchów. Siłą napędową większości ryb są przede wszystkim ruchy silnie umięśnionego **ogona** i w mniejszym stopniu ruchy tułowia. Granicę między tułowiem a ogonem wyznacza otwór odbytowy.

Pokrycie ciała ryb

Ciało ryb jest pokryte **skórą** zbudowaną z wielowarstwowego naskórka (nabłonka) i skóry właściwej. W naskórku znajdują się liczne jednokomórkowe **gruczoły śluzowe**, których wydzielina zmniejsza tarcie podczas pływania, oraz **komórki barwnikowe** wpływające na ubarwienie ciała. Ubarwienie ciała pełni głównie funkcję ochronną i może się zmieniać pod wpływem czynników zewnętrznych (m.in. temperatury wody) oraz wewnętrznych (m.in. zmian hormonalnych). Skóra właściwa ryb jest zbudowana z tkanki łącznej. Cechuje się niezwykłą wytrzymałością mechaniczną dzięki dużej zawartości i specyficznemu ułożeniu włókien kolagenowych. U większości ryb wytworami skóry właściwej są łuski, które pełnią funkcję ochronną. Wyróżnia się kilka rodzajów łusek:

- **łuski plakoidalne** – występują u rekinów i płaszczek. Mają postać ząbków, zbudowanych z zębiny i szkliwa, wyrastających z płytki zagłębionej w skórze;
- **łuski ganoidalne** – występują rzadko, m.in. u niszczuki i jesiotra. Są rombowate, kostne, pokryte warstwą ganoiny – twardej substancji podobnej do szkliwa;
- **łuski cykloidalne** – występują m.in. u łososia i dorsza. Są owalne, płaskie, ułożone dachówkowato. Należą do łusek elastycznych, niezawierających ganoiny;
- **łuski ktenoidalne** – występują np. u okonia i sandacza. Są płaskie, zakończone grzebykiem, ułożone dachówkowato. Podobnie jak łuski cykloidalne należą do łusek elastycznych.

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) umożliwia im rozwijanie dużych prędkości na krótkim odcinku.

Ryby żyjące w pobliżu dna (np. płaszczki) mają ciało silnie grzbieto-brzusznie spłaszczone. Poruszają się za pomocą rozłożystych płetw piersiowych.

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. Ich narządami ruchu są płetwy: grzbietowa i odbytowa.

Różnorodność ryb

Wszystkie współcześnie żyjące gatunki ryb dzieli się na trzy gromady: chrzęstnoszkieletowe, promieniopłetwe oraz mięśniopłetwe.

Ryby chrzęstnoszkieletowe

Do chrzęstnoszkieletowych (Chondrichthyes) należą spodouste oraz zrosłogłowe. Ich cechami charakterystycznymi są:

- szkielet zbudowany wyłącznie z chrząstki,
- głowa zwykle wydłużona w rostrum,
- płetwy brzuszne przekształcone w narząd kopulacyjny,
- szczeliny skrzelowe bez pokryw skrzelowych,
- pierwsza szczelina skrzelowa przekształcona w tryskawkę,
- łuski plakoidalne,
- brak pęcherza pławnego – narządu regulującego głębokość zanurzenia.

Łuski plakoidalne spodoustych.

Rekin.

Spodouste – rekiny i 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. Natomiast płaszczki – zwierzęta przydenne – są silnie grzbieto-brzusznie spłaszczone.

Płaszczka.

Do zrosłogłowych należą przede wszystkim chimerokształtne, m.in. chimera zwyczajna (*Chimaera monstrosa*). Ryba ta cechuje się silnie wydłużonym ciałem, biczowatym ogonem oraz dwiema płetwami grzbietowymi.

Ryby promieniopłetwe

Do promieniopłetwych (Actinopterygii) 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,
- łuski zwykle cykloidalne lub ktenoidalne,
- u większości gatunków występuje pęcherz pławny.

Okoń.

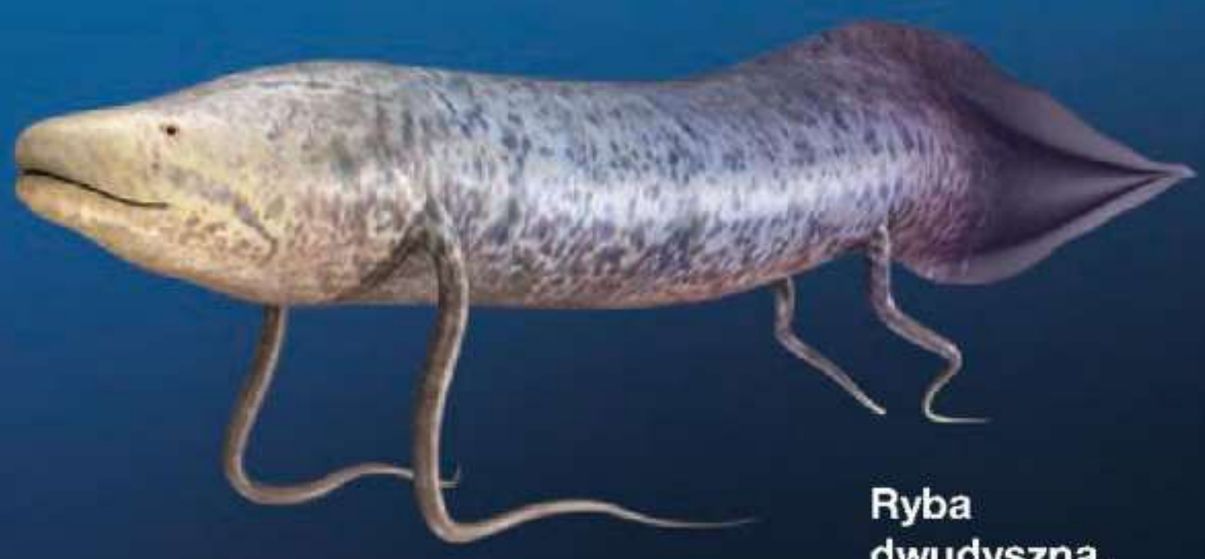
Łuski ktenoidalne okonia.

Łuski cykloidalne pstrąga.

Pstrąg.

Ryby mięśniopłetwe

Do mięśniopłetwych (Sarcopterygii) 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.

Układ szkieletowy ryb

Szkielet ryb składa się ze szkieletu osiowego, czyli z czaszki, kręgosłupa i żeber, szkieletu obręczy barkowej i miednicowej, a także szkieletu płetw.

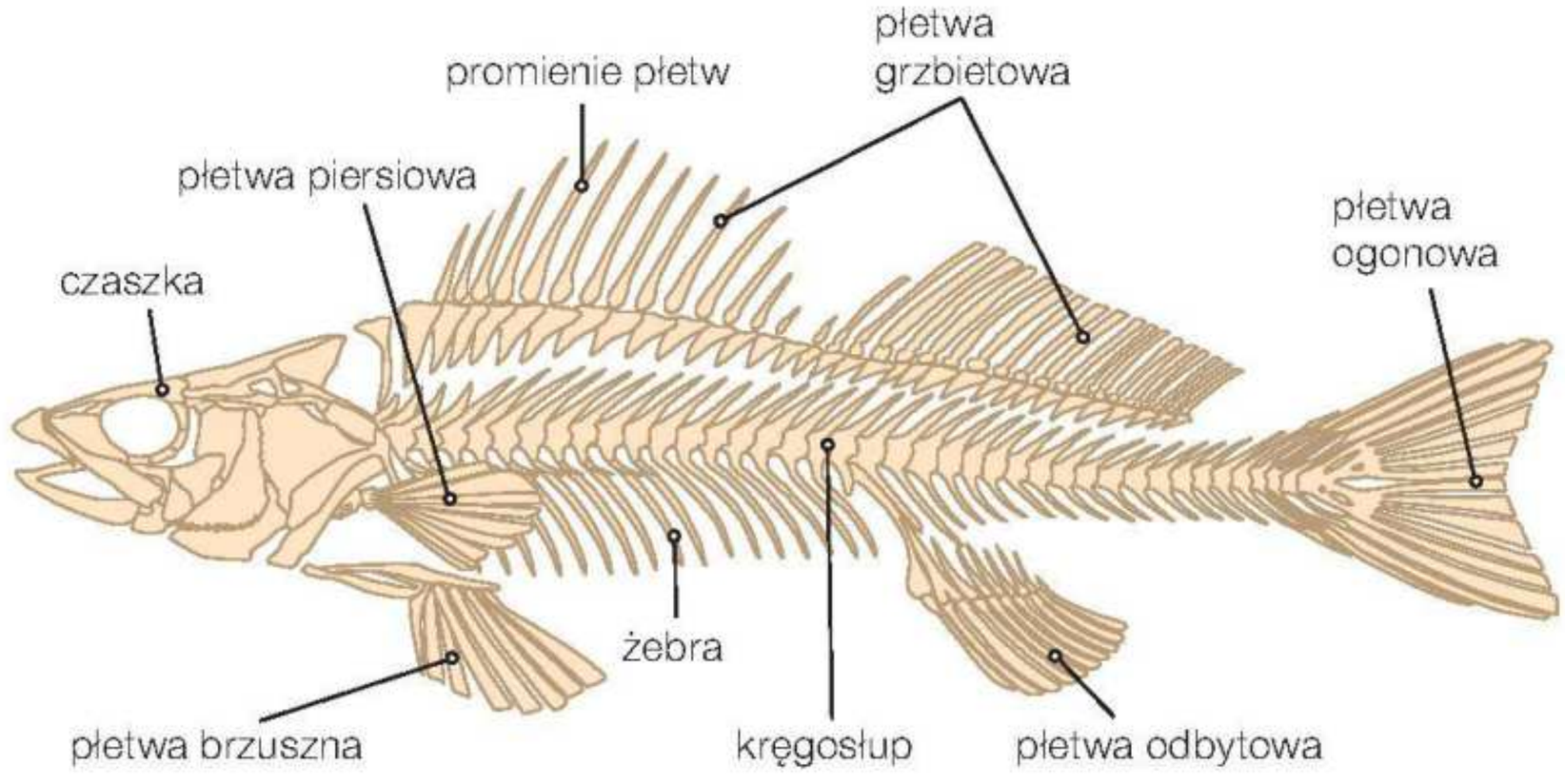
Czaszka jest sztywno połączona z kręgosłupem, co ułatwia pokonywanie oporu wody i zabezpiecza przed urazami ciała. W obrębie **trzewioczaszki** znajdują się szczęki oraz żuchwa, powstałe w wyniku przekształceń trzeciej pary łuków skrzelowych. Z kolei czwarta para łuków skrzelowych – w postaci kości gnykowo-żuchwowej – tworzy zawieszenie aparatu szczękowo-żuchwowego i łączy go z **mózgoczaszką**. Pozostałe pięć par łuków skrzelowych stanowi podporę dla skrzeli. Skrzela i łuki skrzelowe są często chronione od zewnątrz kostnymi pokrywami skrzelowymi.

Kręgosłup, w zależności od gatunku, składa się z różnej liczby kręgów (od 14 do 400). Powstaje on **wokół struny grzbietowej, która ulega redukcji** – pewne jej partie zachowują się tylko między kręgami i wewnątrz ich trzonów. W obrębie kręgosłupa wyróżnia się dwa odcinki: tułowiowy, od którego odchodzą **żebra**, oraz ogonowy – pozbawiony żeber. W mięśniach wielu gatunków występują również **ości**, czyli drobne, skostniałe ścięgna. Zwiększają one sztywność ciała, co ułatwia pokonywanie oporu wody.

Szkielet płetw ryb promieniopłetwych składa się z dużej liczby promieni, na których są rozpięte fałdy skóry. Płetwy piersiowe są osadzone na **obręczy barkowej**, natomiast płetwy brzuszne – na **obręczy miednicowej**. Obręcz barkowa łączy się ze szkieletem osiowym, a miednicowa tkwi w mięśniach tułowia. Płetwy ulegają niekiedy znacznym przekształceniom w celu lepszego przystosowania zwierzęcia do warunków środowiska.

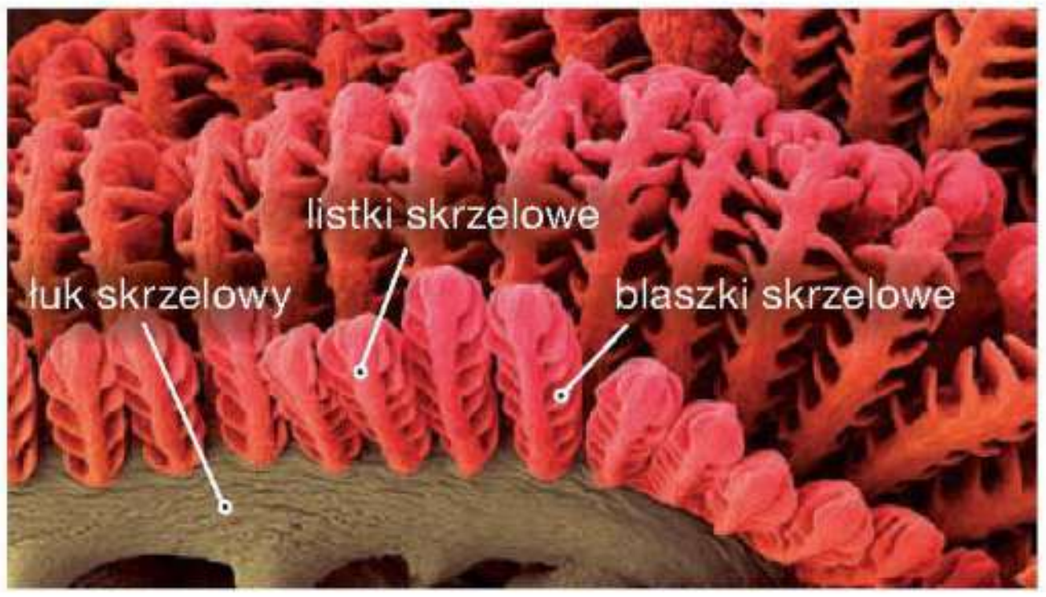
Układ pokarmowy ryb

Większość ryb to drapieżniki (np. szczupak) lub wszystkożercy (np. sardynka). Tylko nieliczne gatunki żywią się wyłącznie roślinami (np. amur biały). W **jamie gębowej** ryb nie ma gruczołów ślinowych, ponieważ pokarm dostaje się do jej wnętrza wraz z wodą i nie wymaga dodatkowego nawilżenia. Do chwytania i przytrzymywania pokarmu służą zazwyczaj zęby osadzone na kościach szczękowych i żuchwie, a u niektórych również na podniebieniu (np. szczupak) lub ostatnim łuku skrzelowym (tzw. zęby gardłowe, obecne m.in. u ryb karpiokształtnych). W ciągu życia zęby zużywają się, a w ich miejscu powstają nowe. Za jamą gębową znajduje się odcinek skrzelowy przewodu pokarmowego, a dalej – krótki **przełyk** i **żołądek** przechodzący w **jelito cienkie**, do którego uchodzą przewody wątroby i trzustki. Kolejnym elementem układu pokarmowego jest **jelito grube** zakończone otworem odbytowym. U ryb chrzęstoszkieletowych występuje **kloaka**.



Budowa szkieletu ryby promieniopłetwej.

Niektóre gatunki ryb należą do filtratorów. Podczas pływania otwierają szeroko otwór gębowy i filtrują wodę. Cząstki pokarmowe osiadają wtedy na wyrostkach filtracyjnych skrzeli, a następnie trafiają do żołądka. W ten sposób odżywiają się np. sardynki oraz dorosłe makrele.



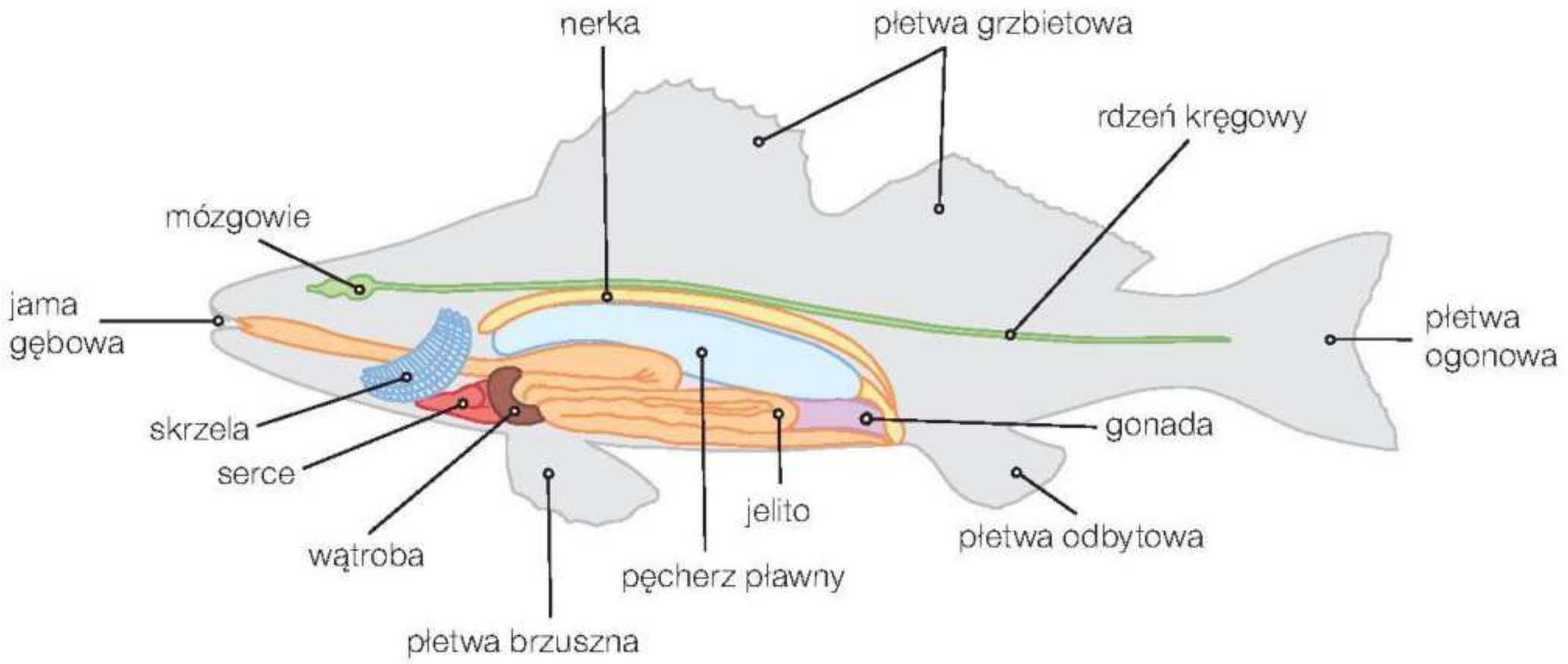
Skrzela (obraz spod SEM) są zbudowane z łuków skrzelowych i osadzonych na nich listków skrzelowych. Poprzeczne fałdy listków skrzelowych nazywa się blaszkami skrzelowymi.

Układ oddechowy ryb

U ryb wymiana gazowa między wnętrzem organizmu a środowiskiem zewnętrznym odbywa się za pomocą **skrzeli** zlokalizowanych 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 dostająca się z gardzieli do komór skrzelowych obmywa skrzela i wydostaje się na zewnątrz szczelinami skrzelowymi. U ryb chrzęstnoszkieletowych mają one odrębne ujścia. Natomiast u ryb o kostnym szkielecie są okryte pokrywami skrzelowymi.

Niektóre dorosłe ryby chrzęstnoszkieletowe, zwłaszcza przydenne (np. płaszczki), mają drożną pierwszą szczelinę skrzelową nazywaną **tryskawką**. Znajduje się ona tuż za okiem, po grzbietowej stronie ciała. Przez tryskawkę do gardzieli dostaje się czysta woda, pozbawiona zanieczyszczeń pochodzących z dna.

Ryby dwudyszne w toku ewolucji wykształciły **płuca** i dzięki temu stały się zdolne do oddychania powietrzem atmosferycznym. Płuca rozwijają się jako uchyłki jelita i są z nim połączone przewodem powietrznym. W wyniku rozwoju płuc oddychanie skrzelowe jest u większości dwudysznych silnie ograniczone. Płuca ryb dwudysznych dały początek płucom kręgowców lądowych. Pochodzi od nich również pęcherz pławny ryb promieniopłetwych, który pełni funkcję narządu hydrostatycznego.



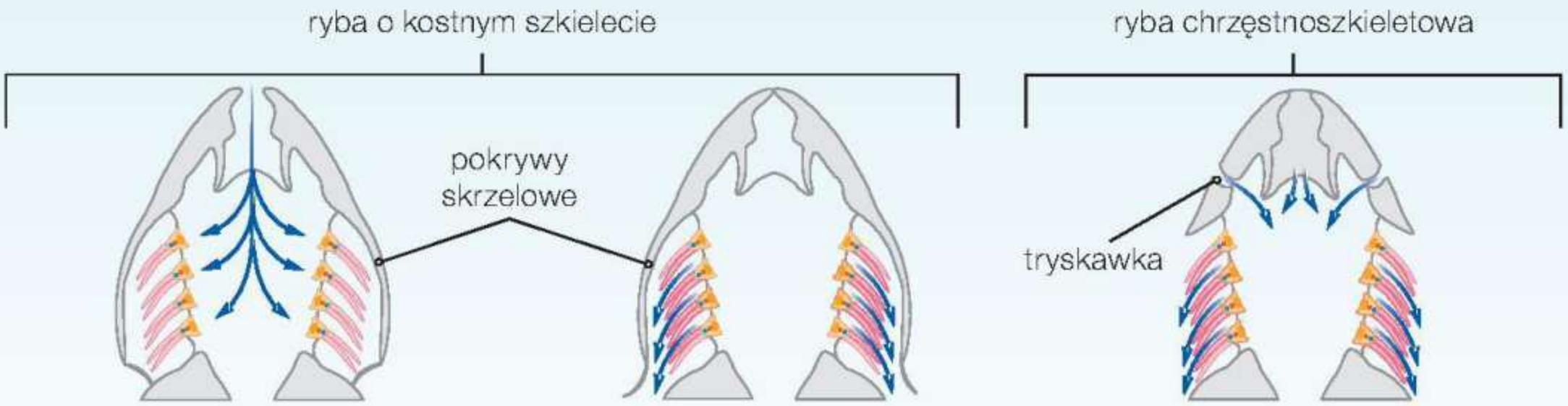
Budowa wewnętrzna ryby promieniopłetwej.

Mechanizmy wspomagające wymianę gazową

Spośród wszystkich zwierząt wodnych wymiana gazowa najefektywniej zachodzi u ryb. Wspomagają ją liczne przystosowania fizjologiczne, m.in. ruchy pokryw skrzelowych, działanie tryskawki i przeciwprądowy mechanizm przepływu krwi przez skrzela.

Działanie pokryw skrzelowych i tryskawki

U ryb o kostnym szkielecie występują pokrywy skrzelowe, które działają na zasadzie pompy umożliwiającej przepływ wody przez skrzela. Z kolei ryby chrzęstnoszkieletowe są zaopatrzone w tryskawkę, która u gatunków przydennych wspomaga wymianę gazową.



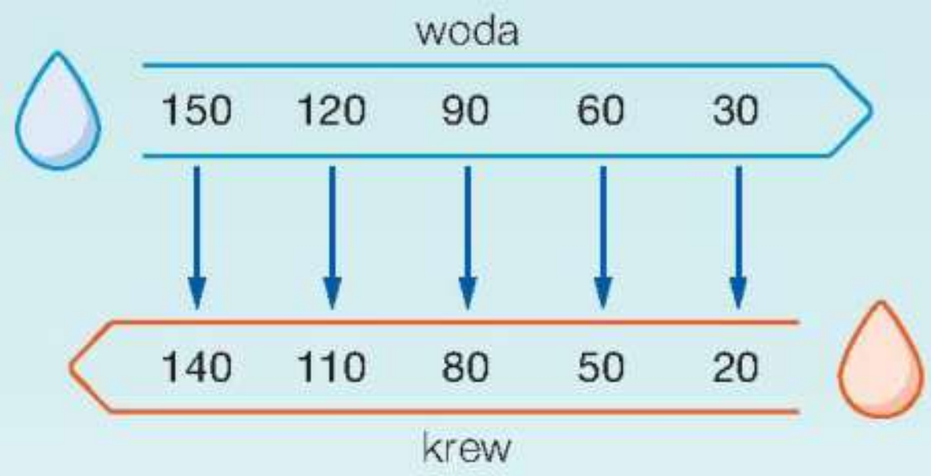
Podczas otwierania pyska pokrywy skrzelowe przylegają do ciała ryby i zamykają szczeliny skrzelowe. Dzięki temu woda wpływa do pyska, a następnie obmywa skrzela.

Pysk pozostaje zamknięty, a pokrywy skrzelowe się unoszą. Dzięki temu woda wypływa na zewnątrz ciała.

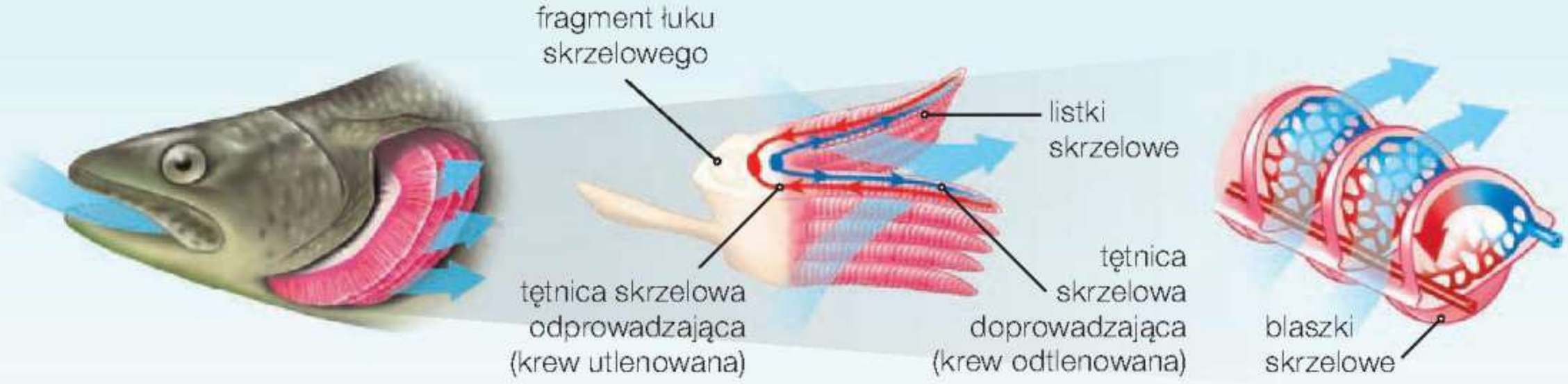
U ryb przydennych, np. płaszczek, tryskawka znajduje się po grzbietowej stronie ciała. Przez otwór tryskawki do skrzeli wciągana jest woda pozbawiona zanieczyszczeń z dna.

Mechanizm przeciwprądów

W mechanizmie przeciwprądów krew przepływa przez blaszkę skrzelową w odwrotnym kierunku niż obmywająca tę blaszkę woda. W rezultacie ciśnienie parcjalne[1] tlenu we krwi stopniowo rośnie, chociaż zawsze jest nieco niższe niż ciśnienie parcjalne tlenu w wodzie. Dzięki temu krew płynąca przez skrzela otrzymuje bez przerwy tlen.



Wymiana gazowa zachodzi dzięki różnicom ciśnień parcjalnych tlenu między krwią a wodą. Liczby na schemacie oznaczają 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

U wielu gatunków ryb promieniopłetwych występuje pęcherz pławny, który ma postać worka wypełnionego gazem o składzie zbliżonym do powietrza atmosferycznego. U latimerii – ryb mięśniopłetwych żyjących na znacznych głębokościach – narząd ten jest wypełniony nieściśliwym tłuszczem. Pęcherz pławny jest **narządem hydrostatycznym** – zmniejsza ciężar właściwy ryb, a tym samym pozwala na regulację głębokości zanurzenia oraz utrzymywanie się w wodzie bez dużego nakładu energii. Może również odpowiadać za **przekazywanie fal dźwiękowych** do ucha wewnętrznego i stanowić jeden z narządów wykorzystywanych do **wydawania odgłosów**. Pęcherz pławny powstaje w rozwoju zarodkowym ryb jako uchyłek jelita i u niektórych dorosłych ryb może być połączony z jelitem za pośrednictwem przewodu powietrznego.

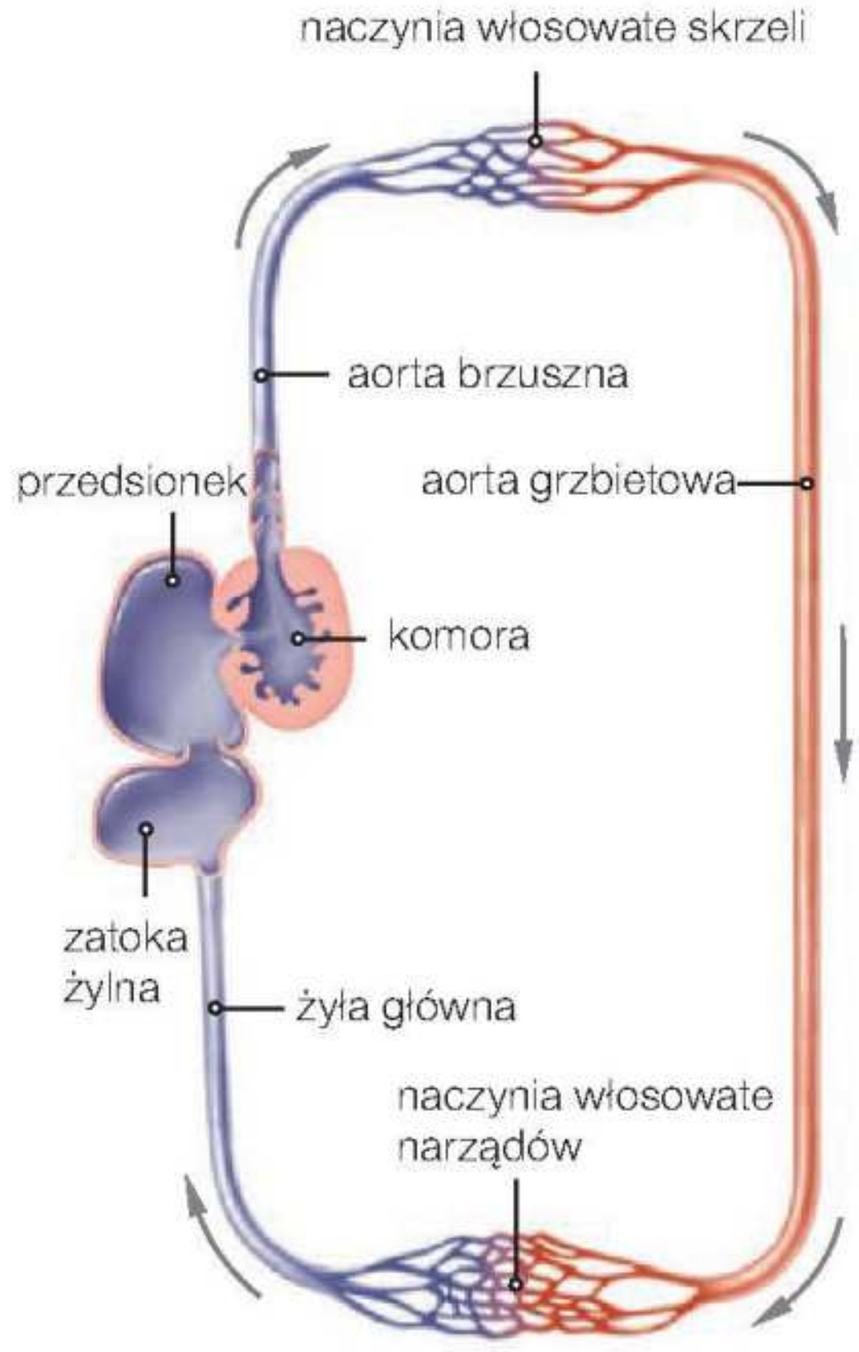
Ryby chrzęstnoszkieletowe oraz niektóre promieniopłetwe nie mają pęcherza pławnego. Aby nie opaść na dno, muszą pozostawać w ciągłym ruchu.

Układ krwionośny ryb

U ryb występuje **układ krwionośny zamknięty, jednoobiegowy**. Serce jest stosunkowo małe i zbudowane z kilku pęcherzyków połączonych szeregowo. Najważniejszymi elementami budującymi serce są **przedsionek** i **komora**. Przed przedsionkiem znajduje się **zatoka żylna**, a za komorą – **stożek tętniczy**. U chrzęstnoszkieletowych stożek tętniczy jest dobrze widoczny, natomiast u promieniopłetwych i mięśniopłetwych jest ukryty wewnątrz opuszki tętniczej. Między poszczególnymi częściami serca znajdują się **zastawki** uniemożliwiające cofanie się krwi. Dzięki temu krew płynie w jednym kierunku. Serce ryb (z wyjątkiem dwudysznych) jest wyłącznie żylne, co oznacza, że płynie przez nie krew odtlenowana, która z tkanek ciała wpływa do zatoki żylnej. Stąd jest dalej przepompowywana przez przedsionek, komorę oraz stożek tętniczy, a następnie systemem tętnic do skrzeli. Utlenowana w skrzelach krew jest z kolei rozprowadzana po całym organizmie. Barwnik oddechowy ryb, podobnie jak pozostałych kręgowców, stanowi **hemoglobina**, obecna w erytrocytach. U niektórych gatunków krew nie zawiera erytrocytów na etapie larwalnym (np. u śledzia), a u innych – przez całe życie (u ryb z rodziny bielankowatych).

Czy wiesz, że...

Krew ryb bielankowatych, zasiedlających zimne wody okołobiegunowe, nie ma erytrocytów. Tlen jest rozpuszczany bezpośrednio w osoczu i w ten sposób transportowany. Inną cechą bielankowatych jest wytwarzanie glikoproteiny krioprotekcyjnej, która obniża temperaturę zamarzania krwi.



Układ krwionośny ryby.

Układ nerwowy ryb

Układ nerwowy ryb składa się z mózgowia, rdzenia kręgowego oraz nerwów obwodowych. **Mózgowie** jest zbudowane z pięciu części ułożonych liniowo. Gatunki posługujące się głównie zmysłem węchu mają dobrze rozwinięte kresomózgowie i jego opuszki węchowe.

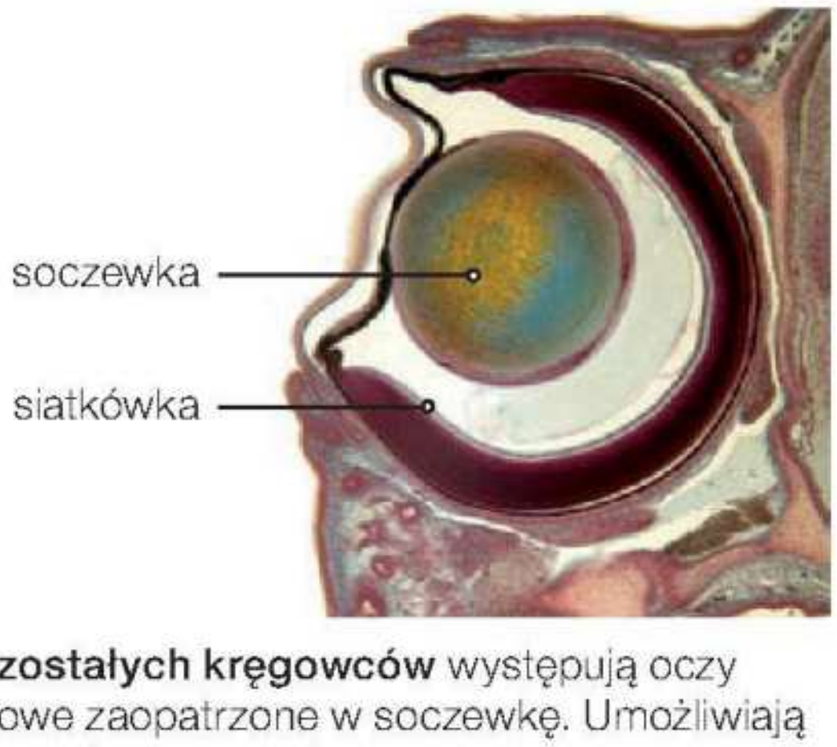
Gatunki, dla których duże znaczenie ma wzrok, cechują się znacznym rozwojem śródmózgowia. U ryb szybko i długo pływających szczególnie dobrze wykształcił się móżdżek, który odpowiada za koordynację ruchów. Z kolei ryby posługujące się głównie skórnymi narządami zmysłów mają silnie rozwinięty rdzeń przedłużony. Rdzeń przedłużony przechodzi następnie w **rdzeń kręgowy**, od którego odchodzą **nerwy** rdzeniowe, unerwiające poszczególne segmenty ciała.

Budowa mózgowia ryby.

Narządy zmysłów

Do najważniejszych narządów zmysłów ryb należy **linia boczna**. Składa się ona z receptorów umiejscowionych tuż pod powierzchnią skóry. Receptory są ułożone w jednej linii w kanalikach biegnących wzdłuż całego ciała i rozgałęziających się po obu stronach głowy. Dzięki linii bocznej ryby odczuwają nawet najsłabsze ruchy wody wywoływane przez inne zwierzęta czy fale odbijające się od przeszkód.

Oczy ryb są dobrze rozwinięte – ich akomodacja zachodzi poprzez przemieszczanie się prawie kulistej soczewki względem siatkówki.

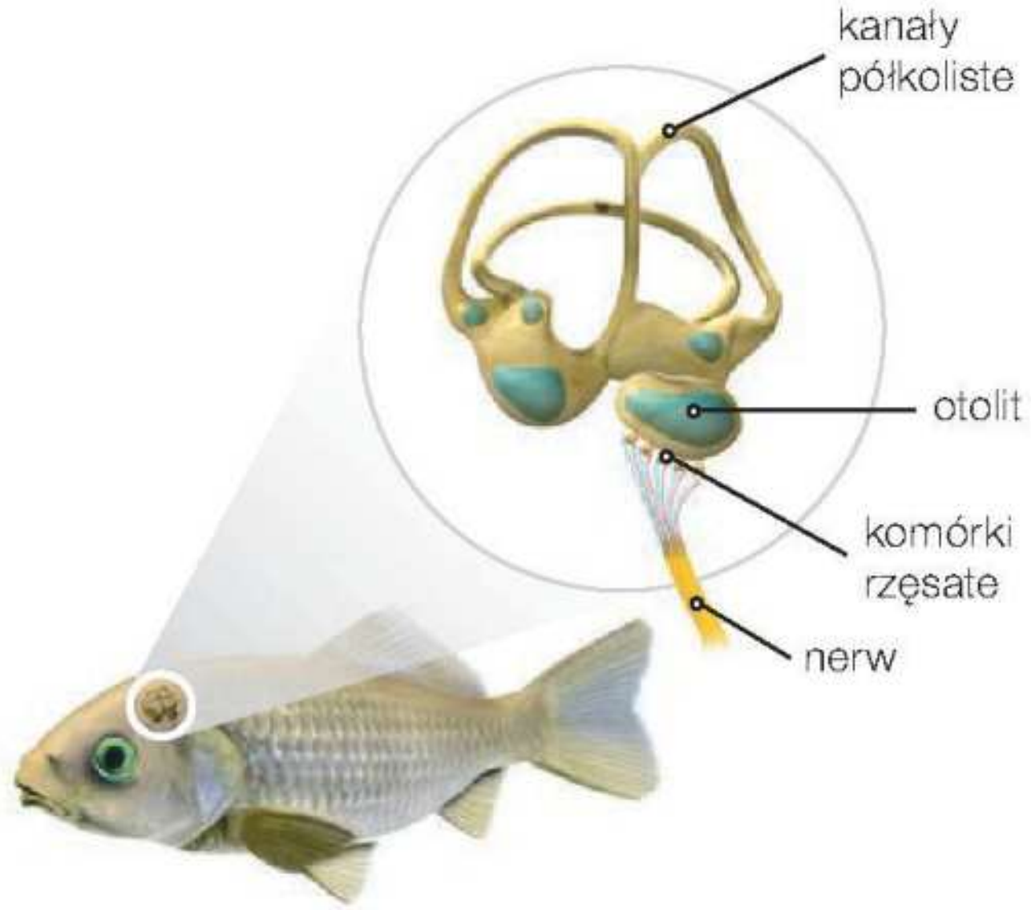


U ryb i pozostałych kręgowców występują oczy pęcherzykowe zaopatrzone w soczewkę. Umożliwiają one wytwarzanie ostrego obrazu.

W siatkówce oka występują dwa rodzaje komórek receptorowych:

- 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. Błędnik błoniasty tworzą przedsionek i trzy kanały półkoliste. Przedsionek składa się z komórek rzęsatych oraz z otolitów – kryształów węglanu wapnia leżących na błonie kamyczkowej. Pod wpływem bodźców dopływających ze środowiska zachodzi ruch śródchłonki – płynu, który wypełnia błędnik. Wówczas otolity przesuwają się i naciskają na rzęski. Dzięki temu powstaje impuls nerwowy, przesyłany do mózgowia.



Błędnik błoniasty jest zbudowany w podobny sposób u wszystkich kręgowców.

U niektórych ryb w procesie słyszenia uczestniczy również dwukomorowy pęcherz pławny. Jego przednia komora łączy się z błędnikiem błoniastym za pomocą szeregu kości, tworzących **aparat Webera** [wym. łebera]. Drgania pęcherza pławnego powstające w wyniku percepcji bodźców słuchowych płynących ze środowiska są przenoszone aparatem Webera do ucha wewnętrznego.

Wiele gatunków ryb, zwłaszcza przydennych, ma czuły **węch**, którego narząd mieści się w parzystych dołkach zawierających komórki węchowe. Ze względu na małą przejrzystość wody węch odgrywa u ryb istotną rolę w odnajdywaniu pokarmu czy partnera do rozrodu.

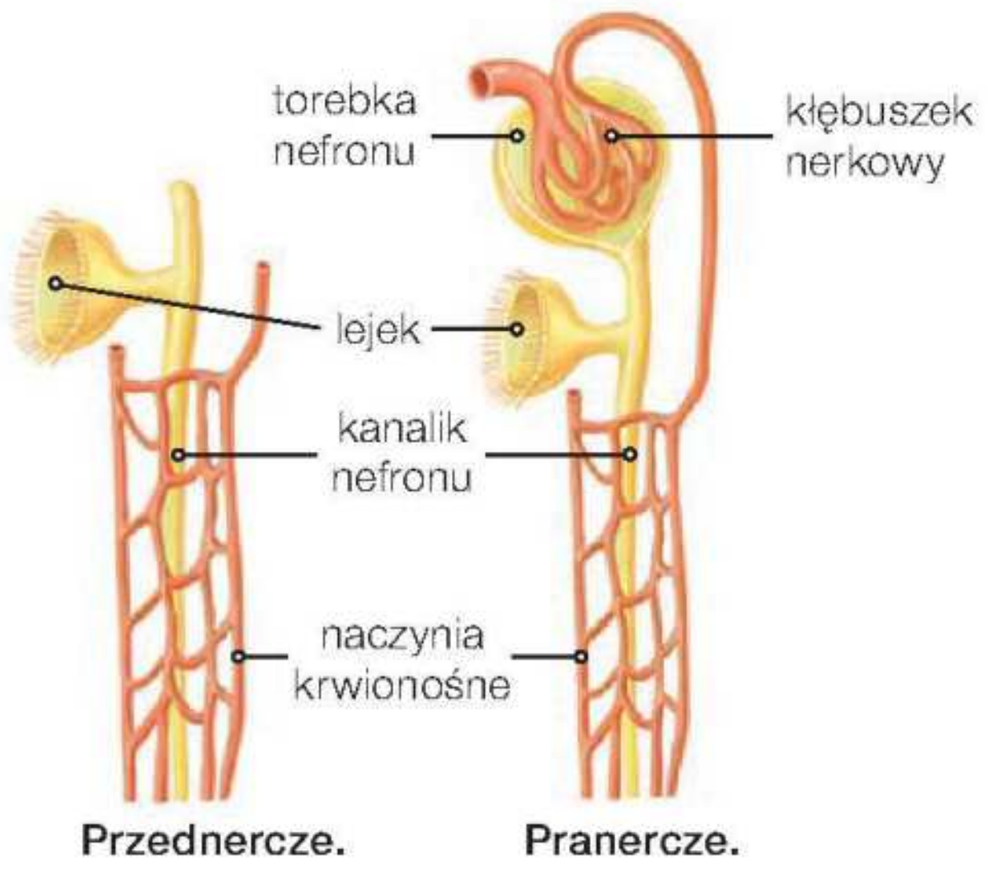
Niektóre ryby, np. płaszczki, mają **narządy elektryczne**, dzięki którym wytwarzają wokół ciała pole elektryczne i wykrywają jego zmiany wywołane obecnością innych organizmów lub obiektów. Zdolność do odbioru i rozpoznawania zaburzeń pola elektrycznego to elektroreceptcja.

Narządy elektryczne są zazwyczaj silnie zmodyfikowanymi mięśniami, których komórki mają zdolność do generowania wyładowań elektrycznych. U płaszczki z rodzaju drętwa (*Torpedo*) elektroreceptory występują w obrębie płetw piersiowych.

Układ wydalniczy ryb

U ryb, podobnie jak u pozostałych kręgowców, narządami wydalniczymi są **nerki**. Ich podstawową jednostką strukturalno-funkcjonalną jest **nefron**. Zarodki ryb mają nerki typu **przednercza**, których nefrony składają się z kanalików oraz orzęsionych lejków wychwytujących zbędne substancje z płynu celomatycznego. Większość dorosłych ryb ma nerki typu **pranercza**, których nefrony są zbudowane z kanalików, orzęsionych lejków oraz ciałek nefronu. Każde ciałko nefronu składa się z kłębuszka nerkowego, utworzonego przez naczynia krwionośne, oraz torebki nefronu. Lejki wychwytują zbędne produkty przemiany materii z płynu wypełniającego wtórną jamę ciała. Z kolei w ciałkach nerkowych zachodzi filtracja krwi, czyli przenikanie metabolitów z osocza krwi do wnętrza torebek nefronu. W rezultacie do światła kanalików nerkowych trafia roztwór substancji, który nosi nazwę **moczu pierwotnego**. W zależności od potrzeb zwierzęcia mocz pierwotny może ulegać dalszej obróbce, np. rozcieńczaniu czy zagęszczaniu. Dzięki temu tworzy się **mocz ostateczny**, który trafia do moczowodów, a stamtąd – do pęcherza moczowego. 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. Usuwanie zbędnych produktów przemiany materii odbywa się również za pośrednictwem **skrzeli**. Głównym azotowym produktem przemiany materii ryb promieniopłetwych i mięśniopłetwych jest **amoniak**, a ryb chrzęstnoszkieletowych – **mocznik**.

Typy nerek u ryb



Podstawową funkcją nerek ryb jest **osmoregulacja**, czyli 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. Przykładem mogą być węgorze (*Anguilla*), które wylęgają się z jaj w wodzie słonej, następnie nawet na kilka lat migrują do słodkich wód rzecznych, aby pod koniec życia powrócić do środowiska słonowodnego w celu odbycia tarła.

Osmoregulacja u ryb

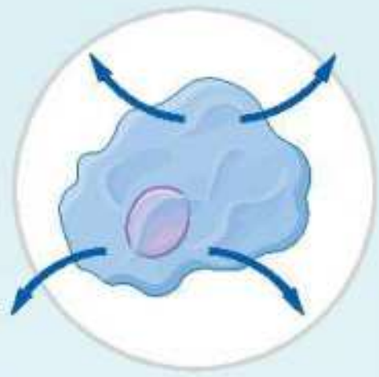
Ryby żyją w środowiskach hipotonicznych (wodach słodkich) oraz hipertonicznych (wodach słonych). Z tego powodu są narażone na osmotyczny napływ lub odpływ wody, który zachodzi głównie przez **cienki nabłonek skrzeli**. Względnie stała zawartość wody i soli mineralnych w organizmie ryb jest utrzymywana dzięki mechanizmom osmoregulacji.

Ryby słonowodne

Główny problem osmoregulacyjny: osmotyczna utrata wody w środowisku hipertonicznym.

Promieniopłetwe

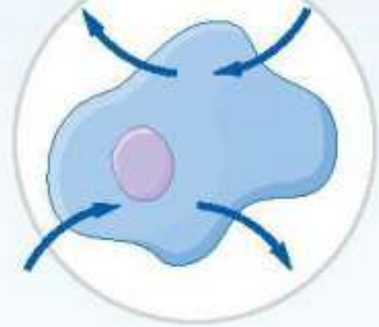
Płyny ustrojowe ryb promieniopłetwych są hipotoniczne w stosunku do środowiska. W rezultacie ciało ryb nieustannie traci wodę na drodze osmozy. Aby zapobiec odwodnieniu, ryby te piją wodę morską i wydalają niewielkie ilości silnie stężonego moczu. Jednocześnie usuwają nadmiar soli mineralnych przez skrzela.



Komórka w roztworze hipertonicznym.

Chrzęstnoszkieletowe

Ryby chrzęstnoszkieletowe utrzymują w organizmie wysokie stężenie substancji osmotycznie czynnych, głównie mocznika. Z tego powodu ich płyny ustrojowe są praktycznie izotoniczne w stosunku do środowiska, a osmotyczna utrata wody jest ograniczona.

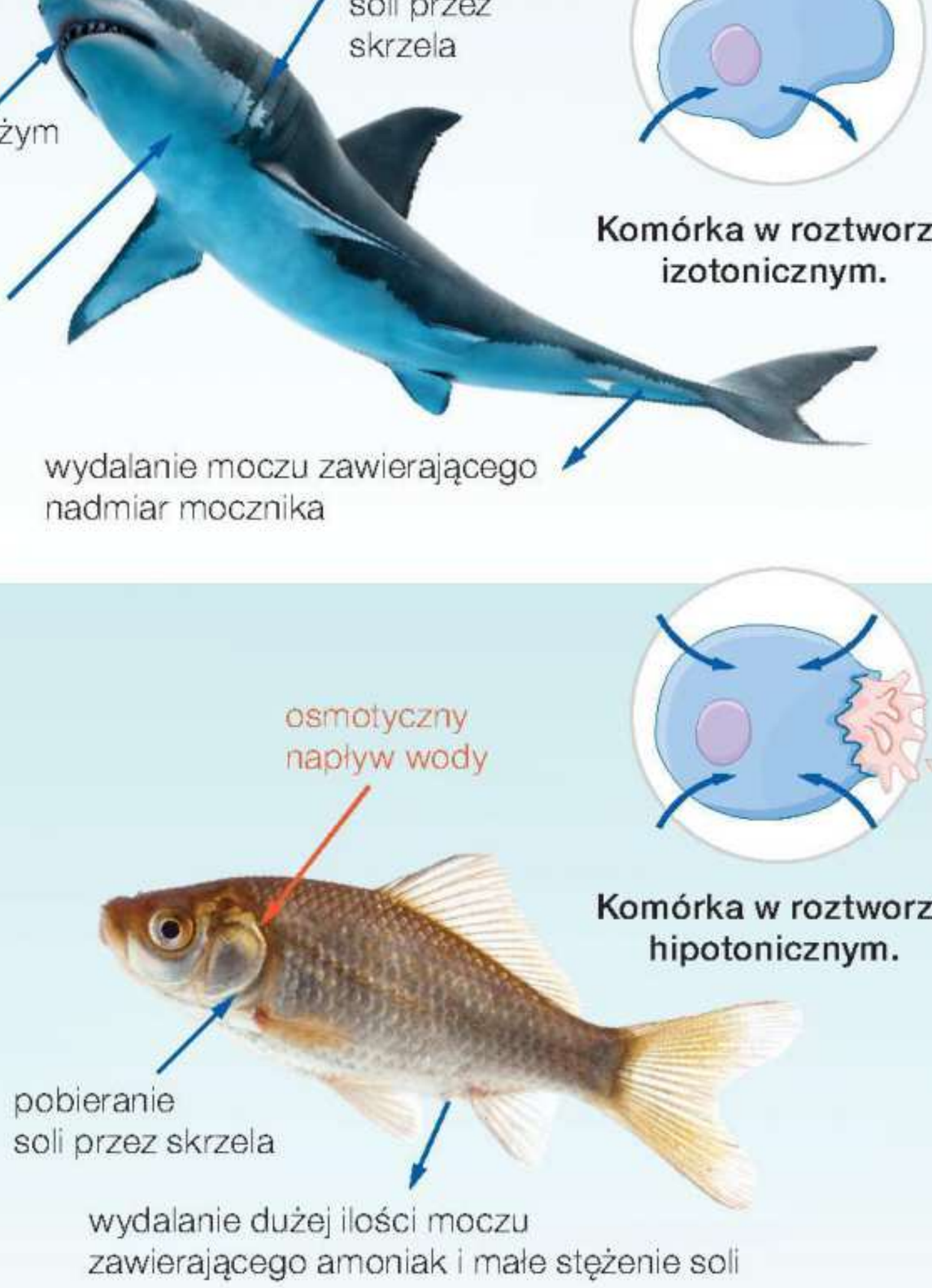


Komórka w roztworze izotonicznym.

Ryby słodkowodne

Główny problem osmoregulacyjny: osmotyczny napływ wody w środowisku hipotonicznym.

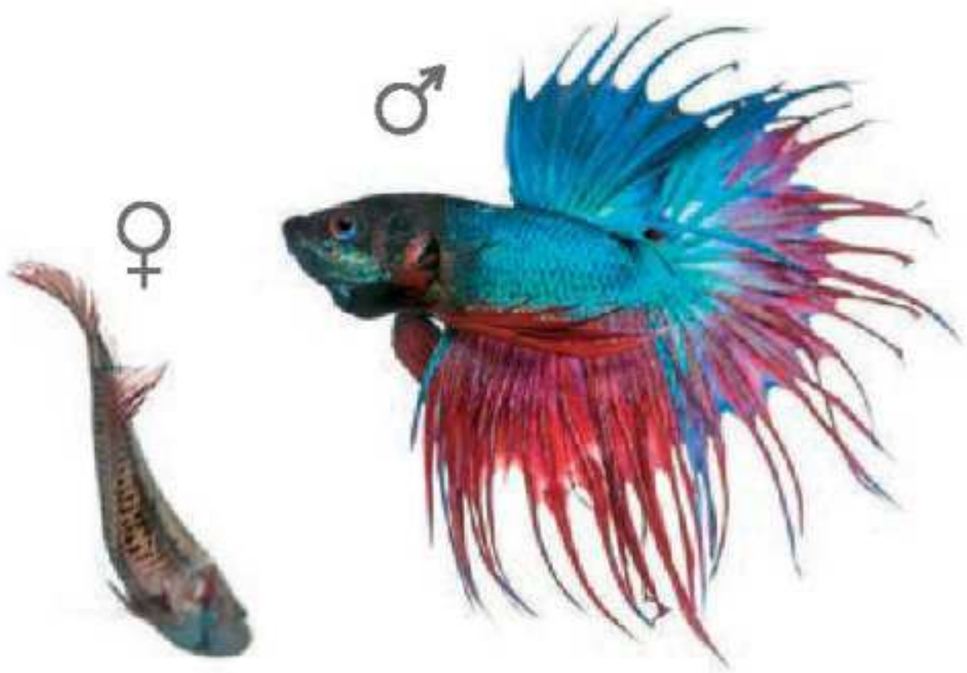
Płyny ustrojowe ryb słodkowodnych (promieniopłetwych) są hipertoniczne w stosunku do środowiska. W rezultacie ciało ryb nieustannie pobiera wodę na drodze osmozy. Aby zapobiec pękaniu komórek, ryby te nie piją wody i usuwają jej nadmiar w dużej objętości silnie rozcieńczonego moczu. Jednocześnie uzupełniają ubytek soli mineralnych przez skrzela zaopatrzone w specjalne komórki solne.



Komórka w roztworze hipotonicznym.

Rozmnażanie się i rozwój ryb

Większość gatunków ryb jest **rozdzielnopłciowa**, jedynie u nielicznych występuje obojnactwo. Ryby rozdzielnopłciowe wykazują często **dymorfizm płciowy**, który przejawia się m.in. zróżnicowaniem barwy, kształtu oraz wielkości 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 (*Betta splendens*).

U większości ryb o kostnym szkielecie występują **zapłodnienie zewnętrzne** i **jajorodność**. Samica składa ikrę – jaja otoczone galaretowatą osłonką – do wody, gdzie następuje zapłodnienie. Liczba jaj waha się od kilku do kilkuset milionów. W przypadku ryb opiekujących się zapłodnioną ikrą liczba składanych jaj jest zwykle mniejsza. Z tych, które zostaną zapłodnione, wylęgają się larwy odżywiające się substancjami zapasowymi żółtka. Larwy rozwijają się następnie w narybek samodzielnie zdobywający pokarm. Pewne gatunki ryb podejmują opiekę nad potomstwem, która może przyjmować różną postać. Na przykład samce cierników budują gniazda, w których rozwija się zapłodniona ikra i narybek.

U ryb chrzęstnoszkieletowych oraz niektórych o kostnym szkielecie występuje **zapłodnienie wewnętrzne**. Ryby te są zazwyczaj **jajożyworodne** lub **żyworodne**.

Wędrówki ryb

Tarło i rozwój pewnych gatunków ryb wiąże się z odbywaniem wędrówek między wodami słodkimi a wodami słonymi lub odwrotnie. Ryby, które podejmują takie wędrówki, są nazywane dwuśrodowiskowymi. Można wśród nich wyróżnić gatunki anadromiczne oraz katadromiczne.

Rybą anadromiczną jest łosoś atlantycki (*Salmo salar*). Tarło tego gatunku odbywa się w słodkich wodach rzek, zazwyczaj w ich górnym biegu. Młode osobniki migrują do słonych wód oceanicznych, gdzie rosną i się rozwijają. Aby wziąć udział w rozrodzie, powracają do tych samych rzek, w których przyszły na świat jako larwy.

Rybą katadromiczną jest węgorz europejski (*Anguilla anguilla*). Jego rozród odbywa się w słonych wodach Morza Sargassowego. Młode osobniki migrują do europejskich wód słodkich, gdzie dojrzewają, a następnie powracają w miejsce, w którym wykluły się z jaj, by wziąć udział w tarle i wydać na świat potomstwo.

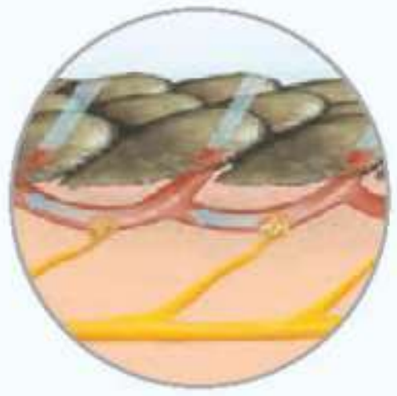
Przystosowania ryb do życia w wodzie

Do cech, które pozwalają rybom funkcjonować w środowisku wodnym, należą:

- opływowy kształt ciała,
- skóra pokryta śluzem i łuskami,
- nieruchome połączenie głowy z tułowiem,
- obecność płetw,
- przekształcenie uchyłka jelita w pęcherz pławny,
- obecność skrzeli,
- występowanie linii bocznej, wyostrzony zmysł węchu.

Skóra ryb pokryta jest łuskami i śluzem, co zmniejsza opór wody podczas pływania.

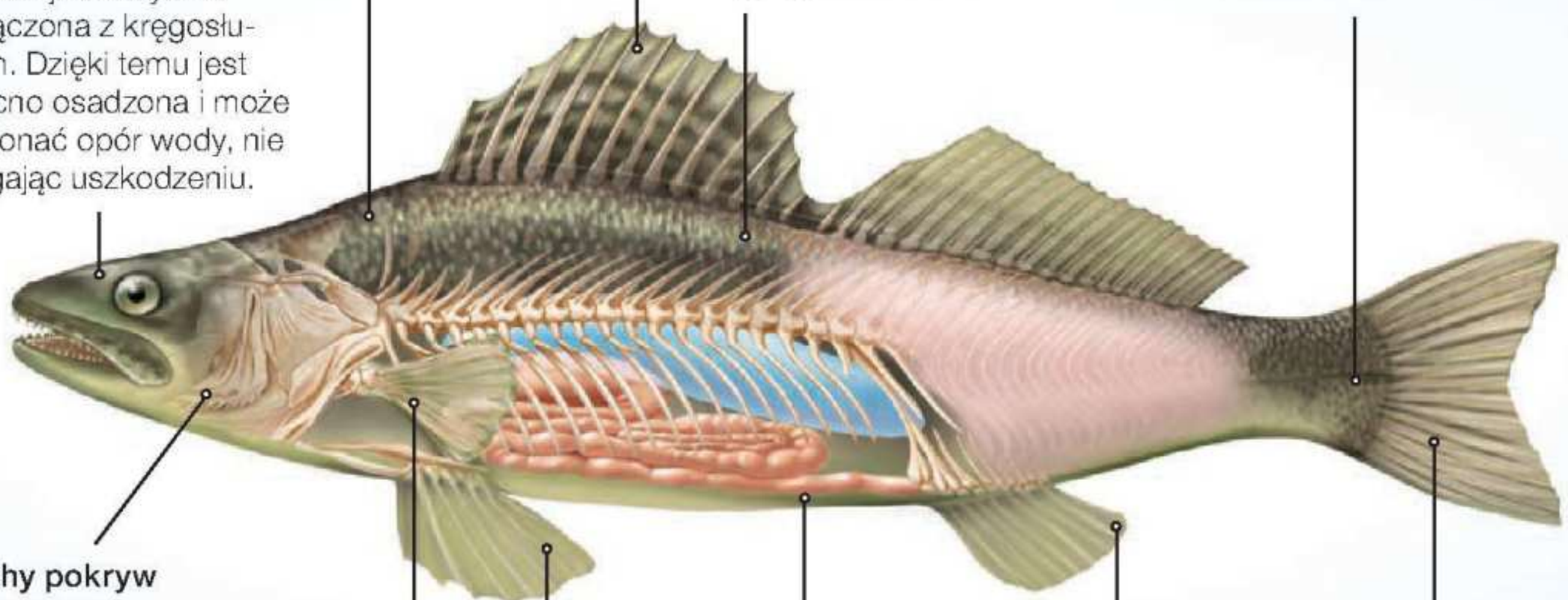
Płetwa grzbietowa zapewnia utrzymanie równowagi.



Dzięki linii bocznej ryby wyczuwają ruchy wody i doskonale orientują się w środowisku.

Ryby mają zwykle ciemny grzbiet, przez co są mniej widoczne z góry, na tle dna.

Głowa jest sztywno połączona z kręgosłupem. Dzięki temu jest mocno osadzona i może pokonać opór wody, nie ulegając uszkodzeniu.



Ruchy pokryw skrzelowych powodują przepływ wody przez skrzela i dostarczanie do nich tlenu.

Płetwy piersiowe umożliwiają zmianę kierunku ruchu.

Płetwy brzuszne służą do utrzymywania wybranej pozycji ciała.

Brzuch ryby ma jasną barwę, dzięki czemu jest mniej widoczny z dołu, na tle powierzchni wody.

Płetwa odbytowa zapewnia utrzymanie równowagi.

Płetwa ogonowa umożliwia wykonywanie ruchu postępowego.

Pęcherz pławny

Podstawową funkcją pęcherza pławnego jest regulacja głębokości zanurzenia ryb.

Pęcherz pławny pstrąga jest otwarty i ma postać worka połączonego z jelitem przewodem powietrznym. Uzupełnianie gazu w pęcherzu odbywa się przez połykanie powietrza znad powierzchni wody.

Pęcherz pławny okonia jest zamknięty – w rozwoju zarodkowym utracił on połączenie z jelitem. Regulacja zawartości gazu w pęcherzu odbywa się za pomocą specjalnego gruczołu.

Dowiedz się więcej

Ryby głębinowe

Głębiny oceaniczne to środowiska o skrajnie trudnych warunkach życia. Brak światła, małe stężenie tlenu, niska temperatura i olbrzymie 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 (*Ceratias holboelli*) 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 (Stomiidae) wykształciły nieproporcjonalnie duży otwór gębowy zaopatrzony w długie ostre zęby. Dzięki temu mogą chwytać ofiary nawet większe od siebie.

Wężorowate są zaopatrzone w narządy świetlne (fotofory), zlokalizowane m.in. po bokach ciała, za pomocą których wabią ofiary i kontaktują się z innymi osobnikami tego samego gatunku. Samce niektórych gatunków mają uwstecznione jelito, nie pobierają więc pokarmu i giną wkrótce 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.

Znaczenie ryb w przyrodzie i dla człowieka

Składnik sieci troficznych

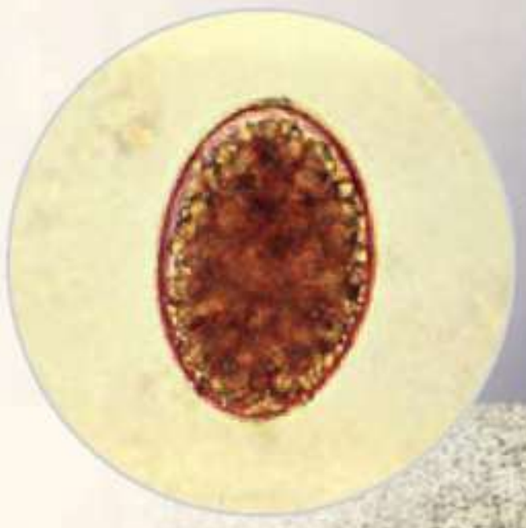
Wiele gatunków ryb to drapieżniki regulujące liczebność innych organizmów. Ryby są również źródłem pożywienia dla zwierząt, w tym ludzi. Ich mięso dostarcza białka, niezbędnych nienasyconych kwasów tłuszczowych (NNKT), witamin oraz składników mineralnych.

Bioindykatory

Występowanie niektórych gatunków ryb jest często związane z określonym typem wód, np. pstrąg potokowy (*Salmo trutta fario*) jest notowany w rzekach o wartkim prądzie i zimnej, natlenionej wodzie.

Żywiciele groźnych pasożytów

Wiele gatunków ryb to żywiciele pośredni groźnych pasożytów, m.in. bruzdogłowca szerokiego (*Diphyllobothrium latum*).



Jajo bruzdogłowca szerokiego.

Źródło cennych substancji

Substancje pozyskiwane z ryb wykorzystuje się jako surowiec do produkcji m.in. klejów, nawozów, karmy dla zwierząt oraz leków (np. tran otrzymywany z wątroby dorsza).

Polecenia kontrolne

1. Wymień 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. Określ, dlaczego serce ryb jest sercem żylnym.
5. Wyjaśnij, w jaki sposób mechanizm przeciwprądów w skrzelach ryb zwiększa efektywność wymiany gazowej.

6.4. Płazy – kręgowce dwuśrodowiskowe

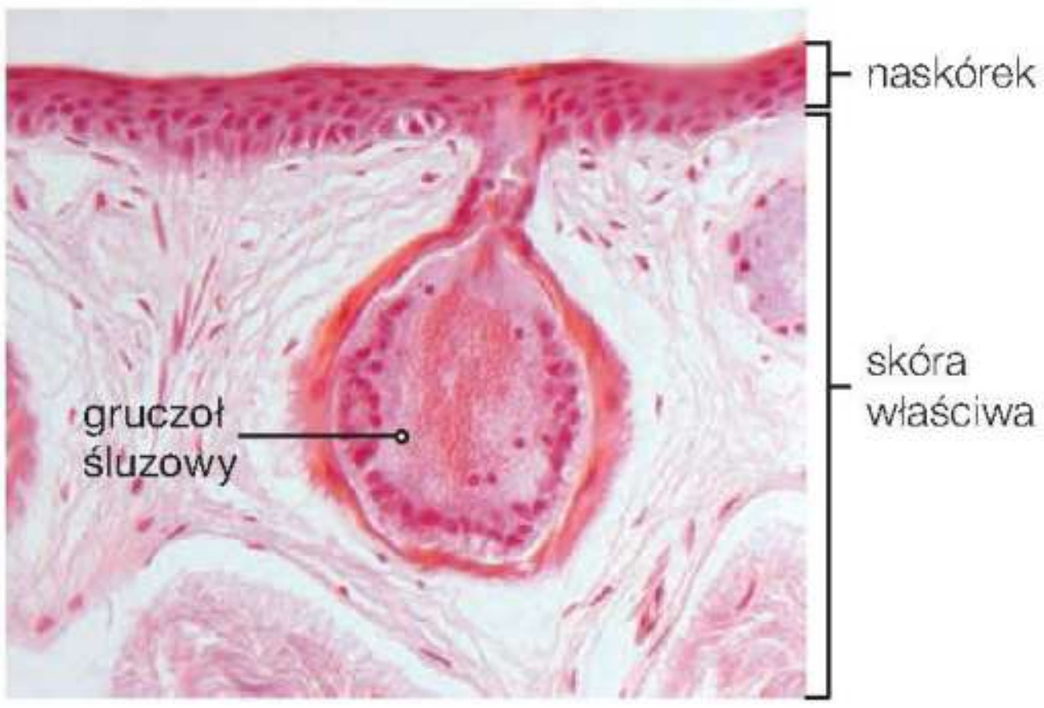
Zwróć uwagę na:
- cechy charakterystyczne płazów,
- budowę i czynności życiowe płazów,
- znaczenie płazów w przyrodzie i dla człowieka.

Płazy (Amphibia) to zwierzęta **zmiennocieplne,** prowadzące **ziemno-wodny** tryb życia. Zasięg ich występowania wiąże się głównie z odpowiednio wysoką temperaturą i obecnością wody słodkiej. Niska temperatura znacznie ogranicza funkcje życiowe płazów, m.in. uniemożliwia im rozmnażanie się. Dlatego zwierzęta te nie występują wysoko w górach, na dalekiej północy i na Antarktydzie, a w strefie klimatu umiarkowanego zapadają zimą w stan **hibernacji**. Dorosłe osobniki płazów przebywają zwykle w wilgotnych środowiskach lądowych. Wyjątkowo spotyka się gatunki całkowicie wodne (np. żaba szponiasta) lub żyjące na suchych obszarach pustynnych (np. wodosytka płaskogłowa).

W gromadzie płazów wyróżnia się trzy rzędy: **płazy ogoniaste, płazy bezogonowe** i **płazy beznogie**.

Pokrycie ciała płazów

Skóra płazów jest **cienka, naga,** pozbawiona tworów ochronnych (np. łusek) i nieustannie nawilżana wydzieliną znajdujących się w niej **gruczołów śluzowych**. Śluz odgrywa rolę **rozpuszczalnika gazów,** ułatwia więc wymianę gazową. **Zmniejsza również tarcie** podczas pływania, a na lądzie w niewielkim stopniu zabezpiecza ciało przed utratą wody. Słabe zabezpieczenie przed wysychaniem (skóra przepuszcza wodę) powoduje, że zwierzęta te żyją głównie w środowisku wilgotnym. W skórze wielu gatunków płazów znajdują się również **gruczoły jadowe**. Wydzielają one na powierzchnię skóry substancje toksyczne, które służą do obrony przed drapieżnikami. Ubarwienie płazów zależy od znajdujących się w skórze **komórek barwnikowych**. Może ono pełnić funkcje maskujące (np. brunatnozielony grzbiet żaby trawnej) lub ostrzegawcze (np. żółte plamy na czarnym ciele salamandry plamistej). Niektóre gatunki (np. rzekotka drzewna) potrafią zmieniać ubarwienie ciała w zależności od barwy otoczenia. Skóra większości płazów bezogonowych tworzy **błonę pławną** rozpiętą między palcami. Może ona występować na obu parach kończyn lub tylko na kończynach tylnych.



Skóra płazów jest bardzo cienka, ponieważ naskórek składa się jedynie z kilku warstw komórek. Występują w niej liczne, wielokomórkowe gruczoły śluzowe.

Drzewołazy żyją w wilgotnych lasach równikowych. Ich jaskrawe ubarwienie ostrzega inne zwierzęta przed wyjątkowo silnym jadem wydzielanym przez skórę.

Różnorodność płazów

Wśród płazów można wyróżnić trzy rzędy: **płazy ogoniaste** (Caudata), **płazy bezogonowe** (Anura) oraz **płazy beznogie** (Gymnophiona). Różnią się one od siebie wieloma cechami budowy – zarówno morfologicznej, jak i anatomicznej – oraz niektórymi elementami fizjologii.

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.

Larwa salamandry.

Salamandra plamista (*Salamandra salamandra*) to największy płaz ogoniasty żyjący w Polsce. Jest jajożyworodna. Dorosłe osobniki prowadzą lądowy tryb życia.

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.

Larwa żaby wodnej.

Żaba wodna (*Pelophylax esculentus*) jest jedną z tzw. żab zielonych. Występuje na nizinach, w pobliżu małych zbiorników wodnych.

Płazy beznogie

Przypominają wyglądem dżdżownicę. 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 (*Siphonops annulatus*) żyje w Ameryce Południowej. Jego larwy po wylęgu odżywiają się naskórkiem samicy (dermatotrofia).

Układ szkieletowy płazów

Szkielet płazów jest zbudowany z elementów zarówno kostnych, jak i chrzęstnych. U płazów ogoniastych, bezogonowych i beznogich występują znaczne różnice w jego budowie.

Szkielet osiowy

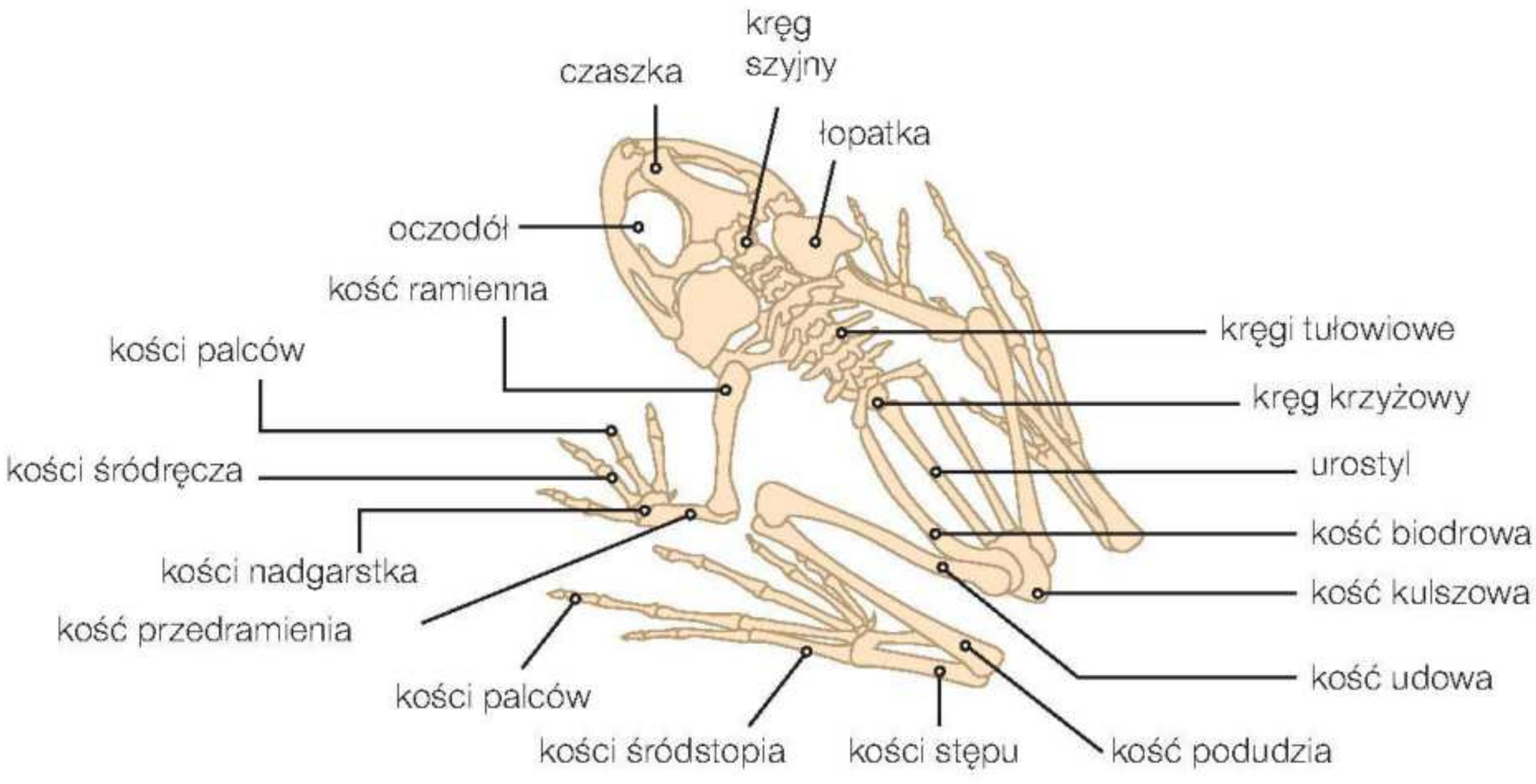
Czaszka płazów jest płaska i ma **ażurową konstrukcję**, np. bez zabudowanego dna oczodołów, co znacznie zmniejsza jej masę. W okresie życia larwalnego składa się ona wyłącznie z elementów chrzęstnych, natomiast u osobników dorosłych **kostnieje w niewielkim stopniu**. W obrębie czaszki wyróżnia się niewielką **mózgoczaszkę** oraz dużą **trzewioczaszkę**. W rozwoju zarodkowym trzecia para łuków skrzelowych tworzy szczękę i żuchwę, a czwarta przekształca się w strzemiączko (kolumienkę) oraz szkielet języka.

Kręgosłup płazów składa się z czterech części: szyjnej, tułowiowej, krzyżowej i ogonowej. **Część szyjną** tworzy jeden kręg zwany **dźwigaczem** (łac. *atlas*), połączony ruchomo z czaszką. Znajdują się w nim wgłębienia, które pozwalają na utworzenie połączenia z **dwoma kłykciami potylicznymi**, czyli wyrostkami kości potylicznych. Połączenie takie bardzo mocno 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). Natomiast **część ogonowa**, podobnie jak część tułowiowa, 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. U niektórych gatunków żebra nie występują. Brak klatki piersiowej powoduje, że wentylacja płuc jest mało wydajna.

Szkielet obręczy i kończyn

Większość płazów ma **dwie pary kończyn** wspartych na **obręczach barkowej** i **miednicowej**. Kończyny przednie są czteropalczaste, a tylne – pięciopalczaste. U płazów bezogonowych **kości przedramienia** (łokciowa i promieniowa) oraz **kości podudzia** (piszczelowa i strzałkowa) wtórnie się zrosły. **Obręcz miednicową** tworzą długie kości biodrowe, przystosowane do wykonywania skoków, oraz kości kulszowe i chrząstki łonowe (u niektórych gatunków skostniałe).

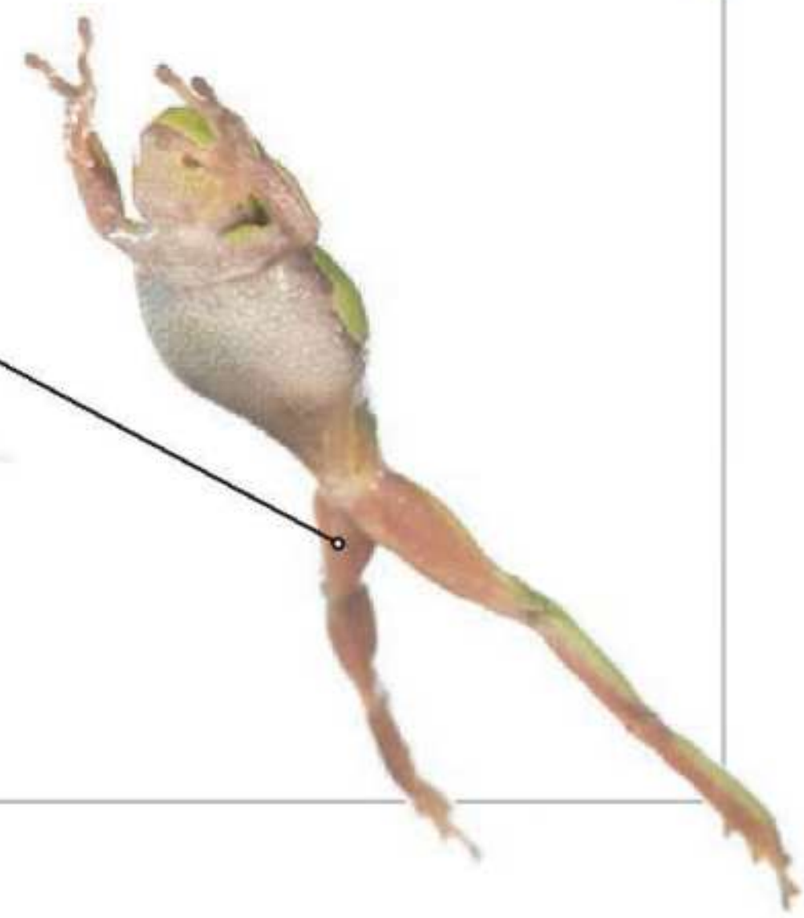


Budowa szkieletu żaby.

Poruszanie się płazów

Kończyny płazów są rozstawione szeroko na boki, co powoduje, że tułów tych zwierząt dotyka podłoża. Płazy ogoniaste – ze względu na stosunkowo małą ruchomość kończyn – na lądzie poruszają się niezdarnie, wyginając mocno tułów na boki. Ruch w wodzie umożliwia im wiosłowanie ogonem. U płazów bezogonowych kości kończyn tylnych, zwłaszcza podudzia i palców, są silnie wydłużone. Umożliwia to wykonywanie skoków na odległość nawet kilkunastokrotnie przekraczającą długość ich ciała. Przedstawiciele tego rzędu w wodzie poruszają się sprawnie dzięki błonie pławnej.

Chodzenie niektórych gatunków po płaskich powierzchniach wspomagają przylgi na palcach.



W skakaniu i pływaniu uczestniczą głównie silnie umięśnione kończyny tylne.

Pływanie wspomagają błony pławne rozpięte między palcami.

Układ pokarmowy płazów

Dorosłe płazy są **drapieżnikami**. Ich pokarm stanowią przede wszystkim bezkręgowce (na ogół stawonogi, ale także mięczaki i pierścienice). Niektóre gatunki zjadają również drobne zwierzęta kręgowe. Płazy nie piją wody, lecz pochłaniają ją przez skórę.

Układ pokarmowy płazów rozpoczyna się **otworem gębowym** prowadzącym do obszernej, 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 – w trakcie połykania wpuklają się one nieco w głąb jamy gębowej i w ten sposób popychają pożywienie w stronę gardzieli. Do dna jamy gębowej przyrośnięty jest silnie umięśniony **język**. Jego powierzchnię nawilża lepka wydzielina **gruczołów ślinowych** umożliwiająca niektórym gatunkom chwytanie pokarmu.

Następnym odcinkiem przewodu pokarmowego jest **gardziel**. W jej tylnej części znajdują się **dwa otwory**: jeden prowadzi do **tchawicy**, a drugi – do krótkiego, prostego **przełyku** połączonego z **żołądkiem**. Znajdujące się za nim **jelito cienkie** przechodzi bez wyraźnej granicy w **jelito grube**, uchodzące do **kloaki**.

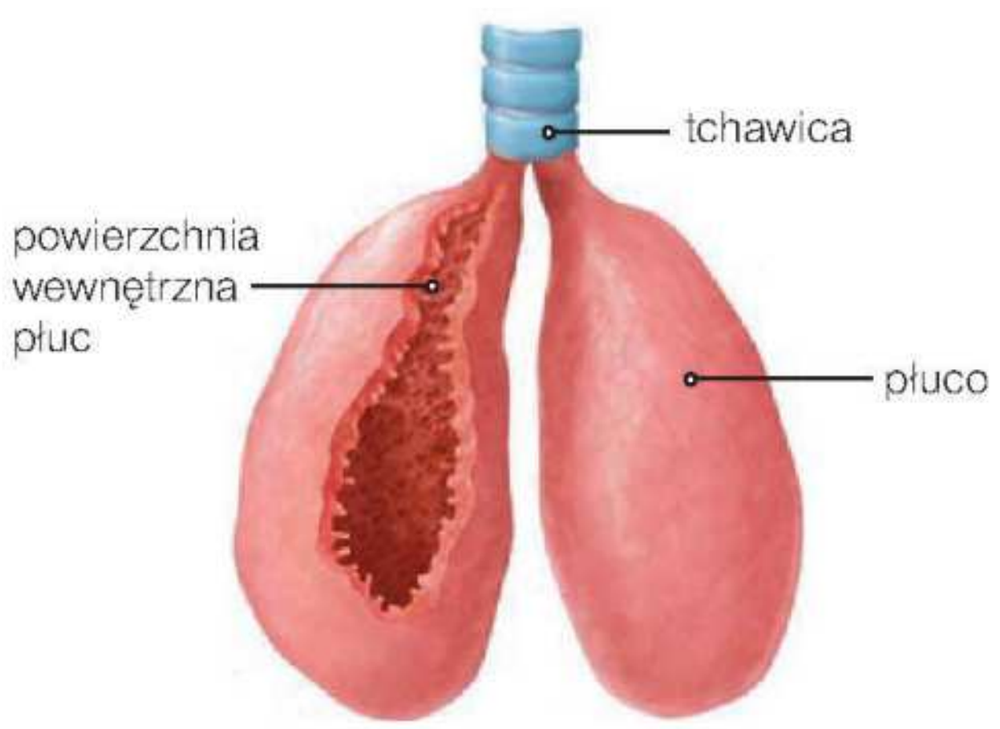
Podobną budowę układu pokarmowego mają larwy płazów ogoniastych, natomiast nieco inną – larwy płazów bezogonowych, żywiące się zawiesiną organiczną i planktonem. Otwór gębowy tych ostatnich otoczony jest **zrogowaciałym naskórkiem**, umożliwiającym zeskrobywanie pokarmu z przedmiotów znajdujących się pod wodą, a także filtrowanie cząstek pokarmu z wody. Larwy te **nie mają żołądka**, a ich **jelito** jest znacznie **dłuższe** niż u form dorosłych (wynika to z odżywiania się innym rodzajem pokarmu, wymagającym dokładniejszej obróbki).

Układ oddechowy płazów

W związku z przystosowaniem do lądowego trybu życia u płazów wykształciły się płuca. Obok nich w wymianie gazowej uczestniczą także **nabłonek jamy gębowej** oraz **skóra**.

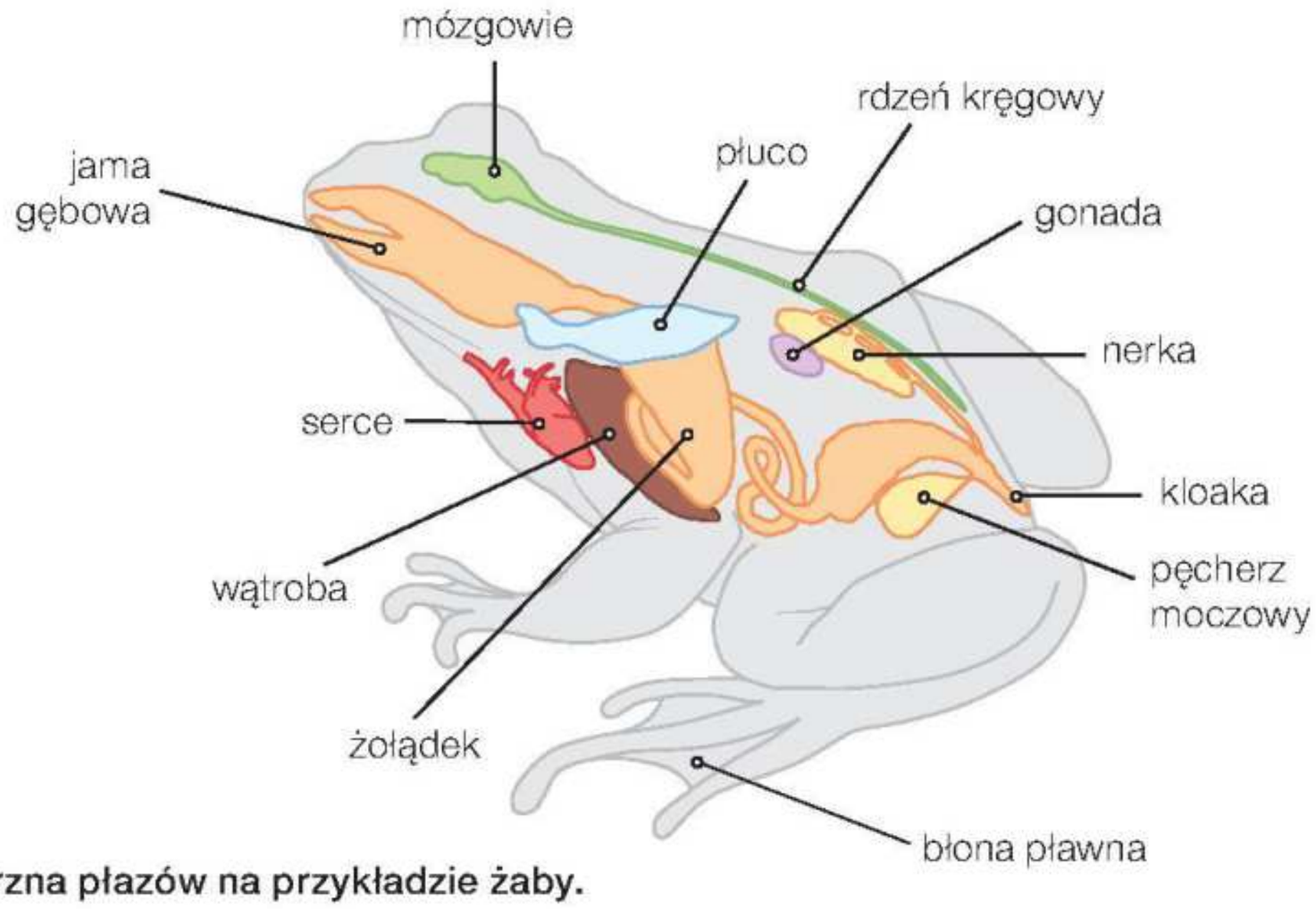
Płuca są silnie unaczynionymi parzystymi workami o lekko pofałdowanej powierzchni. Łączą się one z gardzielą za pomocą krótkich **dróg oddechowych** złożonych ze słabo rozwiniętej **krtani** oraz **tchawicy**. W związku z brakiem klatki piersiowej wentylacja płuc u płazów odbywa się dzięki ruchom dna jamy gębowej przy jednoczesnej współpracy mięśni gardzieli. Mechanizm taki nosi nazwę **pompy jamy gębowej**. Obniżenie dna jamy gębowej przy otwartych nozdrzach i zamkniętej krtani powoduje wciągnięcie świeżego powietrza. W tym czasie wymiana gazowa odbywa się poprzez nabłonek jamy gębowej. Następnie krtań się otwiera, a zużyte powietrze przez otwarte nozdrza wydostaje się na zewnątrz. Zamknięcie nozdrzy i podniesienie dna jamy gębowej wtłacza świeże powietrze do płuc, gdzie zachodzi wymiana gazowa. Zużyte powietrze przemieszcza się z płuc do jamy gębowej, skąd przy zamkniętej krtani i otwartych nozdrzach jest usuwane na zewnątrz.

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, dzięki korzystnemu stosunkowi powierzchni ciała do jego objętości, wymiana skórna jest tak wydajna, że prowadzi do **zaniku płuc** (np. u salamander bezpłucnych).



Płuca płazów to cienkościenne, silnie ukrwione worki o delikatnie pofałdowanej powierzchni wewnętrznej.

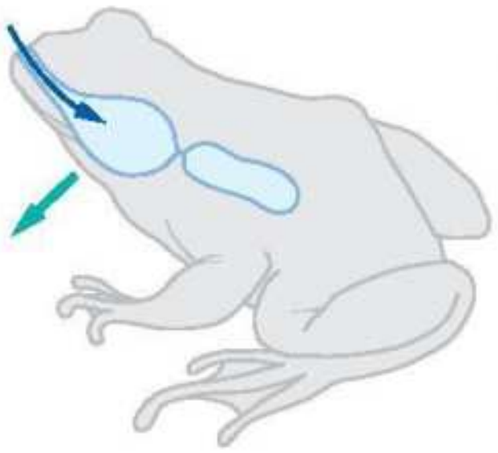
Larwy płazów prowadzą wymianę gazową za pośrednictwem **skrzeli zewnętrznych** lub **wewnętrznych**. Pierwsze z wymienionych występują u larw płazów ogoniastych i u bardzo młodych larw płazów bezogonowych. Znajdują się tuż za głową i mają postać pierzastych wyrostków. U starszych larw płazów bezogonowych skrzela zewnętrzne zostają zastąpione skrzelami wewnętrznymi, które są umieszczone w komorach skrzelowych mających jeden otwór odpływowy.



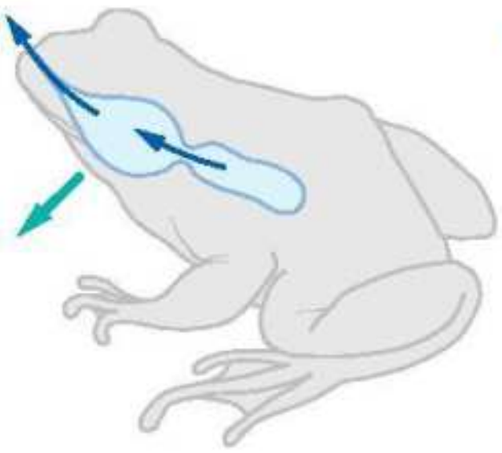
Budowa wewnętrzna płazów na przykładzie żaby.

Mechanizm wentylacji płuc u płazów

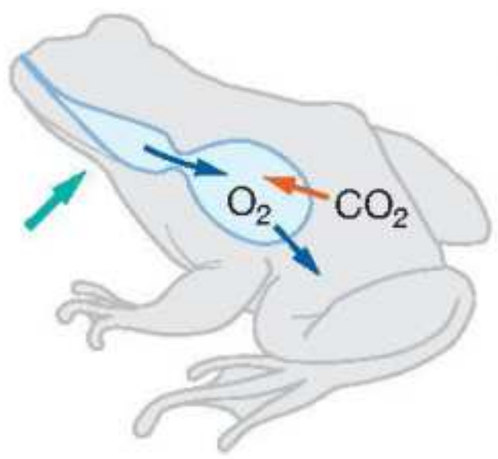
Płazy nie mają klatki piersiowej, dlatego wentylacja płuc odbywa się u nich dzięki ruchom dna jamy gębowej. Pełni ona funkcję pompy ssąco-tłoczącej.



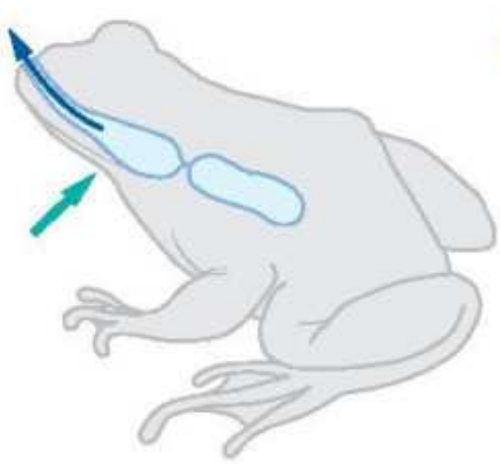
1 Kilkukrotne opuszczanie dna jamy gębowej przy zamkniętej krtani i otwartych nozdrzach (zasysanie świeżego powietrza).



2 Otwieranie krtani przy otwartych nozdrzach (zasysanie zużytego powietrza z płuc do jamy gębowej i usuwanie go na zewnątrz).



3 Podnoszenie dna jamy gębowej przy otwartej krtani i zamkniętych nozdrzach (przemieszczanie świeżego powietrza z jamy gębowej do płuc).

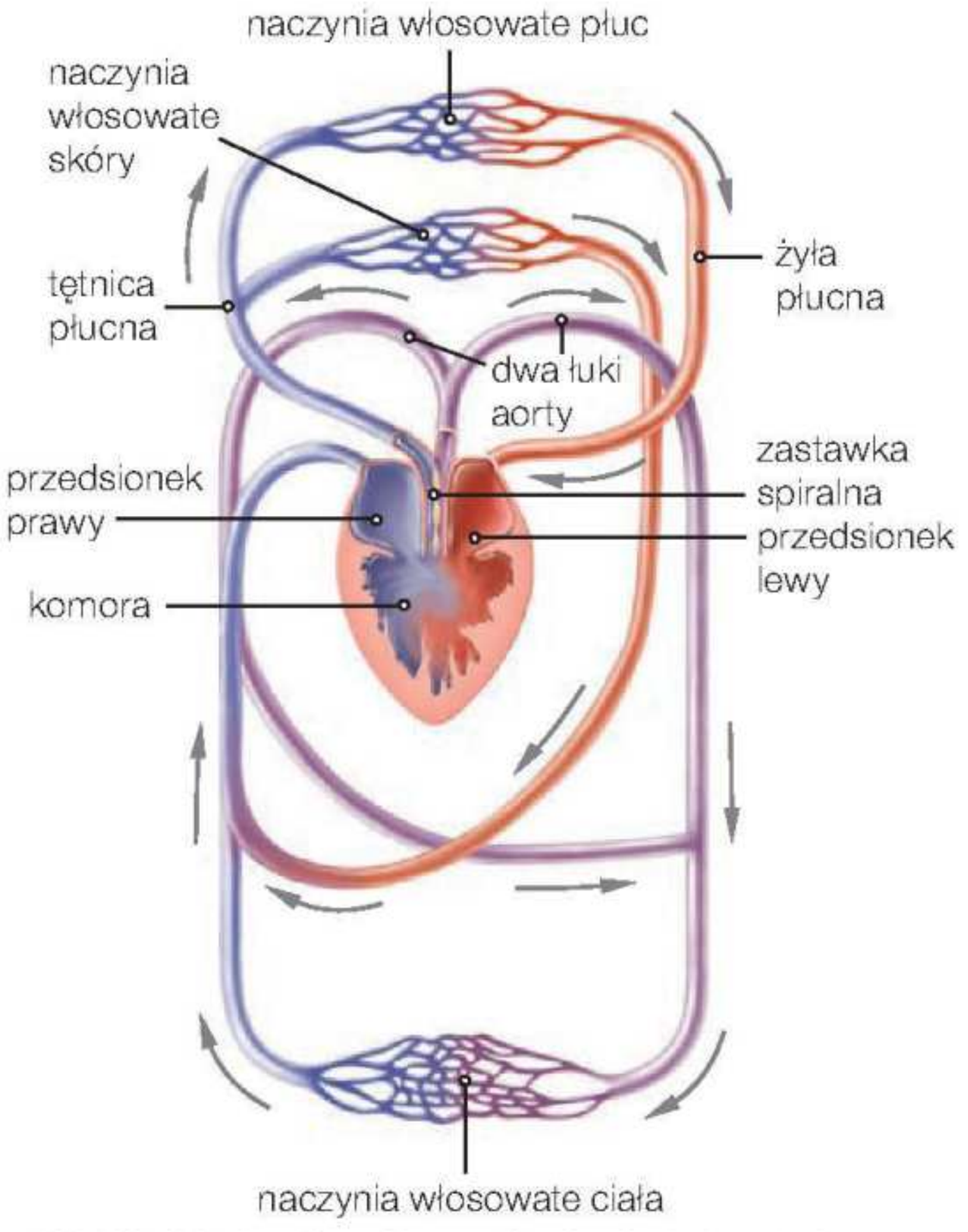


4 Zamykanie krtani i otwieranie nozdrzy (usuwanie zużytego powietrza na zewnątrz).

Układ krwionośny płazów

Płazy mają dwa obiegi krwi – płucny (mały), który zapewnia cyrkulację krwi między sercem a płucami i skórą, oraz obwodowy (duży), w którym krew krąży między sercem a resztą narządów ciała.

Serce płazów jest zbudowane z **dwóch przedsionków** oraz **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, po czym krew z lewego przedsionka wypełnia centralną część komory. Dzięki temu mieszanie się krwi w komorze zostaje częściowo ograniczone. Krew z komory przepływa następnie do stożka tętniczego, podzielonego podłużną **zastawką spiralną** na dwa kanały. Jednym kanałem krew

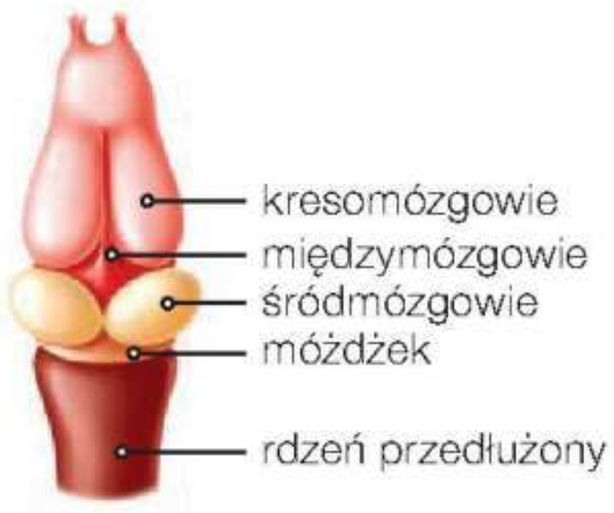


W układzie krwionośnym płazów funkcjonują dwa łuki aorty.

z centralnej części komory (utlenowana) wpływa do aorty, stanowiącej początek obiegu dużego, natomiast drugim kanałem krew z zagłębień komory (odtlenowana) wpływa do tętnicy płucnej, która prowadzi do płuc oraz skóry.

Układ nerwowy płazów

Mózgowie płazów, podobnie jak mózgowie ryb, składa się z **pięciu części** ułożonych liniowo. Występuje w nim silnie rozwinięte, wydłużone **kresomózgowie** zbudowane z dwóch **półkul mózgowych**. Słabym rozwojem – w związku z małą ruchliwością i nieskomplikowanym sposobem lokomocji – odznacza się natomiast **móżdżek**.



Budowa mózgowia płaza.

Narządy zmysłów

Większość narządów zmysłów płazów jest przystosowana do środowiska lądowego.

Oczy są zwykle dobrze wykształcone i mają zdolność akomodacji dzięki przemieszczaniu się soczewki względem siatkówki. Adaptacją do życia na lądzie są **powieki** – dolna, górna i migawkowa, tzw. **migotka**, które chronią gałki oczne przed urazami mechanicznymi i wysychaniem. Ponadto u płazów po raz pierwszy pojawiły się gruczoły nawilżające powierzchnię oka, m.in. gruczoły łzowe.

Ucho większości płazów składa się z trzech części. Ucho zewnętrzne stanowi błona bębenkowa rozpięta na kostnym pierścieniu. W uchu środkowym znajduje się kosteczka słuchowa – strzemiączko, która przenosi drgania z błony bębenkowej do ucha wewnętrznego, gdzie znajdują się receptory słuchu. Ucho środkowe jest połączone z gardzielą trąbką słuchową, która umożliwia wyrównanie ciśnienia działającego na błonę bębenkową i tym samym zabezpiecza ją przed uszkodzeniem.

Narząd węchu znajduje się w jamach węchowych połączonych nozdrzami ze środowiskiem zewnętrznym. W podniebieniu mieści 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.

W skórze płazów znajdują się liczne **receptory dotyku**. U niektórych gatunków żyjących całe życie w wodzie oraz u larw występuje również linia boczna.

Układ wydalniczy płazów

Narządami wydalniczymi płazów są **pranercza**. Mocz powstający w pranerczach spływa **moczowodami** do **pęcherza moczowego**, który jest uchyłkiem **kloaki**. W razie potrzeby z moczu zmagazynowanego w pęcherzu moczowym może być zwrotnie wchłaniana woda. Dorosłe płazy wydalają głównie **mocznik**, są więc **organizmami ureotelicznymi**.

Rozmnażanie się i rozwój płazów

Płazy są z reguły zwierzętami **rozdzielnopłciowymi**. U większości gatunków występuje **dymorfizm płciowy**, zwłaszcza w okresie godowym. Przejawia się on m.in. zmianą ubarwienia ciała (np. żaba moczarowa) lub wykształceniem grzebieni godowych (np. traszka grzebieniasta). U samców żab i ropuch na palcach kończyn przednich pojawiają się **modzele godowe**. Są to zrogowaciałe narośla skórne, które umożliwiają uścisk godowy, zwany ampleksusem. Uścisk ten ułatwia samicy złożenie jaj, a także ich skuteczne zapłodnienie plemnikami uwalnianymi jednocześnie przez samca. Jaja płazów, zwane **skrzekiem**, są otoczone galaretowatymi osłonkami, które wchłaniają wodę, zapewniając zarodkom odpowiednie warunki rozwoju.

Niektóre płazy osiągają dojrzałość płciową już w stadium larwalnym, co np. w warunkach niedostatku pokarmu dla osobników dorosłych przy jednoczesnej dostępności pokarmu dla larw pozwala na szybsze wydanie potomstwa, a tym samym domknięcie cyklu rozwojowego. Zjawisko to nosi nazwę **neotenii**.

Rozwój płazów

Większość płazów przechodzi **rozwój złożony**. Występuje w nim **larwa**, która żyje w wodzie i oddycha skrzelami. Przebieg rozwoju różni się u poszczególnych grup systematycznych.

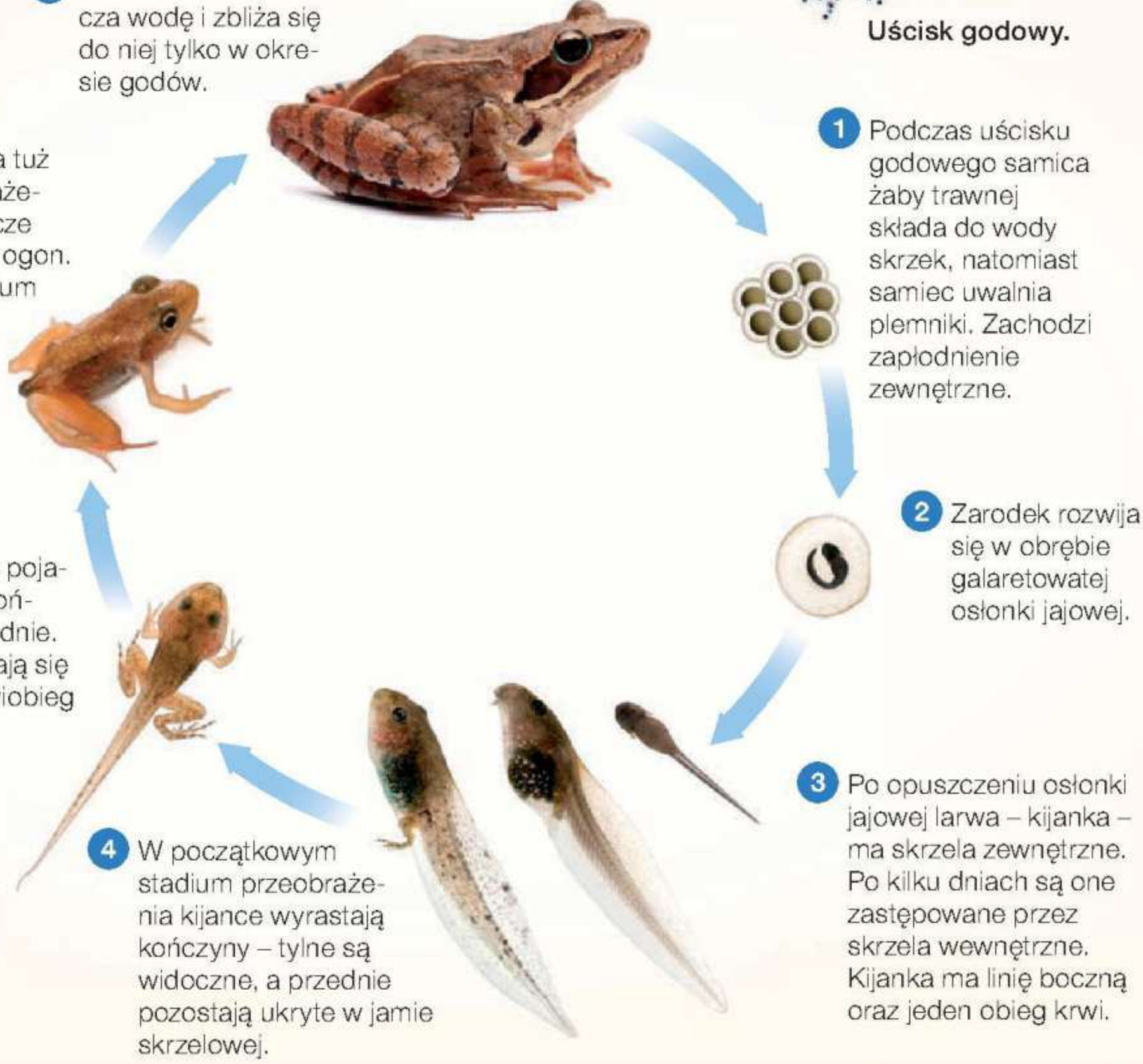
U większości **płazów bezogonowych** występuje **jajorodność** i **zapłodnienie zewnętrzne**. Jaja składane są najczęściej w postaci galaretowatych pakietów i sznurów, a ich liczba waha się od kilku do kilkunastu tysięcy. Z zapłodnionych jaj wylęgają się larwy zwane **kijankami**. Są one niepodobne do osobników dorosłych. Okres larwalny jest zakończony **przeobrażeniem**, w czasie którego zanikają skrzela wewnętrzne oraz płetwa ogonowa, a pojawiają się płuca oraz ubarwienie typowe dla form dorosłych.

U **płazów ogoniastych** zachodzi zwykle **zapłodnienie wewnętrzne**. Samice składają jaja w wodzie, najczęściej przylepiając je do

Rozwój płazów bezogonowych

Cykl rozwojowy większości płazów bezogonowych przebiega podobnie jak u żaby trawnej (*Rana temporaria*). Jej rozród odbywa się zazwyczaj w kwietniu, a przeobrażenie następuje pod koniec czerwca. Osobniki osiągają dojrzałość płciową ok. trzeciego roku życia.

Uścisk godowy.



Rozwój żaby trawnej.

liści. Z zapłodnionych jaj wylęgają się **larwy podobne do dorosłych osobników**, różnią się od nich jedynie obecnością skrzeli zewnętrznych (zanikać może również płetwa ogonowa). Larwy płazów ogoniastych, podobnie jak dorosłe osobniki, prowadzą drapieżny tryb życia.

U wszystkich **płazów beznogich** występuje **zapłodnienie wewnętrzne**, przy czym samce mają narząd kopulacyjny. Większość przedstawicieli tej grupy jest **żyworodna**. Ich jaja oraz larwy rozwijają się w jajowodach, a **potomstwo przypomina osobniki dorosłe**.

Przystosowania płazów do życia w dwóch środowiskach

Do cech, które pozwalają płazom funkcjonować w obu środowiskach należą:

- skóra pokryta śluzem, który zmniejsza opór wody podczas pływania oraz chroni organizm przed wysychaniem podczas pobytu na lądzie,
- lekka czaszka i długie kończyny ułatwiają pływanie oraz wykonywanie skoków na lądzie; pływanie wspomagają ponadto błony pławne między palcami,
- płuca usprawniają wymianę gazową na lądzie i pełnią funkcję narządu hydrostatycznego w wodzie,
- układ krwionośny zróżnicowany na dwa obiegi krwi usprawnia transport tlenu pobieranego przez skórę w obu środowiskach,
- wydalanie amoniaku lub mocznika w zależności od aktualnego środowiska życia pozwala na kontrolowanie gospodarki wodnej.

Oczy są chronione przez powieki i nawilżane wydzieliną gruczołów łzowych. Ich wypukłość umożliwia obserwację okolicy podczas pobytu w wodzie.

Skóra jest cienka i pokryta śluzem. Dzięki temu dyfundują przez nią gazy oddechowe – tlen i dwutlenek węgla.

Nozdrza zewnętrzne umożliwiają pobieranie powietrza, kiedy zwierzę jest częściowo zanurzone.

Błona bębenkowa odbiera dźwięki z powietrza, a strzemiączko przekazuje drgania do ucha wewnętrznego.

kosteczka słuchowa – strzemiączko

Palce zwiększają przyczepność płazów poruszających się po lądzie.

Długie kończyny umożliwiają skakanie oraz pływanie.

Rozwój płazów odbywa się w wodzie.

Znaczenie płazów w przyrodzie i dla człowieka

Regulacja liczebności innych zwierząt

Płazy są drapieżnikami ograniczającymi liczebność małych zwierząt, zwłaszcza tych aktywnych nocą i żyjących blisko wody (w tym owadów).

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

Jady niektórych płazów, m.in. ropuch, są badane pod kątem wykorzystania w medycynie oraz kosmetologii.

Ocena stanu środowiska

Traszki są bardzo wrażliwe na zanieczyszczenie wód, dlatego mogą pełnić funkcję bioindykatorów – ich obecność świadczy o wysokim stopniu czystości wody.

Polecenia kontrolne

1. Wskaż cechy płazów, które umożliwiają im życie na lądzie, a także te, które umożliwiają im życie w wodzie.
2. Opisz sposoby wymiany gazowej dorosłych płazów.
3. Wyjaśnij, dlaczego – mimo braku przegrody w komorze serca – do tkanek płazów dostarczana jest odpowiednia ilość tlenu.
4. Wyjaśnij, dlaczego zdecydowana większość płazów nie może przetrwać w środowisku suchym.
5. Przedstaw cykl rozwojowy płazów bezogonowych.

6.5. Gady – pierwsze owodniowce

Zwróć uwagę na:

- cechy charakterystyczne gadów,
- budowę i czynności życiowe gadów,
- przystosowania gadów do życia na lądzie,
- znaczenie gadów w przyrodzie i dla człowieka.

Gady (Reptilia) są pierwszą grupą kręgowców w pełni przystosowaną do środowiska lądowego. Jednak wiele gatunków, m.in. krokodyle oraz niektóre żółwie i węże, wtórnie zaadaptowały się do środowiska wodnego lub prowadzą wodno-lądowy tryb życia.

Gady to zwierzęta **zmiennocieplne**, zamieszkujące wszystkie kontynenty oprócz Antarktydy. Należą do organizmów ciepłolubnych, dlatego najwięcej gatunków zasiedla strefę międzyzwrotnikową. Gatunki, które żyją w klimacie umiarkowanym, osiągają niewielkie rozmiary, a w czasie chłodów zapadają w stan **hibernacji**.

Wśród współczesnych gadów wyróżnia się cztery rzędy: **żółwie, krokodyle, sfenodonty** (obecnie żyją tylko hatterie) oraz **łuskonośne**. Do rzędu łuskonośnych należą przede wszystkim węże i jaszczurki. Wymienione grupy gadów różnią się od siebie wieloma cechami budowy zewnętrznej oraz wewnętrznej, ale wykazują również liczne podobieństwa.

Pokrycie ciała gadów

Ciało gadów jest pokryte **grubą** i **suchą skórą**, w której występują jedynie nieliczne gruczoły zapachowe, służące np. do przywabiana innych osobników. **Silnie zrogowaciały naskórek** tworzy **łuski, tarczki** lub **płytki rogowe**. Jego wytworami są także **pazury** osłaniające ostatnie odcinki palców oraz **rogowe listwy**, które u żółwi zastępują zęby. Naskórek i jego wytwory chronią organizm przed utratą wody oraz urazami mechanicznymi. Co pewien czas martwy, zrogowaciały naskórek ulega złuszczeniu, a w jego miejscu pojawia się nowy. Proces ten nosi nazwę linienia. Naskórek może być zrzucany w całości w postaci **wylinki** (u węży) lub złuszczać się płatami (u jaszczurek). W skórze znajdują się również **komórki barwnikowe**, od których rozmieszczenia zależy ubarwienie gadów. Ubarwienie pełni funkcje ochronne – głównie maskujące lub odstraszające. U niektórych gatunków, np. u legwanów, podobną rolę odgrywają **wyrostki skórne**.

Wodnogama australijska (*Intellagama lesueurii*), zwana też agamą wodną, jest zaliczana do jaszczurek. Jej spiczaste łuski, podobnie jak u wszystkich gadów, mają pochodzenie naskórkowe.

Boa dusiciel (*Boa constrictor*) to wąż występujący w Ameryce Środkowej i Ameryce Południowej. Osobnik widoczny na zdjęciu został przedstawiony podczas zrzucania naskórka (linienia).

Układ szkieletowy gadów

W szkielecie gadów występuje **niewiele elementów chrzęstnych**. Buduje go głównie **tkanka kostna**, dlatego jest on cięższy niż szkielet ryb czy płazów.

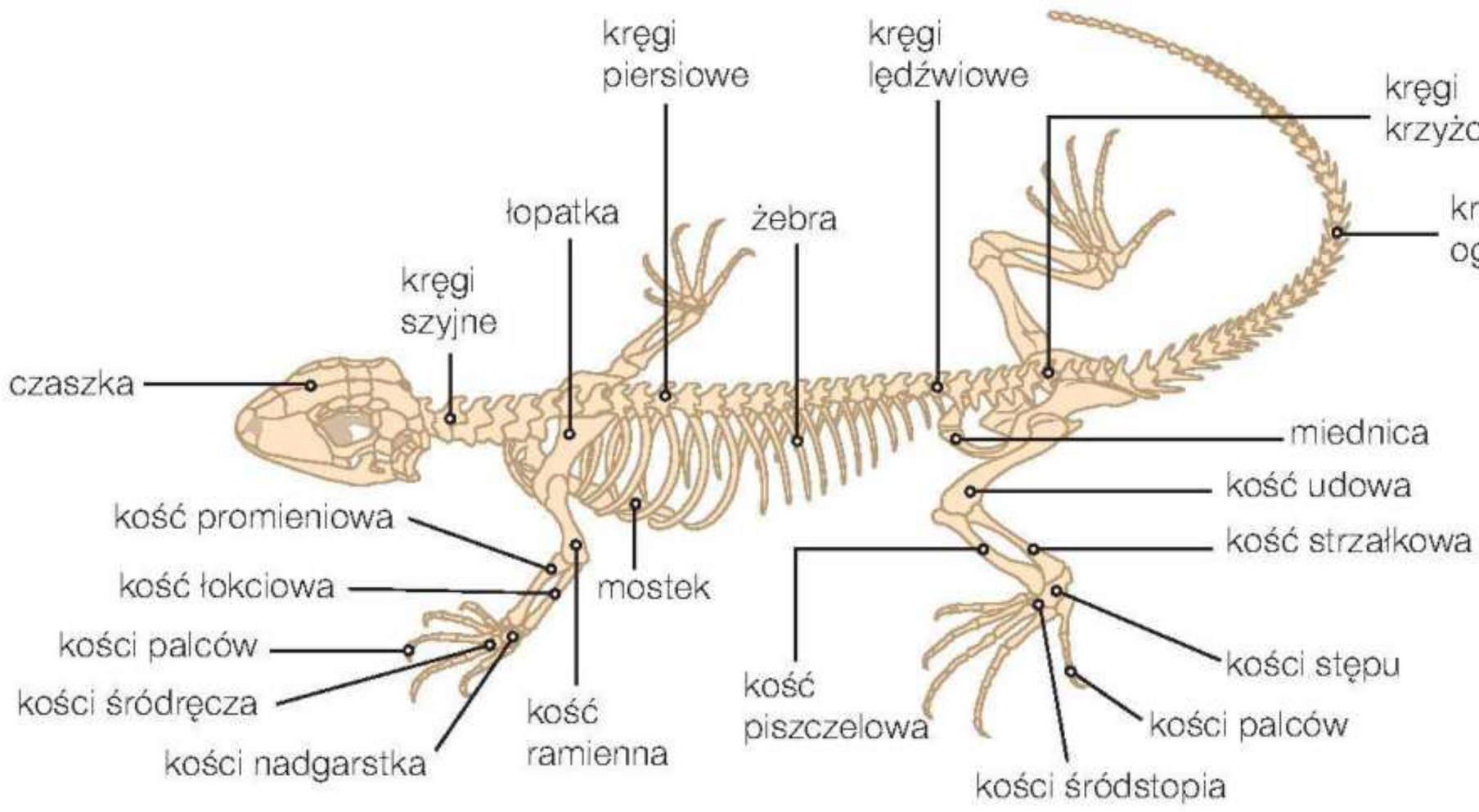
Szkielet osiowy

Czaszka gadów jest masywna i skostniała (chrząstka zachowuje się jedynie w okolicy węchowej i słuchowej). W czaszce występuje dobrze wyodrębniona **kość kwadratowa**, która powstaje w wyniku przekształceń trzeciej pary łuków skrzelowych. Kość ta łączy się stawowo z żuchwą, a u jaszczurek i węży tworzy również połączenie stawowe z kośćmi szczęk. Wydłużenie kości kwadratowej, obecność dodatkowych połączeń stawowych oraz brak zrośnięcia między prawą a lewą częścią żuchwy umożliwiają gadom połykanie ofiar o rozmiarach większych niż szerokość ich głowy.

Czaszka jest połączona z kręgosłupem za pośrednictwem **jednego kłykcia potylicznego**, co powoduje dużą ruchomość głowy. Ruchomość tę zwiększa ponadto budowa dwóch pierwszych kręgów szyjnych kręgosłupa. **Kręg pierwszy – dźwigacz** (łac. *atlas*) – łączy czaszkę z kręgosłupem i ma kształt pierścienia. **Kręg drugi – obrotnik** (łac. *axis*) – jest zaopatrzony w pionowy wyrostek, zwany wyrostkiem zębowym (zębem). Ruchy przeczące głowy są możliwe dzięki obracaniu się obrotnika wokół wyrostka zębowego. W odcinku piersiowym kręgosłupa do kręgów przylegają dobrze rozwinięte **żebra**. U jaszczurek pierwsze pięć par żeber łączy się po stronie brzusznej z **mostkiem**, tworząc w ten sposób szkielet **klatki piersiowej**. Klatka piersiowa chroni narządy wewnętrzne, a jej ruchy powodują wentylację płuc.

Szkielet kończyn

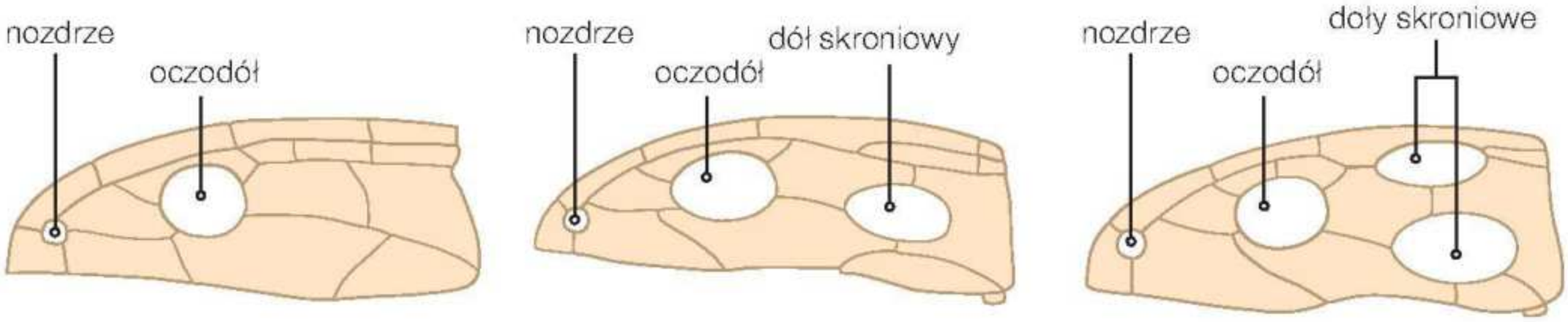
Ciało gadów, podobnie jak ciało płazów, jest zawieszone na **kończynach**, choć są one nieco bardziej podsunięte pod tułów. Takie ustawienie kończyn pozwala na dość szybkie poruszanie się. U gadów, w odróżnieniu od płazów, w obrębie kończyny przedniej występują osobno wykształcone (niezrośnięte) **dwie kości przedramienia**: kość łokciowa i kość promieniowa, a w obrębie kończyny tylnej osobno wykształcone **dwie kości podudzia**: kość piszczelowa i kość strzałkowa. Ponadto wszystkie kończyny gadów są pięciopalczaste. Węże i niektóre jaszczurki (np. padalec) nie mają kończyn.



Budowa szkieletu jaszczurki.

Typy czaszek u gadów

Czaszki poszczególnych grup gadów różnią się od siebie planem budowy.



Anapsydy mają czaszkę o najbardziej pierwotnym typie budowy – bez dołów skroniowych. Do tej grupy zalicza się m.in. żółwie.

Czaszka **synapsydów** miała jedną parę dołów skroniowych. Do tej grupy zalicza się wyłącznie gatunki kopalne, od których wywodzą się ssaki.

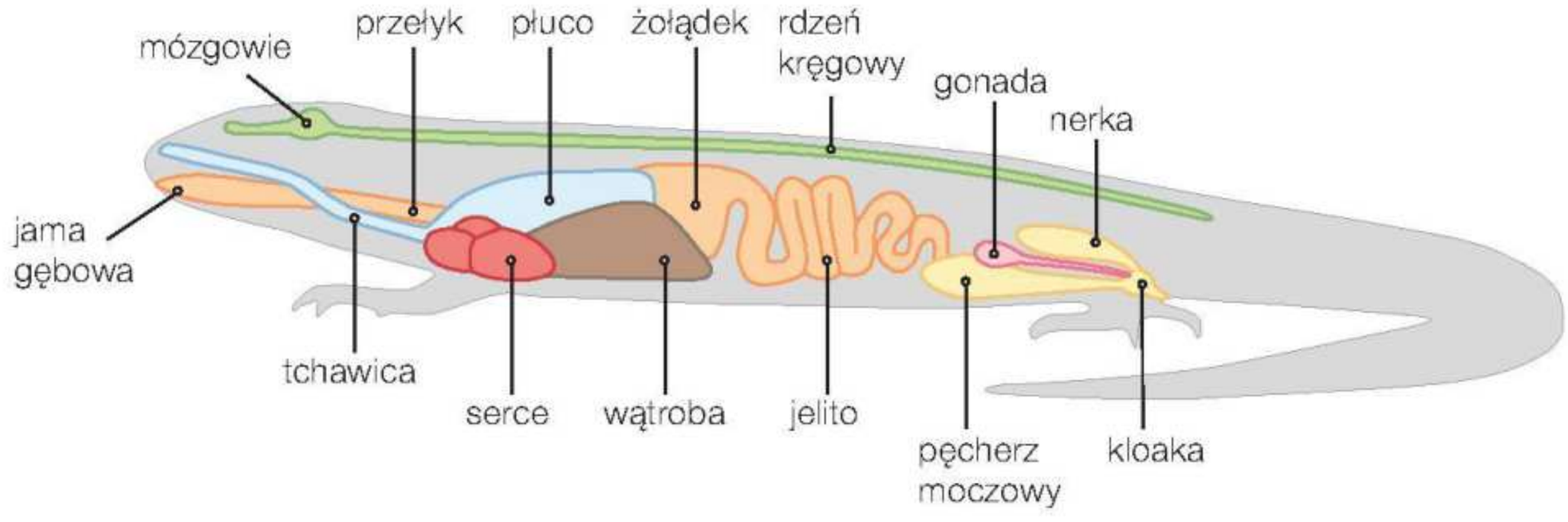
Diapsydy mają czaszkę z dwiema parami dołów skroniowych. Do tej grupy należą liczne gady kopalne oraz żyjące dziś krokodyle, sfenodonty i łuskonośne.

Układ pokarmowy gadów

Większość gadów to **drapieżniki** polujące na drobne bezkręgowce i kręgowce. Jednak niektóre z nich (głównie krokodyle) polują na znacznie większe od siebie ssaki, m.in. antylopy, bawoły i jelenie. Wśród gadów są też zwierzęta roślinożerne (np. większość żółwi lądowych).

W **jamie gębowej** gadów (z wyjątkiem żółwi) znajdują się **zęby** służące do przytrzymywania lub rozrywania pokarmu. U niektórych węży i jaszczurek wykształcają się **zęby jadowe**, zawierające ujścia gruczołów jadowych. Ich wydzielina – jad – wydostaje się podczas ugryzienia ofiary. Na dnie jamy gębowej znajduje się dobrze umięśniony **język**, który jest różnie wykształcony u różnych gatunków. Język węży i większości jaszczurek jest cienki, na końcu rozwidlony. Pełni m.in. funkcję **narządu dotyku**, ponieważ znajdują się na nim liczne mechanoreceptory. U kameleonów język jest długi, lepki i rozszerzony na końcu. Wyrzucany na znaczną odległość umożliwia chwytanie owadów.

Pokarm z jamy gębowej trafia do **przełyku**, a następnie do umięśnionego **żołądka**, z którym łączy się **jelito cienkie**. Żołądek większości gadów jest jednokomorowy, a u krokodyli dzieli się na dwie części. Przednia jest silnie umięśniona i zawiera połykane przez zwierzę kamienie, które rozcierają pokarm. W tylnej części, gruczołowej, odbywa się trawienie pokarmu. Do przedniego odcinka jelita cienkiego – **dwunastnicy** – uchodzą przewody wyprowadzające **trzustki** i **wątroby**. Na granicy jelita cienkiego i grubego znajduje się **jelito ślepe**. **Jelito grube** kończy się **kloaką**.



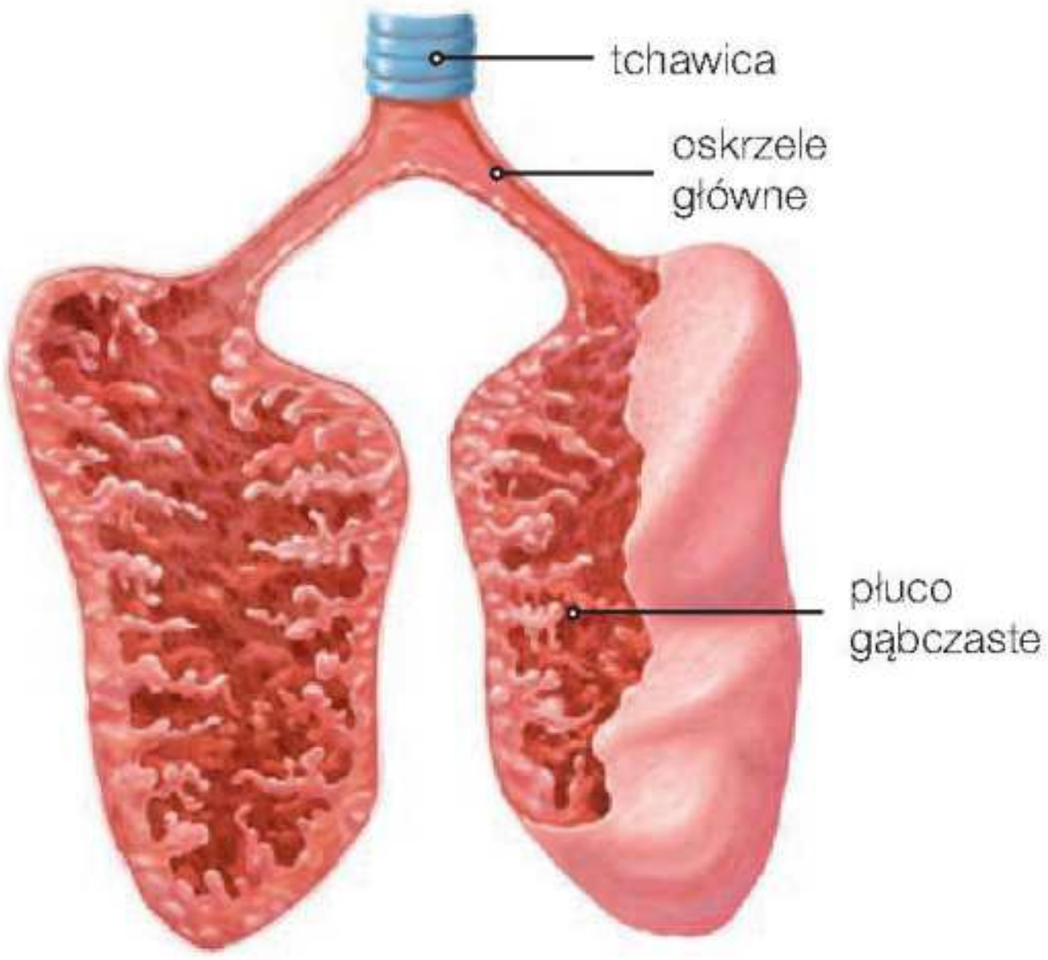
Budowa wewnętrzna gada na przykładzie jaszczurki.

Układ oddechowy gadów

Wymiana gazowa u gadów zachodzi za pomocą **płuc**. U większości grup są one narządami parzystymi, tylko u węży występuje jedno płuco (prawe), ponieważ drugie (lewe) uległo uwstecznieniu.

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**. Jedynie krokodyle mają dobrze rozwinięte tzw. **podniebienie wtórne**, które pozwala na wykonywanie wdechów i wydechów nawet wtedy, gdy jamę gębową wypełnia pokarm lub woda. Dalej powietrze trafia przez nozdrza wewnętrzne, jamę gębową oraz gardziel do krtani. Stamtąd przemieszcza się przez **tchawicę** do oskrzeli głównych, wnikających do płuc. **Płuca gadów mają budowę gąbczastą, a ich wentylacja opiera się na pracy mięśni klatki piersiowej**. Taki mechanizm wentylacji płuc jest znacznie bardziej efektywny niż mechanizm występujący u płazów. Podczas wdechów i wydechów klatka piersiowa zmienia swoją objętość, dzięki czemu zmienia się też objętość płuc. Z uwagi na obecność silnie zrogowaciałego naskórka i jego wytworów gady nie prowadzą wymiany gazowej przez skórę.

U niektórych gadów elementy układu oddechowego mogą służyć do wydawania dźwięków.



Budowa płuc gada.

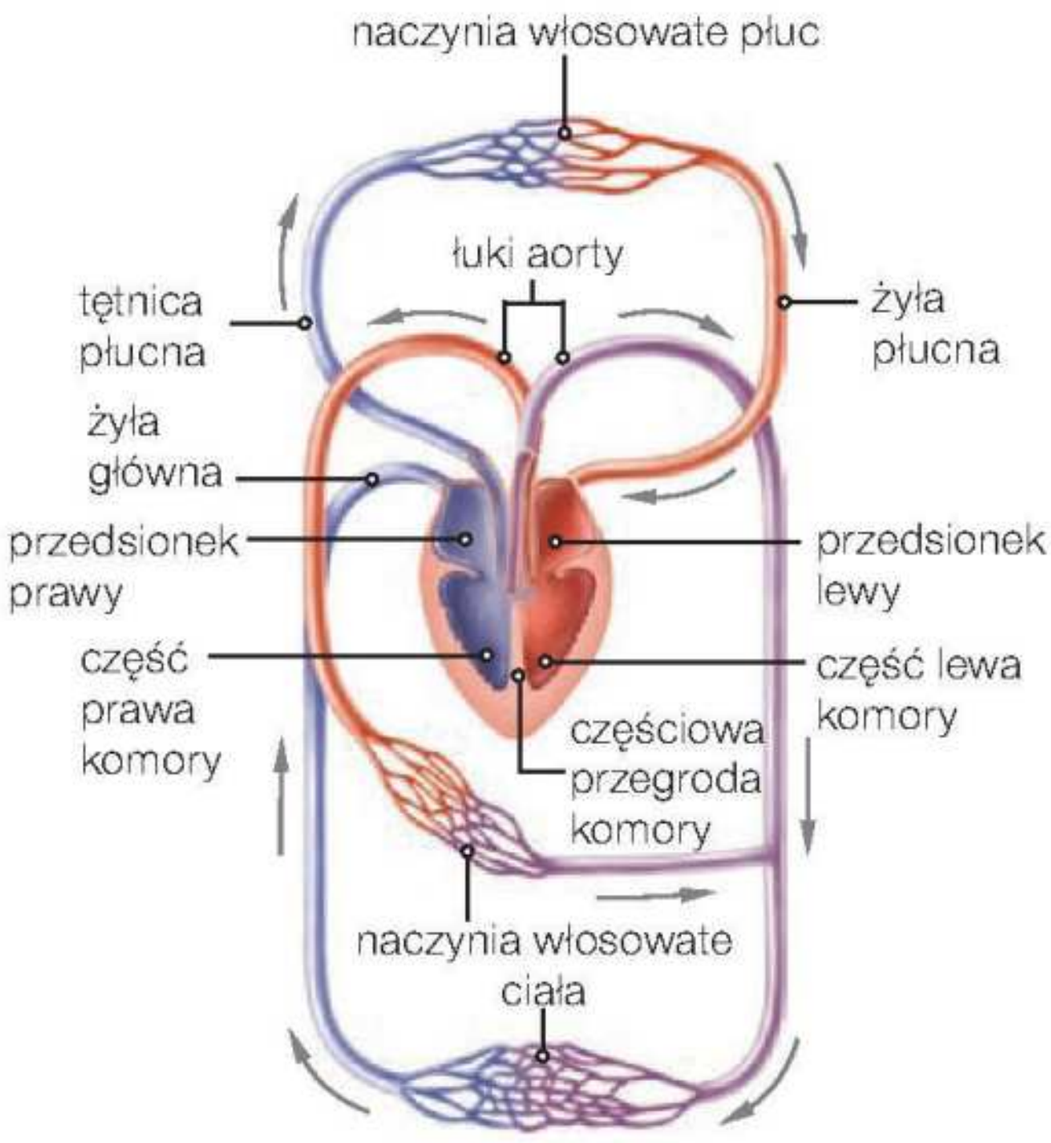
Układ krwionośny gadów

Układ krwionośny gadów, podobnie jak wszystkich kręgowców płucodysznych, składa się z **dwóch krwiobiegów** – płucnego (małego) i obwodowego (dużego). **Serce** gadów jest zbudowane z dwóch całkowicie oddzielonych od siebie **przedsionków** oraz **komory z częściową przegrodą**. Dzieli ona komorę na część prawą i lewą, co w znacznym stopniu zapobiega mieszaniu się krwi żylnej z krwią tętniczą, a tym samym zwiększa wydajność wymiany gazowej. W czasie skurczu komory przegroda dotyka jej górnej części, rozdzielając dwa rodzaje krwi. Spośród wszystkich gadów **jedynie krokodyle mają w komorze serca całkowitą przegrodę**.

Czy wiesz, że...

Węże morskie są gadami, które wtórnie przystosowały się do życia w środowisku wodnym. Potrafią spędzić pod wodą nawet do trzech godzin. Gdy nurkują, zamykają szczelnie nozdrza fałdami skórnymi – wówczas wymiana gazowa zachodzi u nich dodatkowo przez ukrwioną skórę między łuskami.

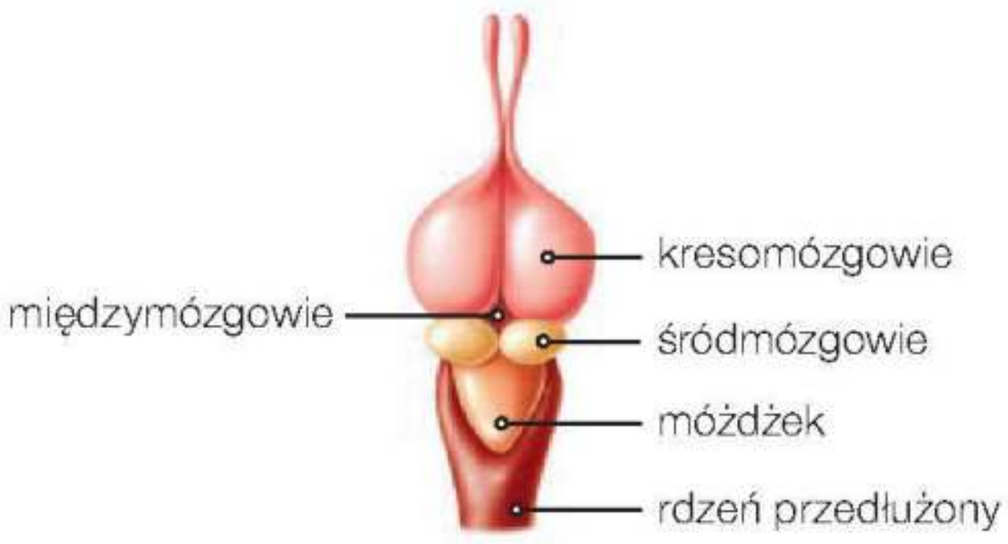
Z kolei żółwie mają nieruchomą klatkę piersiową. W oddychaniu pomaga im mięsień analogiczny do przepony u ssaków.



W układzie krwionośnym gadów funkcjonują dwa łuki aorty.

Układ nerwowy gadów

Charakterystyczną cechą mózgowia gadów są **dobrze rozwinięte kresomózgowie** oraz **móżdżek**. Kresomózgowie budują dwie wyraźnie od siebie oddzielone **półkule mózgowe**. Są one – inaczej niż u ryb i płazów – pokryte słabo wykształconą **korą mózgową**. Kresomózgowie całkowicie przykrywa sąsiadujące z nim **międzymózgowie**, dlatego części mózgowia nie są już ułożone liniowo jedna za drugą. Dzięki temu dochodzi do większej integracji między częściami mózgowia, co zwiększa koordynację czynności życiowych. **Móżdżek** jest zwykle niewielki, ale dobrze rozwinięty, a **rdzeń przedłużony**, w związku ze zwiększeniem ruchomości głowy i unoszeniem jej ponad poziom tułowia, tworzy wygięcie w kształcie litery S.



Budowa mózgowia gada.

Narządy zmysłów

Najlepiej rozwiniętym zmysłem większości gatunków gadów jest **wzrok**. Oczy tych zwierząt są zaopatrzone w trzy powieki: górną, dolną i migawkową, przy czym u węży są one 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 oglądania przedmiotów z różnych odległości niż oczy płazów.

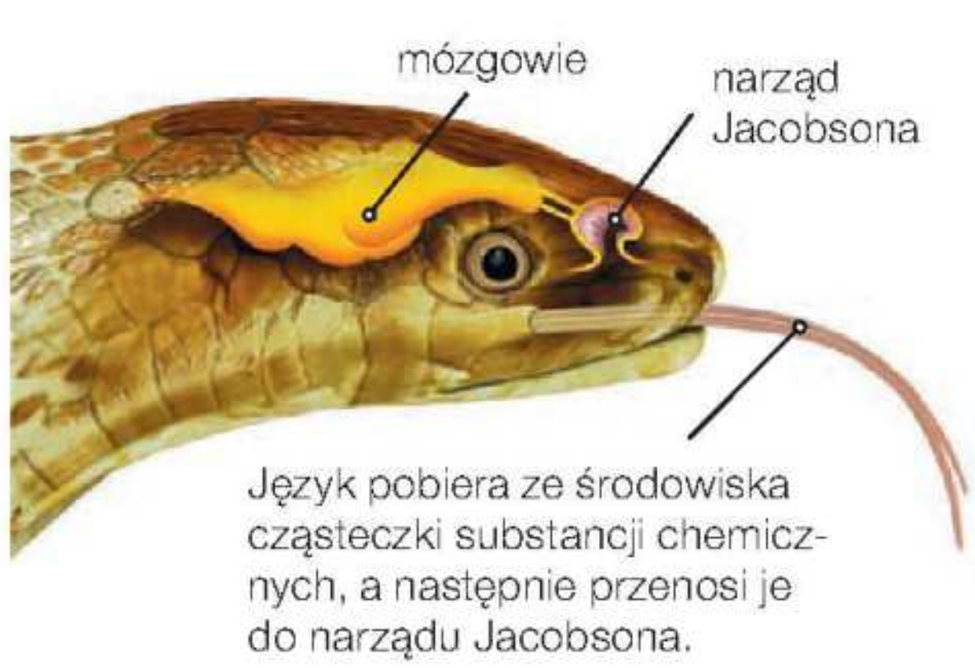
Narząd słuchu i równowagi większości gadów jest zbudowany z ucha wewnętrznego i ucha środkowego. W uchu środkowym znajduje się zwykle wydłużona, dwuczęściowa kosteczka słuchowa – strzemiączko (kolumienka). Ucho środkowe jest z reguły przykryte błoną bębenkową. Brak tej błony, występujący

Głowa węża z rodzaju grzechotnik (*Crotalus*) z widoczną jamą policzkową.

np. u węży, sprawia, że zwierzęta te są zupełnie głuche. Potrafią jednak doskonale wyczuwać drgania podłoża.

Specyficznym narządem zmysłu wielu węży, m.in. grzechotników, są **jamki policzkowe** zawierające **termoreceptory** wrażliwe na promieniowanie cieplne. Są one zlokalizowane w części policzkowej, po obu stronach głowy. Ich obecność pozwala na precyzyjną lokalizację ofiary, której temperatura ciała jest wyższa od temperatury otoczenia. Dzięki temu węże są w stanie podążać śladem ofiary i upolować ją.

Gady mają lepiej niż płazy rozwinięty **zmysł węchu**. Bodźce węchowe są odbierane przez **chemoreceptory** zlokalizowane w górnej części jamy nosowej. Oprócz tego u wielu gadów niezależnie od jamy nosowej funkcjonuje dobrze rozwinięty **narząd Jacobsona**, znajdujący się w jamie gębowej. Reaguje on na bodźce chemiczne i służy do oceny pokarmu oraz rozpoznawania otoczenia. Węże używają go podczas tropienia ofiar.



Narząd Jacobsona służy do odbierania bodźców zapachowych i smakowych z otoczenia.

Układ wydalniczy gadów

Narządami wydalniczymi gadów są **zanercza** (nerki ostateczne; obecne są w nich jedynie kłębuszki nerkowe, orzęsione lejki nie występują). Od nerek odchodzą **moczowody**, którymi mocz spływa do **kloaki**. U żółwi i jaszczurek występuje ponadto pęcherz moczowy.

Mocz większości gatunków gadów jest bardzo silnie zagęszczony i ma półpłynną konsystencję. U wielu gadów zawiera głównie **kwas moczowy** (zwierzęta urikoteliczne), który jest związkiem trudno rozpuszczalnym w wodzie i wytrąca się w formie kryształów. Jego synteza jest bardziej kosztowna energetycznie niż synteza amoniaku i mocznika, pozwala jednak na wydalanie wraz z moczem minimalnej ilości wody. Umożliwia to prowadzenie **oszczędnej gospodarki wodnej** i przetrwanie w bardzo suchych środowiskach, np. na pustyniach. Gady, które żyją w wodzie (np. krokodyle oraz niektóre gatunki węży i żółwi), wydalają rozcieńczony mocz o dużej zawartości amoniaku (zwierzęta amonioteliczne) lub mocznika (zwierzęta ureoteliczne).

Rozmnażanie się i rozwój gadów

Gady są zwierzętami **rozdzielnopłciowymi**. Wiele gatunków cechuje **dymorfizm płciowy**. U wszystkich przedstawicieli gromady występuje **zapłodnienie wewnętrzne**. Samce gadów (z wyjątkiem sfenodontów) mają służący do tego celu **narząd kopulacyjny**. Większość gatunków gadów, w tym wszystkie krokodyle, żółwie i sfenodonty, to zwierzęta **jajorodne**. Samice składają jaja zawsze na lądzie, w dobrze nasłonecznionych miejscach, czasem w specjalnie w tym celu wykopanych norach lub gniazdach. Osłony jaj są zwykle miękkie i skórzaste (np. jaja węży i większości jaszczurek), rzadziej twarde i wapienne, podobne do ptasich (np. jaja krokodyli). U gatunków **jajożyworodnych** (m.in. u jaszczurki żyworodnej czy żmii zygzakowatej) cały rozwój jaja zachodzi w jajowodach. Wówczas samice wygrzewają się na słońcu, aby zapewnić zarodkom odpowiednią temperaturę do rozwoju.

Gady to pierwsze kręgowce, których **rozwój odbywa się całkowicie w środowisku lądowym**. Jedną z najistotniejszych cech tych zwierząt jest **wykształcenie błon płodowych** – pęcherzyka żółtkowego, owodni, omoczni i kosmówki. Z tego powodu gady, ptaki oraz ssaki są zaliczane do **owodniowców**. Dzięki obecności błon płodowych rozwój zarodka jest całkowicie uniezależniony od środowiska wodnego.

U gadów nie występuje stadium larwalne – zwierzęta te przechodzą **rozwój prosty**. Oznacza to, że młody osobnik od razu po urodzeniu jest podobny do dorosłego. Młode gady po wykluciu stają się szybko samodzielne, dlatego nie wymagają opieki dorosłych osobników. Do wyjątków należą m.in. krokodyle, które opiekują się zarówno jajami, jak i młodymi.

Żyjący na pustyni **biczogon egipski** (*Uromastyx aegyptia*) prowadzi oszczędną gospodarkę wodną – jego gęsty mocz zawiera głównie kwas moczowy.

Samica pytona birmańskiego (*Python bivittatus*) chroni jaja splotami swojego ciała. W ten sposób zapewnia im także odpowiednią temperaturę do rozwoju.

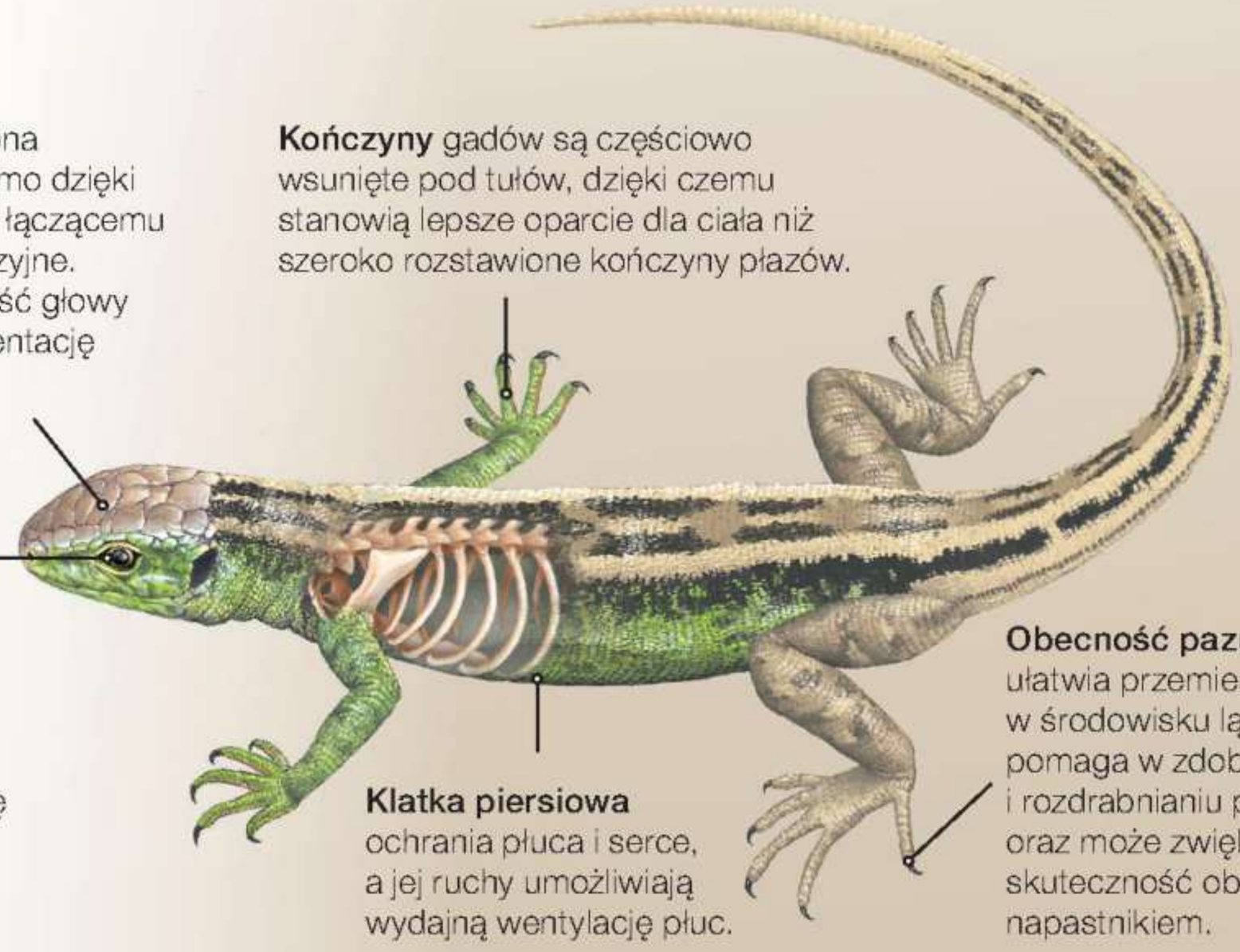
Przystosowania gadów do życia na lądzie

Życie w środowisku lądowym umożliwiają gadom następujące cechy:

- sucha skóra, pokryta wielowarstwowym naskórkiem i jego wytworami, ogranicza utratę wody,
- szkielet klatki piersiowej oraz mięśnie międzyżebrowe zwiększają efektywność wentylacji płuc,
- płuca o gąbczastej budowie zapewniają wydajną wymianę gazową,
- niepełna przegroda komory serca ogranicza mieszanie się krwi utlenowanej z odtlenowaną, co sprawia, że transport substancji odżywczych i gazów oddechowych jest wydajny,
- nerki ostateczne i wydalanie kwasu moczowego zapewniają oszczędną gospodarkę wodną.

Czaszka jest połączona z kręgosłupem ruchomo dzięki obrotowemu stawowi łączącemu pierwsze dwa kręgi szyjne. Zwiększa to ruchomość głowy i zapewnia lepszą orientację w środowisku.

Kończyny gadów są częściowo wsunięte pod tułów, dzięki czemu stanowią lepsze oparcie dla ciała niż szeroko rozstawione kończyny płazów.



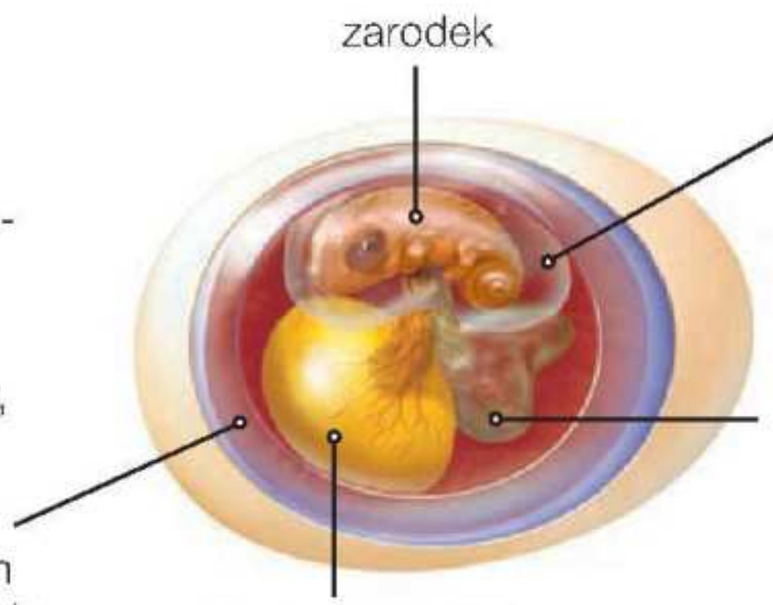
Oko gadów jest zaopatrzone w powieki. Ponadto dzięki złożonej akomodacji oka gady dokładnie widzą obiekty znajdujące się w różnej odległości.

Klatka piersiowa ochrania płuca i serce, a jej ruchy umożliwiają wydajną wentylację płuc.

Obecność pazurów ułatwia przemieszczanie się w środowisku lądowym, pomaga w zdobywaniu i rozdrabnianiu pokarmu oraz może zwiększać skuteczność obrony przed napastnikiem.

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.



Owodnia tworzy komorę, w której znajduje się płyn zapewniający zarodkowi środowisko wodne.

Omocznia ma zdolność zwrotnego wchłaniania wody, dzięki czemu woda może być wielokrotnie wykorzystana przez zarodek. W jamie omoczni gromadzą się produkty przemiany materii zarodka.

Kosmówka przylega do osłon jajowych i pośredniczy w wymianie gazowej zarodka, pobierając powietrze przenikające przez pory skorupki jaja.

Pęcherzyk żółtkowy jest wypełniony żółtkiem, z którego zarodek pobiera niezbędne do wzrostu i rozwoju substancje odżywcze.

Różnorodność gadów

Gady pojawiły się w późnym karbonie (ok. 320 mln lat temu). Pochodzą od wymarłych kopalnych płazów ogoniastych. Obecnie liczbę gatunków gadów szacuje się na ponad 10 tys. – w obrębie tej gromady można wyróżnić 4 rzędy: żółwie, sfenodonty, krokodyle i łuskonośne. Gady są grupą parafiletyczną, czyli nie obejmują wszystkich potomków wywodzących się od wspólnego przodka, m.in. ptaków.

Gady (Reptilia)

Żółwie (Testudines)

- ciało jest schowane w **kostnym pancerzu**, złożonym z **tarcz kostnych** pokrytych **rogowymi płytkami**
- czaszki nie mają dołów skroniowych (żółwie są **anapsydami**)
- **nie mają zębów** – ich ekwiwalentem są rogowe listwy znajdujące się w jamie gębowej

Sfenodonty (Sphenodontia)

- jedne z najstarszych ewolucyjnie gadów – hatterie – mają wiele prymitywnych cech budowy, np. oko ciemieniowe (światłoczuły narząd położony z tyłu głowy)
- są **żywymi skamieniałościami**, ponieważ nie mają blisko spokrewnionych żyjących przodków
- są **endemitami**, czyli występują tylko na jednym obszarze kuli ziemskiej (Nowa Zelandia)
- są **reliktami**, co oznacza, że w dawnych epokach geologicznych zasięg ich występowania był znacznie większy niż dzisiaj

Krokodyle (Crocodillia)

- prowadzą **wodno-lądowy tryb życia**, a więc szybko pływają i sprawnie nurkują, lecz na lądzie poruszają się mniej efektywnie
- jako jedyne gady mają całkowitą **przegrodę międzykomorową w sercu**
- wykształcają **podniebienie wtórne**

Łuskonośne (Squamata)

- niemal całą powierzchnię ich ciała pokrywają **łuski pochodzenia naskórkowego**
- zdecydowana większość prowadzi **lądowy tryb życia** (nieliczne gatunki przystosowały się wtórnie do środowiska wodnego)
- wyróżnia się wśród nich **jaszczurki** (Lacertilia) i **węże** (Serpentes)

Jaszczurka żyworodna (*Zootoca vivipara*) ma ciemniejsze ubarwienie niż jaszczurka zwinka. Jej ogon u nasady ma taką samą grubość jak tułów. Zamieszkuje wilgotne lasy.

Padalec zwyczajny (*Anguis fragilis*) to jaszczurka beznoga. Od węży odróżnia ją m.in. brak tarczek na brzuchu, głowa węższa od tułowia oraz ruchoma powieka.

Jaszczurka zwinka (*Lacerta agilis*) osiąga do 20 cm długości. Jej długi i zwinny ogon jest węższy od tułowia. Można ją spotkać na łąkach lub polanach leśnych.

Żmija zygzakowata (*Vipera berus*) to jedyny jadowity wąż, którego można spotkać w Polsce. Od innych węży odróżnia ją płaska, szeroka głowa o kształcie serca, pionowe źrenice i ciemny zygzak na grzebiecie (zdarzają się także osobniki jednolicie ubarwione).

Zaskroniec zwyczajny (*Natrix natrix*) 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 (*Emys orbicularis*) to jedyny żyjący w Polsce rodzimy gatunek żółwia. Mierzy on do 23 cm długości. Na lądzie jest powolny, za to doskonale pływa.

Gniewosz plamisty (*Coronella austriaca*) to niejadowity wąż występujący w Polsce. Żyje w suchych i nasłonecznionych miejscach. Jest klasyfikowany jako gatunek zagrożony wyginięciem. Zaniepokojony, głośno syczy i próbuje kąsać – stąd jego nazwa.

Wąż Eskulapa (*Zamenis longissimus*) jest gatunkiem poważnie zagrożonym wyginięciem na terenie Polski. Obecnie występuje jedynie w Bieszczadach, gdzie podejmuje się różne formy jego ochrony (m.in. założono rezerwat Krywe).

Gady jako zwierzęta zmiennocieplne

Gady, podobnie jak kręgłouste, ryby i płazy, należą do zwierząt ektotermicznych i zmiennocieplnych – oznacza to, że temperatura ich ciała w dużej mierze zależy od temperatury otoczenia. Ze względu na zależność tempa procesów metabolicznych i fizjologicznych od temperatury środowiska organizmy te wykształciły pewne mechanizmy termoregulacyjne.

Hibernacja

Żmija zygzakowata (*Vipera berus*) przed nadejściem zimy poszukuje kryjówek, w których przechodzi w stan hibernacji. Stan ten polega na obniżeniu temperatury ciała (niewiele ponad wartość temperatury środowiska) oraz wyraźnym zmniejszeniu natężenia procesów metabolicznych i fizjologicznych.

Estywacja

Pustynne, północnoamerykańskie **żółwie z rodzaju *Gopherus***, podobnie jak wiele innych gadów środowisk suchych, mogą zapadać w stan estywacji, czyli tzw. sen letni, spowodowany brakiem pokarmu i wody.

Pochłanianie ciepła przez powłoki ciała

Agama kaukaska (*Paralaudakia caucasiana*) podczas wygrzewania się na słońcu pochłania kolejne dawki ciepła, dzięki czemu rośnie temperatura jej ciała i wzrasta natężenie procesów metabolicznych.

Żararaka rogata (*Bothriechis schlegelii*) po obfitym posiłku szuka cieplejszego miejsca do spoczynku, by szybciej strawić pobrany pokarm – w wyższej temperaturze wydajność reakcji rozkładu składników pokarmowych jest większa.

Oddawanie nadmiaru ciepła przez powłoki ciała

Grzechotnik diamentowy (*Crotalus adamanteus*) skrywa się pod trudno dostępnymi dla światła półkami skalnymi – obniża w ten sposób temperaturę ciała. Nadmiar ciepła wypromieniowuje przez powłoki ciała, a także oddaje na drodze przewodzenia do podłoża, na którym się znajduje.

Znaczenie gadów w przyrodzie i dla człowieka

Składnik sieci troficznych

Gady regulują liczebność zwierząt, głównie gryzoni (np. węże) i owadów (np. jaszczurki), a także większych zwierząt (np. krokodyle).

Źródło pokarmu

Jaja, młode osobniki oraz niewielkie gatunki gadów stanowią ważny składnik pożywienia innych zwierząt. Ludzie spożywają mięso oraz jaja węży, krokodyli czy żółwi.

Produkcja galanterii skórzanej

Skóry węży i krokodyli służą jako surowiec do wyrobu galanterii skórzanej (m.in. torebek, portfeli i butów), co zwiększa intensywność polowań na te gatunki i stwarza zagrożenie dla liczebności ich populacji.

Zagrożenie dla zdrowia człowieka

Niektóre jadowite gatunki stanowią zagrożenie dla życia i zdrowia człowieka. Jad węży służy m.in. do produkcji surowic, które są podawane w przypadku ukąszeń, chroniąc przed ich śmiertelnymi skutkami.

Polecenia kontrolne

1. Wymień cechy gadów będące przystosowaniem do życia na lądzie.
2. Scharakteryzuj rozmieszczenie gadów na kuli ziemskiej.
3. Na podstawie różnych źródeł opisz, jak gady radzą sobie z niekorzystnymi dla nich warunkami środowiska występującymi w strefie klimatów umiarkowanych.
4. Wyjaśnij, jakie znaczenie w rozwoju gadów mają błony płodowe. W odpowiedzi odnieś się do funkcji każdej z nich.
5. Wyjaśnij, jakie znaczenie dla gadów miało powstanie klatki piersiowej.
6. Wyjaśnij, jakie jest znaczenie częściowej przegrody w komorze serca gadów.

6.6. Ptaki – latające zwierzęta pokryte piórami

Zwróć uwagę na:
- cechy charakterystyczne ptaków,
- budowę i czynności życiowe ptaków,
- anatomiczne i fizjologiczne przystosowania ptaków do lotu,
- znaczenie ptaków w przyrodzie i dla człowieka.

Ptaki (Aves) są **zwierzętami stałocieplnymi** – temperatura ich ciała jest niezależna od temperatury otoczenia i wynosi 38–44°C. Dzięki temu ptaki mogą żyć we wszystkich strefach klimatycznych i praktycznie we wszystkich typach środowisk. Większość ptaków cechuje umiejętność **aktywnego lotu**.

Pokrycie ciała ptaków

Skóra ptaków jest **cienka** i **pozbawiona gruczołów**. Wyjątkiem jest znajdujący się u nasady ogona **gruczoł kuprowy** – mają go prawie wszyscy przedstawiciele gromady. Gruczoł ten wytwarza wydzielinę, która natłuszcza pióra i zabezpiecza je przed zmoczeniem. Ptak uwalnia wydzielinę, naciskając gruczoł dziobem, a następnie (także za pomocą dzioba) rozprowadza ją po powierzchni **piór**.

Rodzaje i funkcje piór

Pióra to rogowe (zbudowane z keratyny) wytwory naskórka ptaków. Wyróżnia się dwie główne grupy piór:

- **pióra konturowe**, do których należą **lotki**, **sterówki** i **pióra pokrywowe**. Lotki oraz sterówki tworzą powierzchnie lotne, z kolei pióra pokrywowe okrywają większą część ciała ptaka, przez co zmniejszają opór powietrza podczas lotu;
- **pióra puchowe**, które znajdują się zazwyczaj pod piórami konturowymi. Wraz z piórami pokrywowymi stanowią warstwę termoizolacyjną, przy czym jej grubość może się zwiększać w wyniku stroszenia, czyli unoszenia piór w taki sposób, że powstaje między nimi warstwa powietrza.

Pióra są okresowo wymieniane w procesie zwanym **pierzeniem**. Lotki oraz sterówki są u większości gatunków wymieniane stopniowo i w określonej kolejności, dzięki czemu ptaki nie tracą zdolności lotu. Etapami, ze względu na funkcję termoizolacyjną, są też wymieniane pióra puchowe. Barwa upierzenia ptaków może ulegać zmianom wraz ze zmianami pór roku. Zimą niektóre gatunki zmieniają upierzenie na białe, aby zmniejszyć ryzyko wykrycia przez drapieżniki. Barwa piór zmienia się często w okresie godowym. Samice są zazwyczaj mniej kolorowe od samców, dzięki czemu nie są widoczne podczas wysiadywania jaj w gnieździe. Najczęściej to samice wybierają partnera do rozrodu. Bogate ubarwienie samca jest dla nich gwarancją sukcesu rozrodczego, ponieważ świadczy o gotowości osobnika do rozrodu.

Inne wytwory naskórka

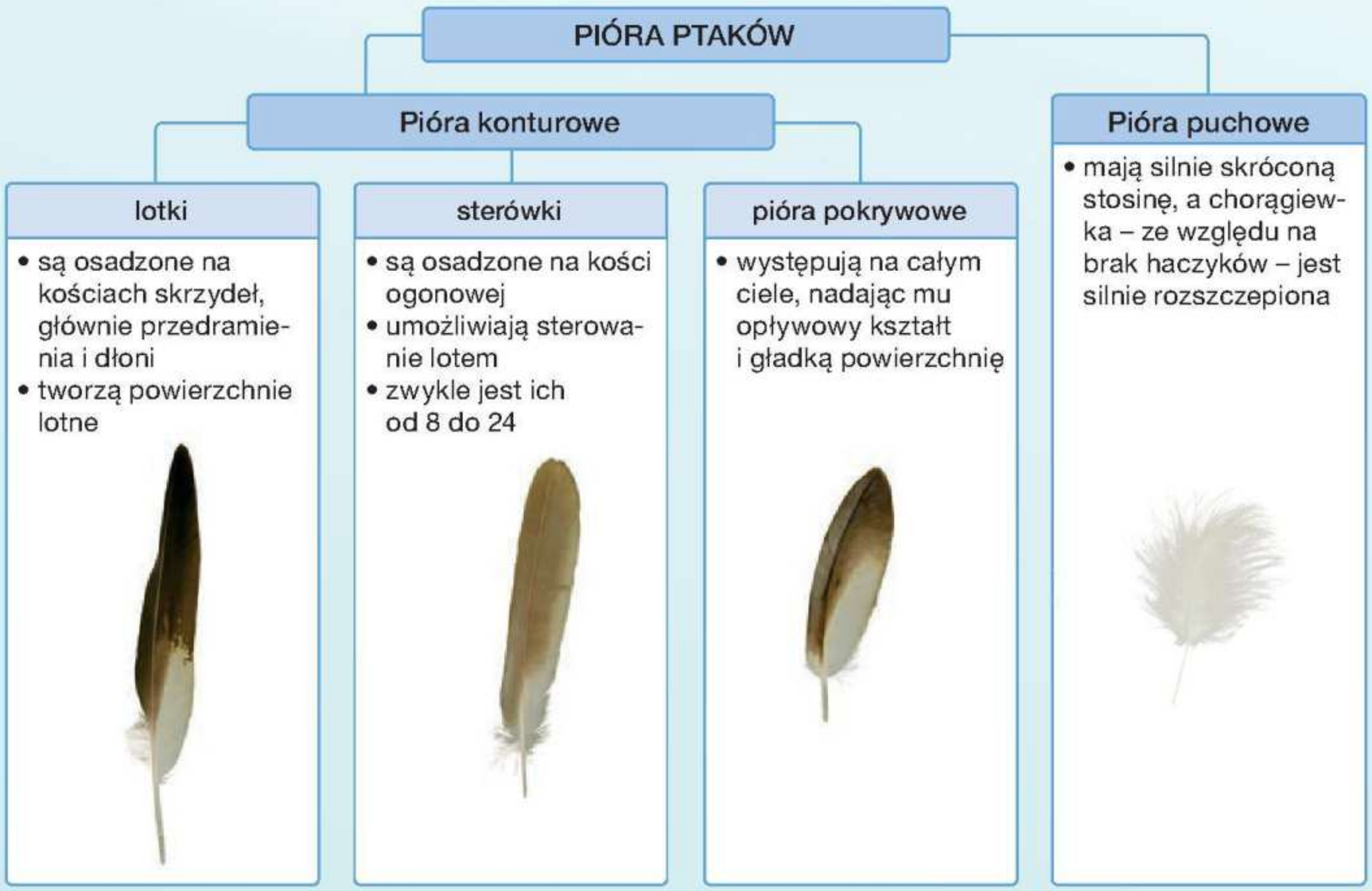
Wytworami naskórka ptaków są również rogowe **łuski**, **pazury** i **dziób**. Łuski pokrywają palce i **skoki** (wydłużone odcinki kończyn tylnych, powstałe przez zrośnięcie się niektórych kości stępu i śródstopia) większości ptaków. Natomiast pazury stanowią zakończenia palców kończyn tylnych u wszystkich ptaków. **Dziób** służy przede wszystkim do zdobywania pożywienia, ale może również pełnić inne funkcje, m.in. umożliwia obronę oraz pielęgnację piór.

Na kończynach tylnych u ptaków obecne są łuski i pazury – rogowe wytwory naskórka, które m.in. chronią poszczególne elementy kończyny.

Budowa i rodzaje piór

Pióra ptaków składają się z osi, w której wyróżniamy dutkę i stosinę, oraz chorągiewki, złożonej z promieni i promyków z haczykami lub listewkami.

Budowa pióra ptaka na przykładzie lotki.



Układ szkieletowy ptaków

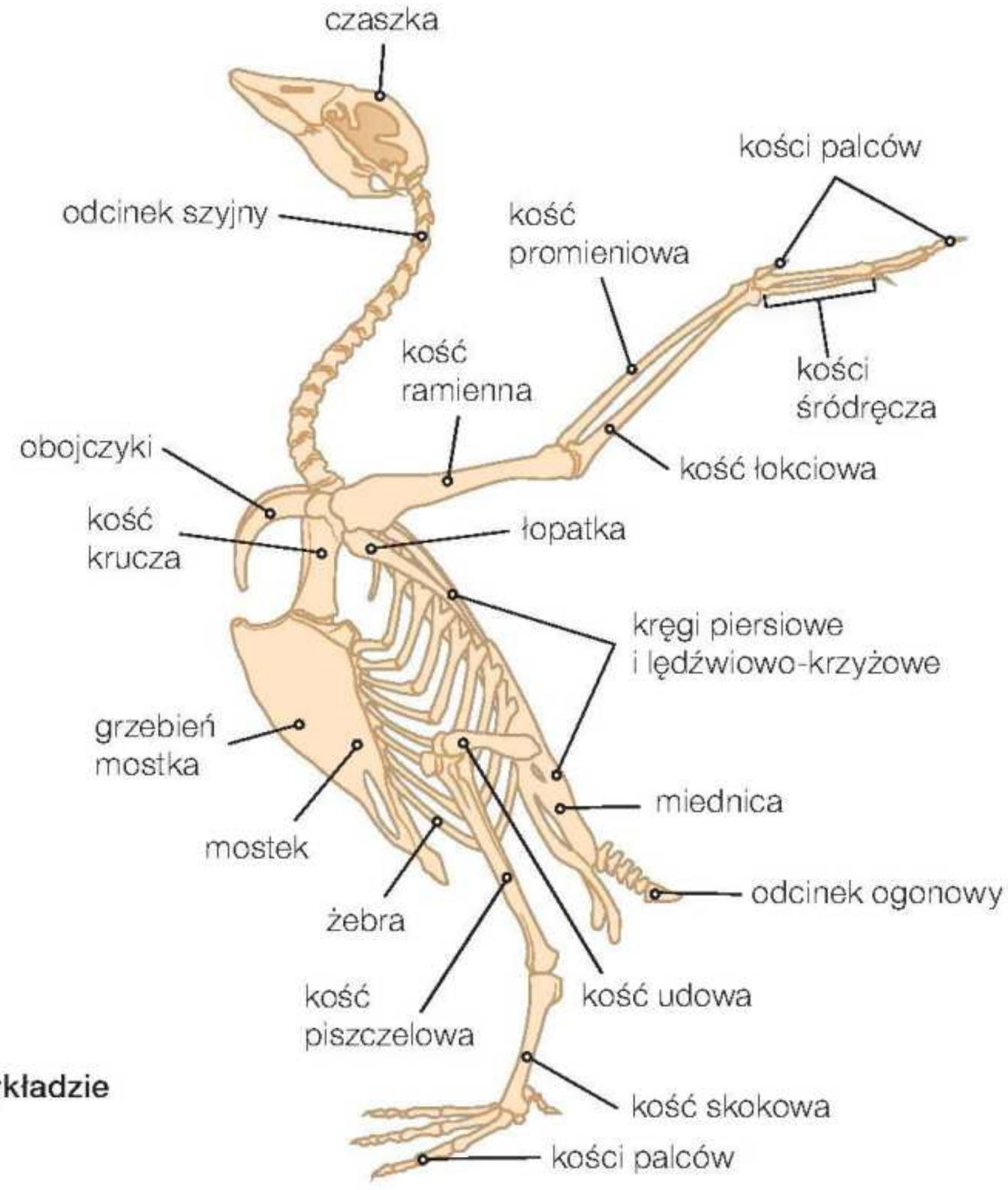
Szkielet ptaków jest lekki, zwarty i silnie skostniały – niemal całkowicie pozbawiony elementów chrzęstnych.

Szkielet osiowy

W **czaszce** ptaków kości mózgoczaszki są ze sobą zrośnięte. Z kolei kości trzewioczaszki – szczęki oraz żuchwa – nie mają zębów i tworzą **szkielet dzioba**. Dzięki temu głowa jest lekka i ma aerodynamiczny kształt. Czaszka jest połączona z kręgosłupem za pomocą **jednego kłykcia potylicznego**, co umożliwia dużą ruchomość głowy. W kręgosłupie ptaków wyróżnia się cztery odcinki: szyjny, piersiowy, lędźwiowo-krzyżowy i ogonowy. Najdłuższym i najbardziej ruchliwym odcinkiem jest odcinek szyjny, którego dwa pierwsze kręgi to dźwigacz i obrotnik. W odcinku piersiowym większość kręgów zrasta się w jedną kość, tworząc wraz z żebrami oraz mostkiem **szkielet klatki piersiowej**. Żebra ptaków są zbudowane z dwóch części: kręgowej i mostkowej, połączonych w sposób ruchomy między sobą oraz z mostkiem. Dzięki temu klatka piersiowa może zmieniać objętość. Mostek jest zwykle duży i płaski, a jego charakterystyczną strukturą jest **grzebień kostny**, do którego są przymocowane mięśnie poruszające skrzydłami. Grzebień jest szczególnie rozbudowany u ptaków latających oraz pingwinów. Kręgi odcinka lędźwiowo-krzyżowego są ze sobą zrośnięte, co zwiększa sztywność ciała. W odcinku ogonowym ostatnie cztery kręgi tworzą jedną kość – **pygostyl**.

Szkielet obręczy i kończyn

Obręcz barkowa składa się z parzystych łopatek, obojczyków (zrośniętych w widełki) i kości kruczych, które łączą obręcz z mostkiem. Z kolei **miednicę** tworzą kości biodrowe, które zrastają się z lędźwiowo-krzyżowym odcinkiem kręgosłupa, tworząc silną podporę ciała, oraz kości kulszowe i łonowe. Miednica ptaków jest od spodu otwarta – kości łonowe nie są ze sobą zrośnięte, co jest przystosowaniem do znoszenia dużych jaj otoczonych twardą skorupą.



Szkielet ptaka na przykładzie gęgawy.

Szkielet **kończyny przedniej** składa się z masywnej kości ramiennej, dwóch kości przedramienia (łokciowej i promieniowej) oraz kości dłoni (nadgarstka, śródręcza i palców). Ptaki mają tylko trzy palce w obrębie kończyny przedniej. Szkielet **kończyny tylnej** tworzą: kość udowa, kości podudzia (większa kość piszczelowa i mniejsza kość strzałkowa) oraz kości stopy. Szkielet stopy składa się z wydłużonej kości skokowej oraz czterech palców zaopatrzonych w pazury. Trzy palce są zwykle skierowane do przodu, a jeden – do tyłu.

U większości ptaków występują **kości pneumatyczne**, m.in. obojczyki, kości ramienne, mostek i kości krucze, w których obecne są jamy wypełnione powietrzem. Taka modyfikacja budowy pozwala na zmniejszenie ciężaru ciała.

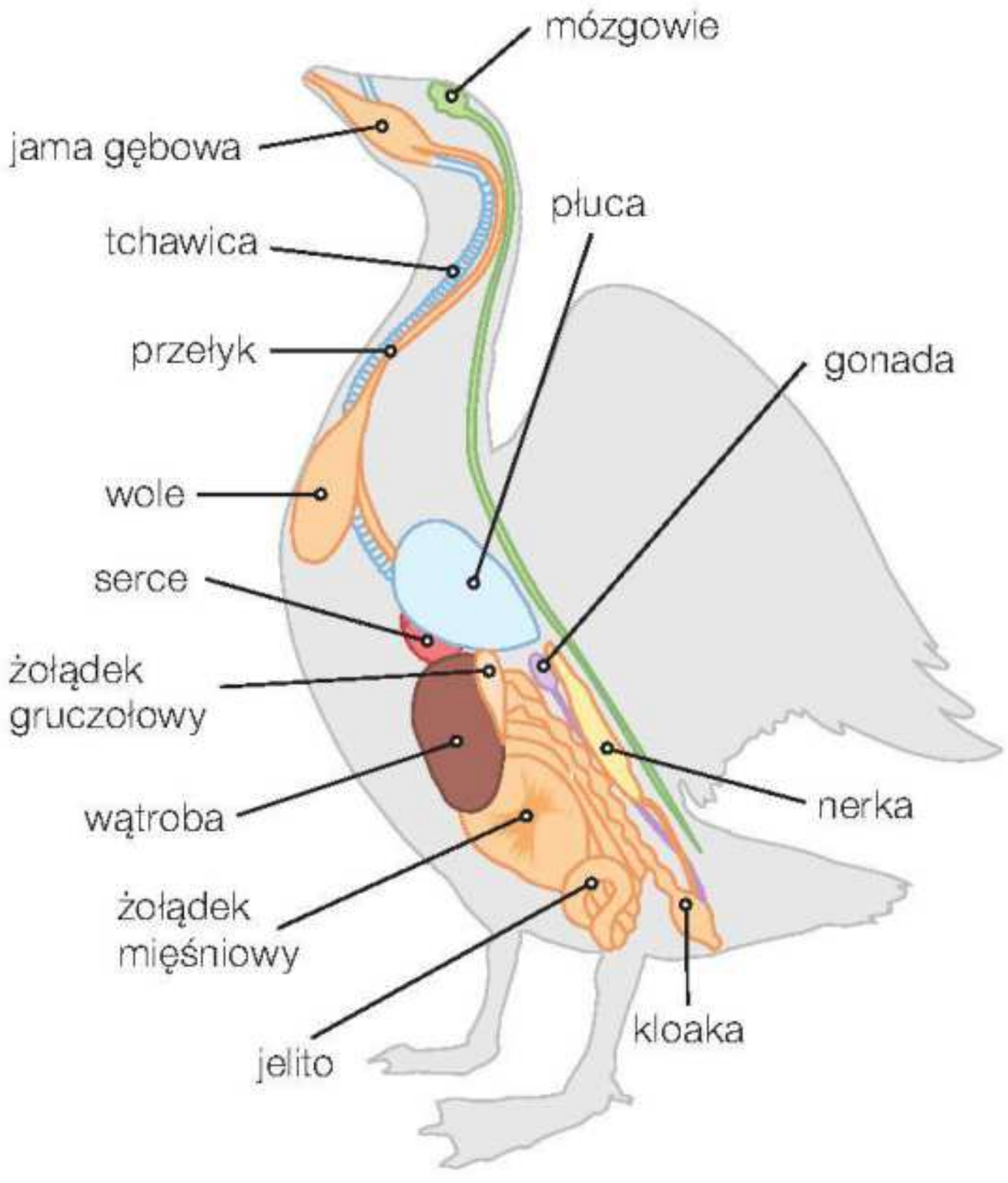
Układ pokarmowy ptaków

Układ pokarmowy ptaków rozpoczyna się **jamą gębową** do której uchodzą zwykle 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 przełyk w górnej części rozszerza się w **wole**. Służy ono do przechowywania pożywienia (np. u pelikana), rozmiękczania pokarmu (np. u kur) lub wytwarzania wydzieliny służącej do karmienia piskląt (np. u gołębi).

Żołądek większości ptaków dzieli się na przedżołądek, zwany **żołądkiem gruczołowym**, i żołądek, zwany **żołądkiem mięśniowym**. W żołądku gruczołowym odbywa się enzymatyczny rozkład pokarmu. Enzymy soku żołądkowego są bardzo skuteczne, jednak nie na tyle, aby rozłożyć zęby, kości lub twory rogowe czy chitynowe. Dlatego niektóre ptaki drapieżne, np. sowy, usuwają niestrawione części ofiar w postaci tzw. **wypluwek** przez otwór gębowy. Mechaniczna obróbka pokarmu w żołądku mięśniowym zachodzi dzięki silnym skurczom mięśni budujących jego ściany, a także połkniętym przez ptaka kamykom (gastrolitom). Kamyki zwiększają ciężar ciała,

Wiele gatunków należących do rodziny kolibrowatych (*Trochilidae*) ma wyjątkowo długi i wąski język, który umożliwia pobieranie nektaru z dna wysokich kielichów kwiatów.

są jednak niezbędne – rozcierają pokarm, który nie został mechanicznie rozdrobniony w jamie gębowej. Z żołądka pokarm dostaje się do **jelita** (dłuższego u ptaków roślinożernych, krótszego u mięsożernych) zakończonego kloaką. W układzie pokarmowym części ptaków (np. strusi) występuje obszerne **jelito ślepe** zawierające mikroorganizmy, które rozkładają zawartą w pokarmie celulozę.



Budowa wewnętrzna ptaka na przykładzie gęgawy.

Przystosowania ptaków do różnych sposobów odżywiania się

W toku ewolucji ptaki wykształciły szereg przystosowań umożliwiających odżywianie się różnymi rodzajami pokarmu.

Ptaki drapieżne

Należy do nich m.in. **uszatka błotna** (*Asio flammeus*), która 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).

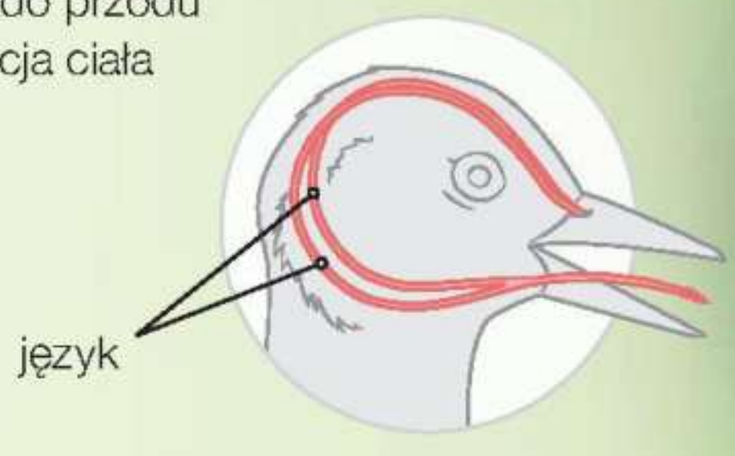
Wypluwka sowy.

Ptaki owadożerne

Ptakiem owadożernym jest np. **dzięcioł duży** (*Dendrocopos major*), który wyspecjalizował się w wyciąganiu owadów spod kory drzew.

Przystosowania dzięcioła dużego do owadożerności:

- mocny, dłutowaty 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 (*Numenius arquata*) jest przykładem ptaka, który 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 (*Coccothraustes coccothraustes*) 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 szczęk – wywieranie nacisku na łupinę nasienną,
- modyfikacja budowy czaszki – umożliwienie przyczepu dużych mięśni szczękowych.

Ptaki odcedzające pokarm z wody

Krzyżówka (*Anas platyrhynchos*) to ptak, który 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

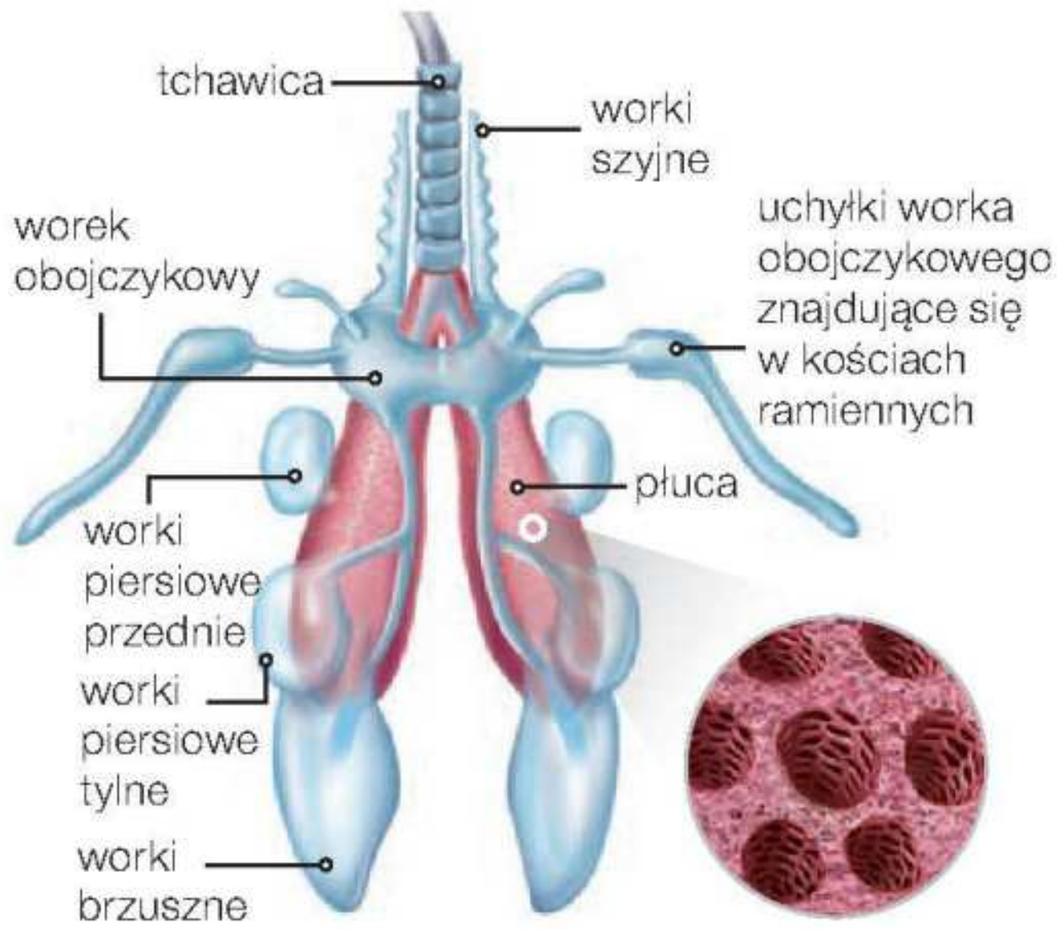
Należy do nich m.in. **kruk** (*Corvus corax*). Żywi się on głównie pokarmem zwierzęcym (w tym padliną i odpadkami ze śmietników), który niekiedy uzupełnia owocami.

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 – zapas w razie niedostatku,
- śledzenie watah wilków zimą – odżywianie się padliną.

Układ oddechowy ptaków

Układ oddechowy ptaków składa się z **dróg oddechowych**, rurkowatych **płuc** oraz **worków powietrznych**. Drogi oddechowe są wykształcone podobnie jak drogi oddechowe gadów. Różnią się od nich jedynie szczegółami budowy, np. **tchawica** ptaków jest znacznie dłuższa i szersza niż tchawica gadów. Jej górna część łączy się z **krtanią górną**, a w miejscu, w którym rozgałęzia się na dwa oskrzela główne, tworzy **krtań dolną**, pełniącą funkcję **narządu głosu**. Oskrzela główne wnikają do płuc, gdzie rozgałęziają się, tworząc system rurek przeplatających się z włosowatymi naczyniami krwionośnymi. Płuca ptaków są niewielkie i sztywne, przez co nie zmieniają objętości w czasie wentylacji. Wentylację płuc wspomagają cienkościenne **worki powietrzne**, które podczas wdechu napełniają się powietrzem, a podczas wydechu się opróżniają. Worki pełnią też inne ważne funkcje. Dzięki wielu wypustkom i uchyłkom wnikają do wnętrza kości pneumatycznych. Odgrywają również rolę amortyzującą, ponieważ przedostają się między niektóre narządy jamy brzusznej i mięśnie, tym samym chroniąc je przed urazami mechanicznymi. Ponadto woda, która paruje z powierzchni worków powietrznych, pozwala na chłodzenie organizmu – z każdym wydechem ptak usuwa z ciała pewną ilość pary wodnej.

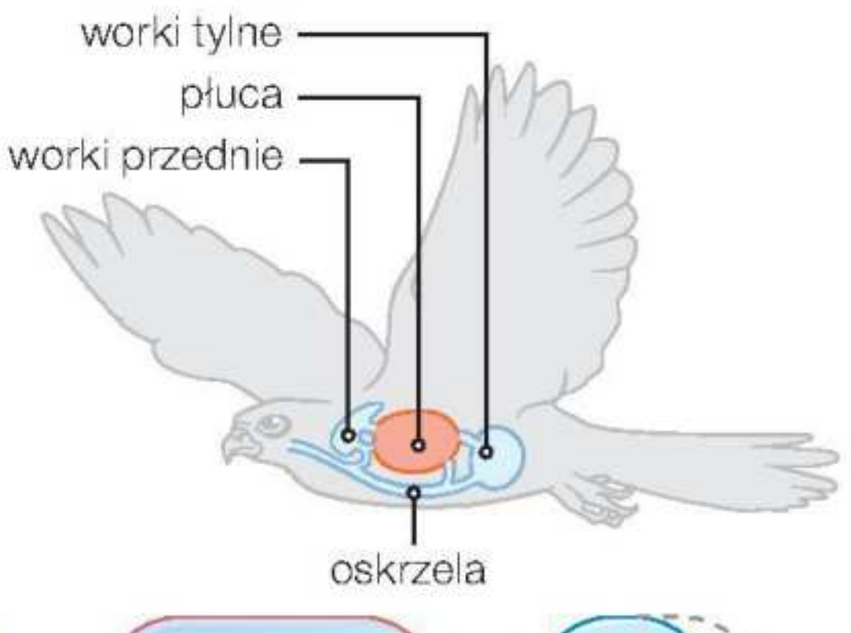


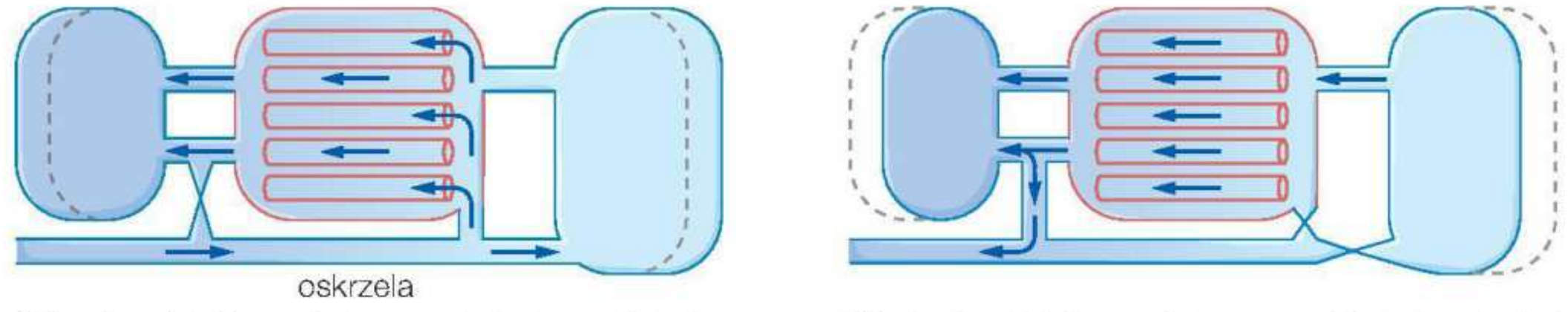
Rurki widoczne na przekroju poprzecznym płuc umożliwiają jednokierunkowy przepływ powietrza (od tyłu do przodu).

Układ oddechowy ptaka.

Wentylacja płuc u ptaków

Podczas wentylacji płuc u ptaków świeże powietrze przepływa przez płuca zawsze od tyłu do przodu, zarówno podczas wdechu, jak i wydechu. Mechanizm ten, zwany podwójnym oddychaniem, umożliwia utrzymanie wysokiego tempa przemian metabolicznych niezbędnych do lotu oraz stałocieplności.



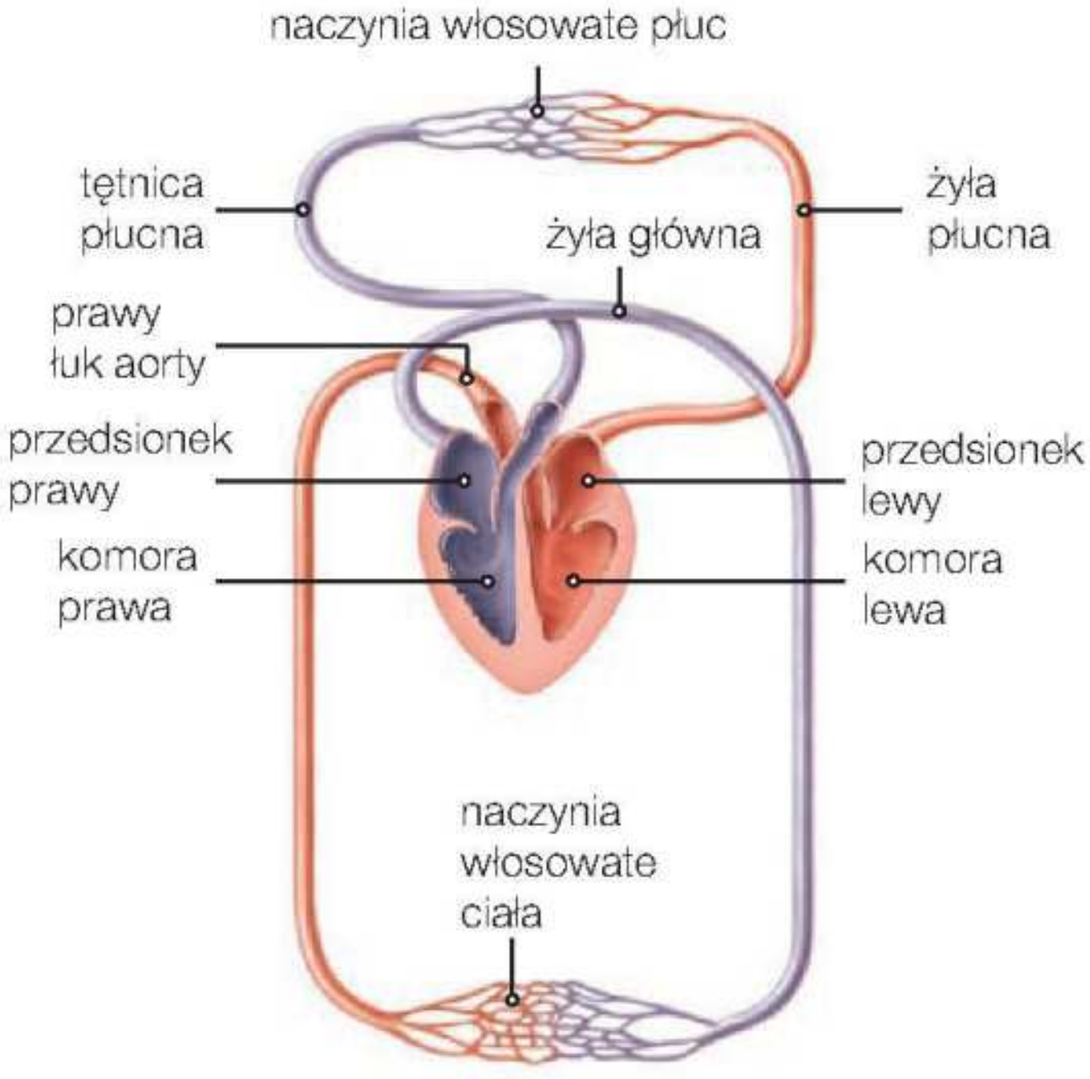


Wdech – świeże powietrze płynie jednocześnie do worków tylnych i do płuc. Z płuc jako zużyte przechodzi do worków przednich. W czasie wdechu droga z oskrzeli do worków przednich jest zamknięta, a worki powietrzne tylne i przednie rozciągają się.

Wydech – świeże powietrze z worków tylnych płynie przez płuca, po czym jako zużyte razem z powietrzem z worków przednich jest usuwane na zewnątrz. W czasie wydechu droga z worków przednich do oskrzeli jest otwarta, a worki powietrzne przednie i tylne zmniejszają swoją objętość.

Układ krwionośny ptaków

Wysoki stopień rozwoju układu krwionośnego ptaków jest związany z dużym zapotrzebowaniem na energię niezbędną do lotu oraz utrzymywaniem stałej temperatury ciała. Układ ten jest zbudowany z dwóch krwiobiegów: płucnego (małego) i obwodowego (dużego). **Serce** ptaków jest czterojamowe, składa się z **dwóch przedsionków** i dwóch całkowicie od siebie oddzielonych **komór**.



W układzie krwionośnym ptaków występuje tylko prawy łuk aorty.

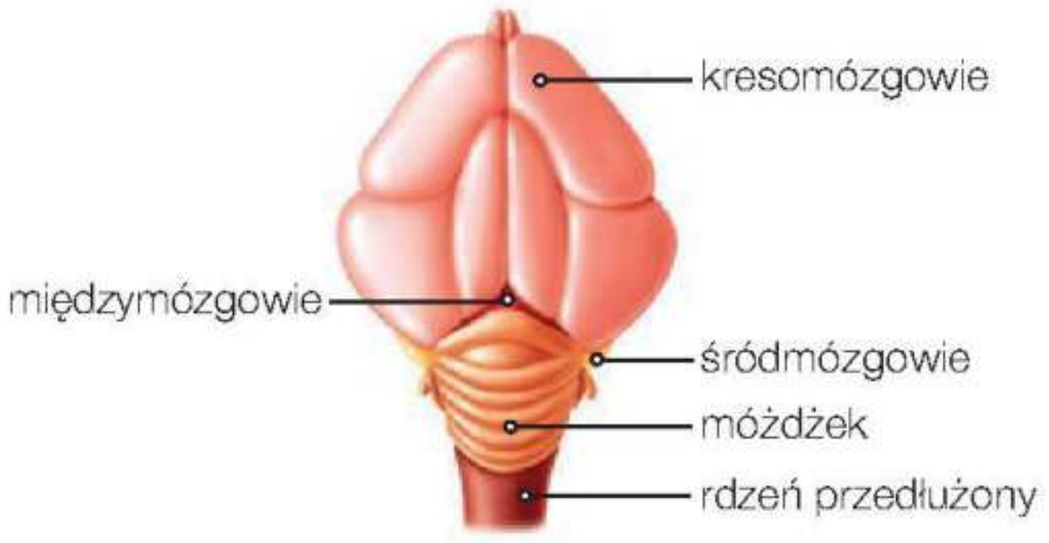
Układ nerwowy ptaków

W mózgowiu ptaków rozwinęły się głównie **kresomózgowie** i **móżdżek**, czyli te części, które są związane z dobrze wykształconymi narządami zmysłów, a także z koniecznością zachowania równowagi i wysokiej sprawności ruchowej podczas lotu.

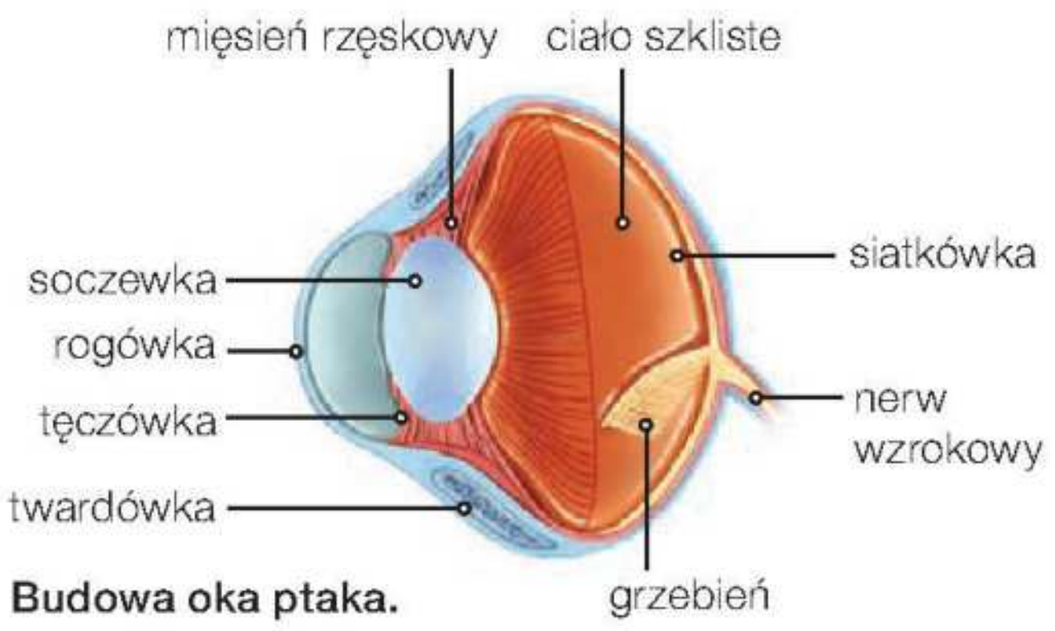
Duże kresomózgowie zapewnia ptakom inteligencję, m.in. zdolność zapamiętywania i uczenia się. Dzięki znacznemu rozwojowi **ośrodków podkorowych** mózgowie ptaków jest co najmniej tak samo sprawne jak u ssaków i pozwala na przetwarzanie bardzo dużej ilości informacji. Z kolei **móżdżek** odpowiada m.in. za koordynację ruchów, równowagę oraz orientację w przestrzeni, które są niezbędne podczas lotu. Gatunki ptaków dobrze latających, np. drapieżnych, mają znacznie większy móżdżek niż gatunki słabo latające.

Narządy zmysłów

Najlepiej rozwiniętym zmysłem ptaków jest **wzrok**. **Oczy** są zaopatrzone w trzy powieki (górną, dolną i migotkę), dzięki czemu powierzchnia gałki ocznej jest oczyszczana oraz nawilżana wydzieliną **gruczołów łzowych**. Zdolność **podwójnej akomodacji** (przez zmianę kształtu soczewki i zmianę kształtu całej gałki ocznej) sprawia, że ptaki wyjątkowo sprawnie nastawiają ostrość widzenia. **Siatkówka** zawiera **czopki** i **pręciki**: u ptaków dziennych przeważają czopki, u nocnych – pręciki. Może mieć ona do trzech miejsc najostrzejszego widzenia, czyli **plamek** (są to miejsca o największym zagęszczeniu czopków). Charakterystyczną strukturą oka ptaków, której właściwości fizjologiczne nie są jeszcze do końca poznane, jest silnie unaczyniony **grzebień**. Wyrasta on z dna oka i wnika głęboko do **ciała szklistego**. Grzebień pełni prawdopodobnie funkcje odżywcze względem siatkówki, możliwe, że reguluje też temperaturę wewnątrz gałki ocznej oraz absorbuje światło rozproszone.



Budowa mózgowia ptaka.



Budowa oka ptaka.

Ptaki mają również dobrze rozwinięty **słuch**, co wynika z faktu, że wiele z nich porozumiewa się głosem, np. ptaki śpiewające za pomocą głosu określają swoje terytoria. Słuch ma także istotne znaczenie podczas zalotów i wychowywania potomstwa. Ponadto ptaki mają zdolność do wyczuwania ziemskiego **pola magnetycznego**, na podstawie którego są w stanie orientować się w przestrzeni. Ptaki nie mają małżowin usznych, gdyż zwiększałyby one opór powietrza.

Układ wydalniczy ptaków

Narządami wydalniczymi dorosłych ptaków są **nerki ostateczne** (zanercza). **Moczowody** odprowadzają mocz z nerek do **kloaki**, skąd po zagęszczeniu jest on wydalany w postaci kryształów **kwasu moczowego** wraz z kałem. Ptaki **nie mają pęcherza moczowego** (wyjątek stanowią strusie). U wielu gatunków ptaków morskich (m.in. mew i kormoranów) czynność nerek uzupełniają **gruczoły nosowe** (**solne**). Usuwają one z organizmu nadmiar soli mineralnych dostarczanych z pokarmem i wodą.

Układ rozrodczy ptaków

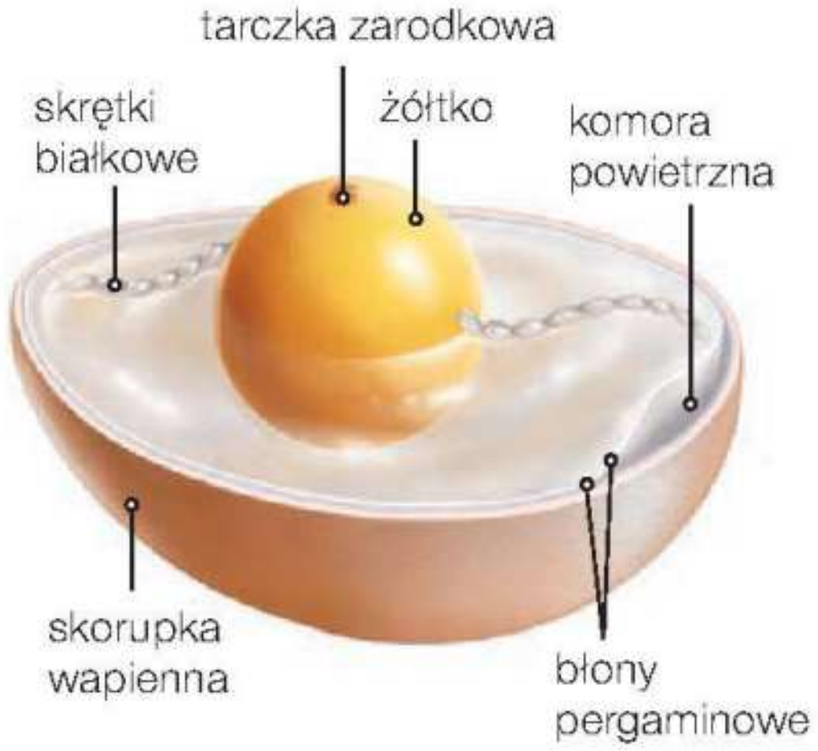
Układ rozrodczy ptaków jest zbudowany podobnie jak układ rozrodczy gadów. Różni się tym, że u samic rozwija się wyłącznie lewa część narządów rozrodczych (lewy **jajnik**, lewy **jajowód**), a u samców rozmiary jąder i ich masa wykazują sezonową zmienność – w **okresie godowym** zwiększają się niekiedy nawet 200-krotnie. U ptaków występuje wyraźny **dymorfizm płciowy**. Wyraża się on w obecności specyficznych dla płci struktur budowy zewnętrznej, takich jak czerwone podgardle u samców fregaty czy ogon u pawia, niekiedy dotyczy też rozmiarów ciała.

Ptaki cechuje **zapłodnienie wewnętrzne**. U większości odbywa się ono podczas zetknięcia się otworów kloakalnych samca i samicy. Tylko nieliczne gatunki ptaków wodnych mają narząd kopulacyjny – prącie. Wszystkie ptaki są **jajorodne**. Po złożeniu jaj rozpoczyna się ich wysiadywanie, które zapewnia stałą temperaturę niezbędną do rozwoju zarodka. Ptaki, podobnie jak gady, należą do **owodniowców** – w trakcie ich rozwoju powstają **błony płodowe**.

Silnie zaznaczony dymorfizm płciowy obserwuje się u pawia zwyczajnego (*Pavo cristatus*).

Budowa jaja ptaka

Jajo ptaka zawiera **duży zapas żółtka**, które pełni funkcję odżywczą dla zarodka. Kula żółtka jest utrzymywana w stałym położeniu dzięki elastycznym **skrętkom** (chalazom). Otacza ją gruba warstwa **białka**, chroniąca zarodek przed urazami mechanicznymi oraz stanowiąca dla niego ważne źródło wody i dodatkowe źródło substancji zapasowych. Białko jest otoczone przez dwie **błony pergaminowe**, między którymi na jednym końcu jaja powstaje **komora powietrzna**. Błony wraz z twardą wapienną **skorupką** stanowią dodatkową ochronę zarodka przed urazami mechanicznymi.



Pisklęta gniazdowników, np. kosów (*Turdus merula*), są niezdolne do samodzielnego życia, pozostają więc przez długi czas w gnieździe.

Pisklęta zagniazdowników, takich jak góropatwa czerwona (*Alectoris rufa*), zaraz po wykluciu mogą chodzić za rodzicami w poszukiwaniu pokarmu.

Gniazdowniki i zagniazdowniki

W zależności od stanu fizjologicznego oraz zachowania się piskląt po wylęgu wśród ptaków wyodrębniono dwie grupy:

- **gniazdowniki,**
- **zagniazdowniki**.

Pisklęta gniazdowników wylęgają się ślepe, głuche i nagie (niepokryte puchem), nie mają też ostatecznie wykształconych zdolności termoregulacyjnych. Wymagają zatem długiego okresu troskliwej opieki rodziców – do gniazda przynoszony jest pokarm, a młode są często karmione przez rodzica. Do gniazdowników należą m.in. wróble, dzięcioły, gołębie i sowy.

Pisklęta zagniazdowników od razu po wylęgnięciu się widzą, słyszą, są pokryte gęstym puchem i zdolne do życia poza gniazdem. Mimo to samica zwykle opiekuje się nimi przez pewien czas, ucząc wyszukiwania pokarmu i unikania niebezpieczeństw. Do zagniazdowników należą m.in. kuraki i strusie.

Wędrówki ptaków

Ze względu na tryb życia wyróżnia się ptaki osiadłe i ptaki wędrowne. Pierwsze z nich nie opuszczają swoich lęgowisk (miejsc, w których się rozmnażają), ponieważ przez cały rok są w stanie zdobyć wystarczająco dużo pożywienia. Do ptaków osiadłych należą m.in. wróbel, puchacz i kruk. Ptaki wędrowne regularnie przemieszczają się między lęgowiskami a zimowiskami, czyli obszarami ich pobytu w okresie zimy. Do tej grupy ptaków należy wiele gatunków żyjących w strefie klimatów okołobiegunowych i umiarkowanych, np. bociany, jaskółki czy gęsi.

Przyczyny jesiennych wędrówek ptaków są ściśle związane z ich stałocieplnością. Spadek temperatury otoczenia powoduje wzrost zapotrzebowania energetycznego, które nie może zostać zaspokojone ze względu na zbyt krótki dzień i niedostatek pożywienia – jest on szczególnie dotkliwy dla gatunków owadożernych i odżywiających się zielonymi częściami roślin. Wiosną, gdy warunki klimatyczne w strefie umiarkowanej i okołobiegunowej stają się korzystniejsze, ptaki wędrowne powracają na lęgowiska, ponieważ konkurencja międzygatunkowa na terenach zimowania jest zbyt silna, by wychować potomstwo.

Żurawie (*Grus grus*) wędrują w stadach i tworzą tzw. klucze. Ptak lecący na przedzie klucza rozcina powietrze, ułatwiając lot pozostałym osobnikom w formacji.

Przystosowania ptaków do lotu

Przystosowaniu ptaków do lotu służą m.in.:

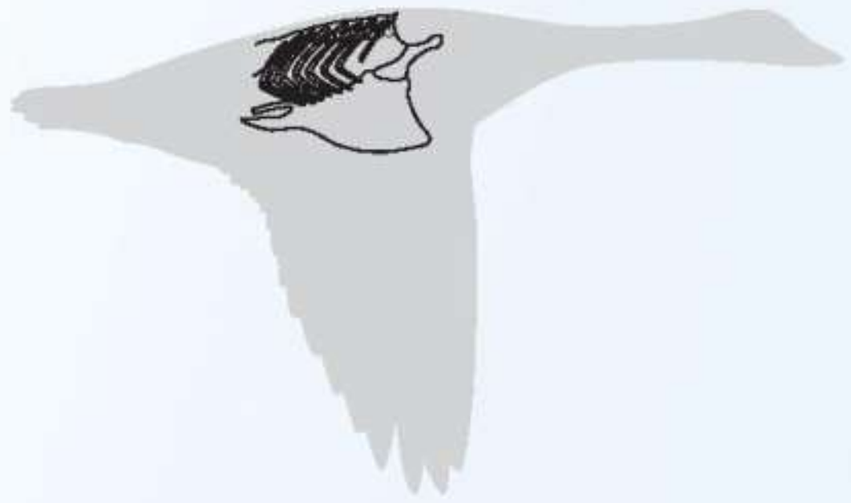
- **zmniejszenie masy ciała**: brak zębów, obecność kości pneumatycznych, bardzo szybkie trawienie pokarmu wywołane koniecznością usuwania zbędnego balastu przed lotem, brak pęcherza moczowego, redukcja prawego jajnika i prawego jajowodu u samic, sezonowe zmiany masy jąder u samców,
- **zwiększenie siły nośnej**: przekształcenie kończyn przednich w skrzydła, obecność lotek i sterówek,
- **wzmocnienie kostnej konstrukcji ciała**: niemal całkowity brak elementów chrzęstnych, zrastanie się licznych kości, zrośnięcie się kręgów dwóch odcinków kręgosłupa – piersiowego oraz lędźwiowo-krzyżowego,
- **zmniejszenie oporu powietrza** przez pokrycie ciała piórami, które tworzą zwartą pokrywę,
- **zwiększenie sprawności organizmu**: mechanizm podwójnego oddychania, rozwój kresomózgowia i móżdżku, dobrze rozwinięty narząd wzroku, sprawnie działający układ krążenia z dwukomorowym sercem z całkowitą przegrodą (zwiększenie wydajności transportu gazów oddechowych przez krew).

Skrzydło ptaka ma odpowiedni profil, dzięki czemu podczas ruchu powstaje siła nośna zdolna pokonać ciężar zwierzęcia. Jednocześnie energia ruchu postępowego pokonuje opór powietrza.

Wentylacja płuc podczas lotu

Wymiana gazowa u ptaka odbywa się inaczej w spoczynku niż w locie. W spoczynku pracują mięśnie międzyżebrowe zewnętrze, które podczas wdechu oddalają mostek od kręgosłupa i wyprostowują żebra, zwiększając objętość klatki piersiowej. Wydech następuje dzięki mięśniom międzyżebrowym wewnętrznym oraz mięśniom brzucha. **Podczas lotu mostek jest nieruchomy**. **Wdech** jest powodowany przez ruch skrzydeł w górę, natomiast **wydech** – przez opuszczenie skrzydeł.

Ruch skrzydeł w górę powoduje uniesienie się kręgosłupa względem mostka. Dzięki temu zwiększa się pojemność worków powietrznych i następuje wdech.



Ruch skrzydeł w dół sprawia, że kręgosłup zbliża się do mostka. Zmniejsza się przez to objętość klatki piersiowej, a więc i worków powietrznych – następuje wydech.

Kości pneumatyczne są wypełnione powietrzem, co sprawia, że szkielet ptaka jest lekki.

Przekształcona w **skrzydło** kończyna przednia.

Wyrostki haczykowate żeber, wsparte na sąsiednich tylnych żebrach, wzmacniają klatkę piersiową.

Długie kości przedramienia razem z kośćmi dłoni służą do osadzania lotek.

Masywne kości krucze zapewniają oparcie dla szkieletu skrzydeł.

Zrośnięte w widełki obojczyki wzmacniają przednią część klatki piersiowej.

Brak szwów w szkielecie czaszki sprawia, że jest ona lekka.

Zrośnięte kręgi piersiowe i lędźwiowo-krzyżowe stabilizują tułów podczas lotu.

Kształt dzioba zmniejsza opór powietrza w czasie lotu.

Grzebień mostka stanowi miejsce przyczepu mięśni piersiowych.

Ogromne mięśnie piersiowe służą do opuszczania skrzydeł, a położone pod nimi mięśnie podobojczykowe służą do podnoszenia skrzydeł.

Połączenie stawowe obu części **żeber** umożliwia zmianę objętości klatki piersiowej przez zbliżanie się i odsuwanie kręgosłupa od mostka.

Podczas opuszczania skrzydła lotki tworzą zwartą powierzchnię i nie przepuszczają powietrza. Dzięki temu mogą wytwarzać siłę nośną.

Podczas unoszenia skrzydła pióra są ustawione w taki sposób, że powstają między nimi przerwy. Dzięki temu nie stawiają oporu podczas ruchu.

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 przemieszczania się w przestrzeni powietrznej.

Pingwin cesarski (*Aptenodytes forsteri*)

Największy gatunek pingwina – osiąga wysokość do 130 cm i masę do 45 kg. Pingwiny, w przeciwieństwie do większości ptaków nielotnych, mają grzebień kostny na mostku. Do grzebienia przyczepione są silne mięśnie piersiowe, poruszające płetwiastymi skrzydłami, dzięki którym pingwiny doskonale pływają i nurkują w poszukiwaniu pożywienia.

Struś czerwonoskóry (*Struthio camelus*)

Nielotny ptak zamieszkujący Afrykę. Ma silnie rozwinięte i umięśnione kończyny tylne, dzięki którym szybko biega. Jaja strusi osiągają bardzo duże rozmiary i ważą nawet do 2 kg.

Kiwi północny (*Apteryx mantelli*)

Nielot występujący tylko w Nowej Zelandii (jest endemitem). Ma nietypowe upierzenie, które przypomina włosy. Czuły węch i wyostrzony słuch sprawiają, że jest on dobrze przystosowany do poszukiwania pokarmu i unikania drapieżników na lądzie.

Kazuar hełmiasty (*Casuarius casuarius*)

Gatunek ptaka występujący w gęstych lasach porastających część Australii i Nowej Gwinei. Składa jaja w osobliwym, zielonym kolorze. Kazuar może biegać z prędkością nawet do 50 km/h. Jego silnie umięśnione kończyny tylne są zaopatrzone w długie, ostre szpony, które w razie zagrożenia służą mu do obrony.

Jaja kazuara.

Znaczenie ptaków w przyrodzie i dla człowieka

Ważny składnik sieci troficznych

Ptaki regulują liczebność populacji różnych gatunków, zwłaszcza gryzoni (np. myszołowy i sowy) oraz owadów niszczących uprawy rolne i leśne (np. sikory, kowaliki, dzięcioły).

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 i piór

Ptaki są ważnym źródłem pożywienia dla wielu gatunków zwierząt, w tym ludzi. Kaczki, gęsi, kury i indyki mają duże znaczenie gospodarcze – dostarczają mięsa, jaj i piór.

Wyrządzanie szkód w gospodarce

Ptaki mogą niszczyć uprawy roślin zbożowych oraz zjadać rośliny warzywne i owoce (np. kos). Ptaki drapieżne (np. jastrzębie i myszołowy) polują niekiedy na ptactwo domowe.

Polecenia kontrolne

1. Wymień morfologiczne, anatomiczne i fizjologiczne cechy ptaków będące przystosowaniami do lotu.
2. Wyjaśnij, dlaczego mechanizm podwójnego oddychania stanowi przystosowanie ptaków do lotu.
3. Scharakteryzuj znaczenie ptaków w gospodarce człowieka.
4. Scharakteryzuj przystosowania wybranych gatunków ptaków do:
   a. drapieżnictwa,
   b. odżywiania się pokarmem roślinnym,
   c. zdobywania pokarmu w wodzie.

6.7. Ssaki – kręgowce wszechstronne i ekspansywne

Zwróć uwagę na:
- cechy charakterystyczne ssaków,
- budowę i czynności życiowe ssaków,
- przystosowania ssaków do życia w różnych środowiskach,
- znaczenie ssaków w przyrodzie i dla człowieka.

Ssaki (Mammalia) należą do zwierząt **stałocieplnych**, dzięki czemu w dużym stopniu uniezależniły się od temperatury otoczenia. Z tego powodu są szeroko rozprzestrzenione – żyją na wszystkich kontynentach, w środowisku zarówno wodnym, jak i lądowym. Współcześnie żyjące ssaki dzieli się na: **prassaki** (m.in. stekowce), **ssaki niższe** (m.in. torbacze) i **ssaki wyższe**, zwane łożyskowcami.

W ciele większości ssaków wyróżnia się: głowę, szyję, tułów, ogon i dwie pary kończyn. Proporcje i kształt poszczególnych części ciała zależą przede wszystkim od warunków środowiska i trybu życia.

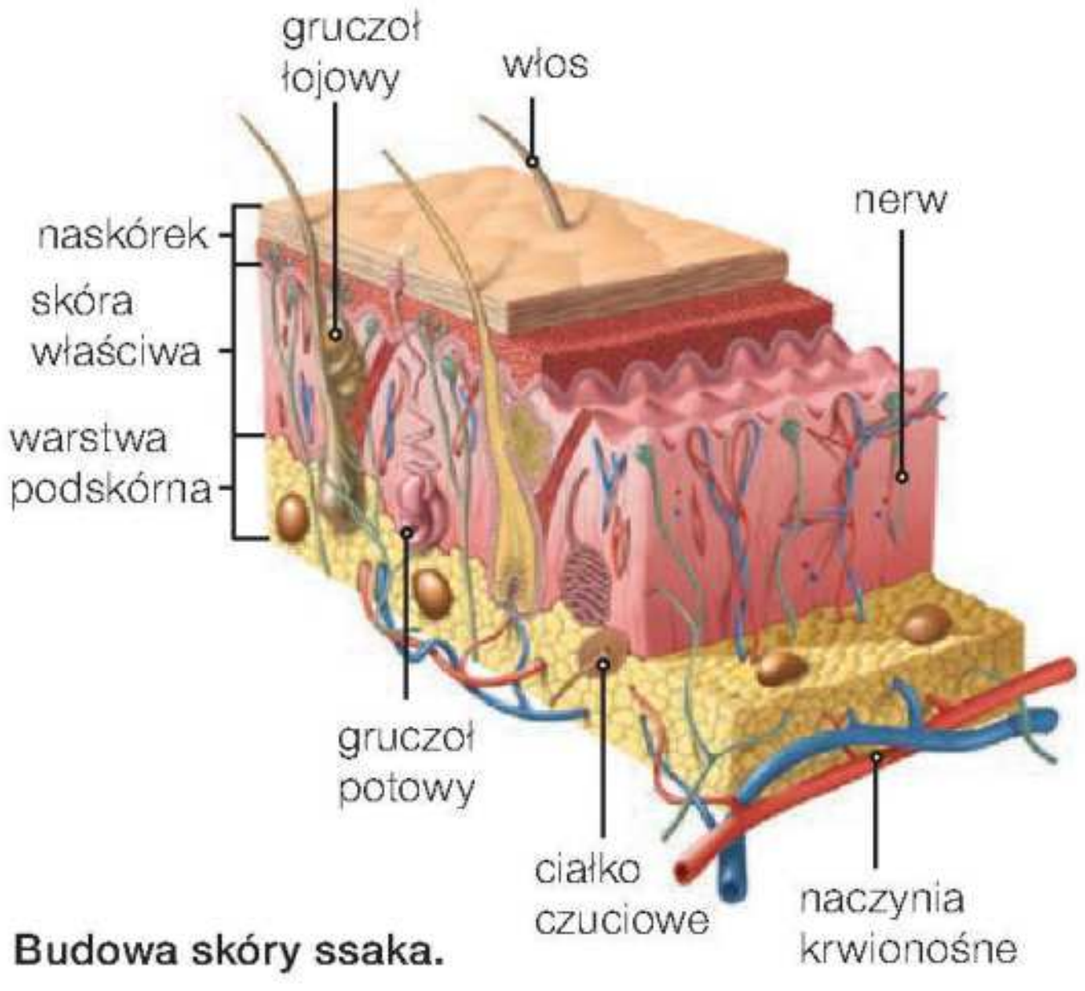
Do wspólnych cech ssaków należą:
- karmienie młodych mlekiem produkowanym przez samice; odruch ssania,
- owłosienie ciała,
- obecność przepony – płaskiego mięśnia, oddzielającego jamę brzuszną od jamy klatki piersiowej,
- w odcinku szyjnym kręgosłupa zazwyczaj siedem kręgów,
- heterodontyzm, czyli zróżnicowanie budowy zębów,
- obecność małżowiny usznej i trzech kosteczek słuchowych: młoteczka, kowadełka i strzemiączka.

Powłoka ciała ssaków

Powłoka ciała ssaków składa się ze skóry i tkanki podskórnej. **Skóra** stanowi ochronę przed niekorzystnymi czynnikami środowiska zewnętrznego. Niekiedy pełni też inne funkcje, np. tworzy torbę lęgową u torbaczy, błony lotne u nietoperzy czy błony pławne u ssaków wodnych. Skóra ssaków, podobnie jak pozostałych kręgowców, jest zbudowana z naskórka i skóry właściwej. Warstwy te mają jednak bardziej złożoną budowę.

Naskórek jest nabłonkiem wielowarstwowym płaskim rogowaciejącym, którego zewnętrzne warstwy ulegają ciągłemu złuszczaniu. Wytworami naskórka są **włosy**, zbudowane głównie z keratyny. Pełnią one u ssaków różne funkcje:
- sztywne **włosy ościste** (sierść) chronią ciało przed urazami mechanicznymi;
- miękkie i cienkie **włosy wełniste** (futro) stanowią przede wszystkim warstwę termoizolacyjną;
- **włosy czuciowe**, tzw. wibrysy, pełnią funkcję narządu zmysłu dotyku. Występują np. u kota – są usytuowane na wargach, przy nozdrzach i nad oczami.

U większości ssaków włosy ulegają wymianie na nowe w procesie zwanym **linieniem**. Linienie zachodzi stale lub okresowo i ma związek z przystosowywaniem się barwy, grubości i gęstości pokrywy włosowej do pory roku.



Budowa skóry ssaka.

Do wytworów naskórka należą także: pazury, paznokcie, kopyta, łuski, rogi oraz fiszbiny. Te ostatnie są rogowymi płytkami, które występują w jamie gębowej niektórych wielorybów i służą do filtrowania pokarmu z wody.

Wytwory naskórka	
twory rogowe	gruczoły
• włosy • pazury • paznokcie • kopyta • łuski • rogi • fiszbiny	• łojowe • potowe • zapachowe • mlekowe

Skóra właściwa jest zbudowana z tkanki łącznej włóknistej, która charakteryzuje się dużą zawartością włókien kolagenowych oraz włókien sprężystych. Dzięki temu powłoka ciała jest jednocześnie wytrzymała i elastyczna. W skórze właściwej znajdują liczne gruczoły, które są wytworami naskórka. Należą do nich:

- **gruczoły łojowe** występujące głównie w pobliżu włosów. Ich wydzielina – **łój** – służy do natłuszczania skóry i włosów oraz pełni funkcję bakteriobójczą;
- **gruczoły potowe** wydzielające **pot**, który uczestniczy w termoregulacji, osmoregulacji i wydalaniu;
- **gruczoły zapachowe** umiejscowione często w okolicy odbytu lub pachwin. Ich wydzielina służy do znakowania terytorium, ma także znaczenie podczas wyboru partnera do rozrodu. U niektórych ssaków, np. u skunksa, gruczoły te pełnią funkcję obronną;
- **gruczoły mlekowe** są przekształconymi gruczołami potowymi. Ich wydzielina – **mleko** – jest produkowana w okresie laktacji i zawiera wszystkie składniki niezbędne do rozwoju młodych osobników. U stekowców gruczoły mlekowe są rozproszone po brzusznej stronie ciała, w rejonach określanych jako pola gruczołowe. Pozostałe ssaki mają gruczoły mlekowe zlokalizowane w skupiskach i uchodzące na zewnątrz w brodawkach sutkowych.

Gruczoły mlekowe niektórych ssaków, m.in. przeżuwaczy, występują w obrębie wymion.

Wytworem skóry właściwej jest **poroże**, które występuje np. u jeleni. Budową przypomina kość i w odróżnieniu od rogów jest zrzucane co roku.

Tkanka podskórna jest zbudowana z tkanki tłuszczowej oraz tkanki włóknistej luźnej. Warstwa ta jest szczególnie gruba m.in. u ssaków o zredukowanym owłosieniu (np. słoni czy waleni) oraz zapadających w sen zimowy (np. niedźwiedzi). Tkanka podskórna nie tylko chroni przed utratą ciepła, lecz także zabezpiecza przed urazami mechanicznymi i stanowi rezerwę energetyczną organizmu.

Układ szkieletowy

Szkielet ssaków jest silnie skostniały – zawiera niewiele elementów chrzęstnych. Ma także stosunkowo małą liczbę kości w porównaniu ze szkieletami innych kręgowców, co jest spowodowane zrastaniem się drobnych kości w większe elementy. Kości szkieletu są ze sobą połączone ruchomo za pomocą **stawów** lub nieruchomo za pomocą **szwów**.

Szkielet osiowy

Czaszka ssaków jest zbudowana z mózgoczaszki i trzewioczaszki. **Mózgoczaszka** tworzy jednolitą puszkę, chroniącą mózgowie. U dorosłych zwierząt kości mózgoczaszki są połączone szwami, natomiast u osobników młodych – ze względu na rozwój mózgowia – elastycznymi pasmami tkanki łącznej. Charakterystycznymi cechami **trzewioczaszki** są:

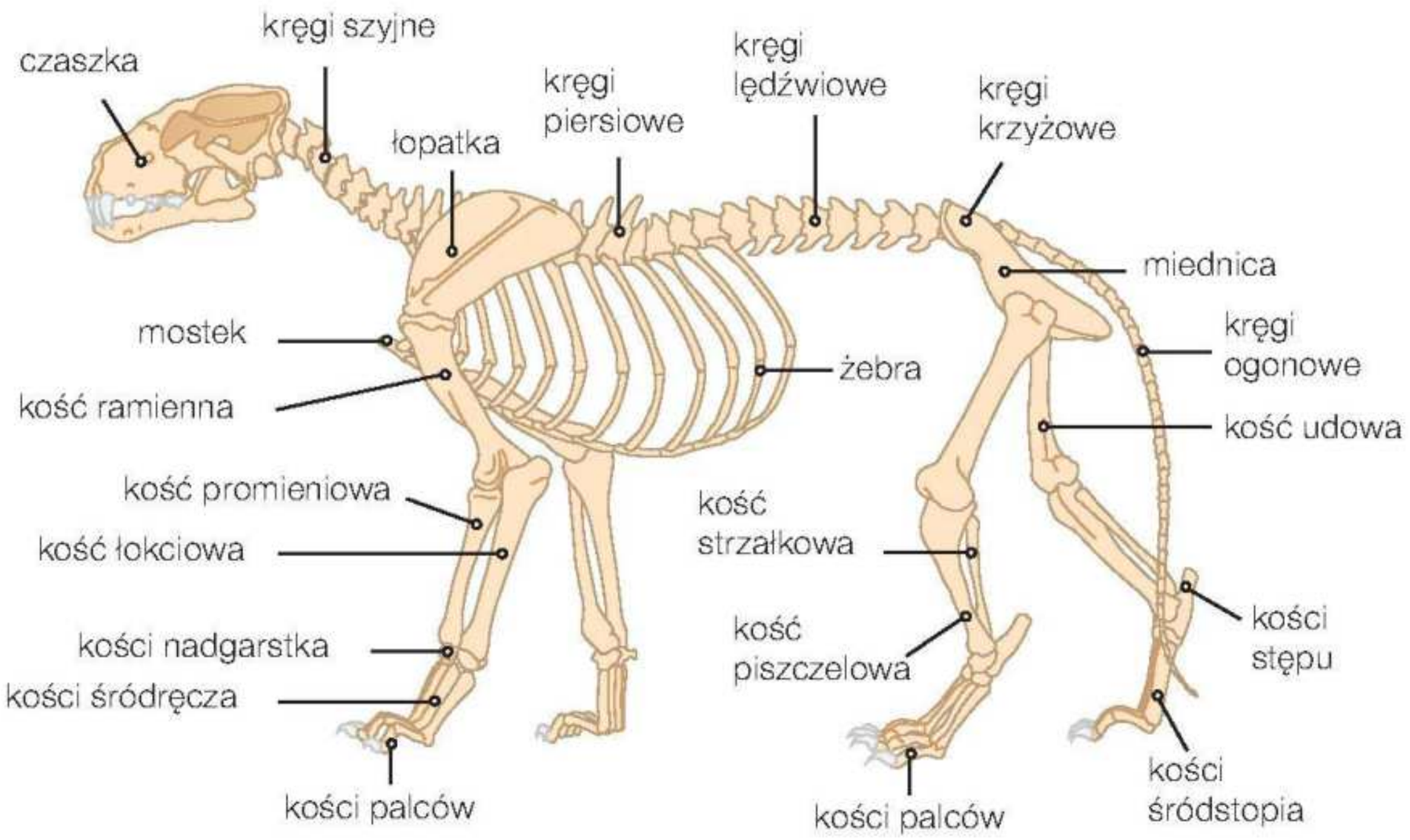
- żuchwa zbudowana z jednej kości,
- żuchwa połączona z mózgoczaszką za pomocą wtórnego stawu żuchwowego, który powstaje między kością zębową żuchwy a łuską kości skroniowej,

- w uchu środkowym trzy kosteczki słuchowe: młoteczek, kowadełko i strzemiączko; dwie pierwsze kosteczki powstały z kości stawowej oraz kości kwadratowej pierwotnego stawu żuchwowego,
- jamy nosowa i gębowa oddzielone kostnym podniebieniem.

Kręgosłup ssaków jest zbudowany z pięciu odcinków: szyjnego, piersiowego, lędźwiowego, krzyżowego i ogonowego. Odcinek szyjny składa się zwykle z siedmiu kręgów. Dwa pierwsze kręgi szyjne – **dźwigacz** i **obrotnik** – tworzą staw obrotowy, który umożliwia wykonywanie ruchów przeczących głowy. Dzięki temu ruchomość głowy jest duża, mimo połączenia czaszki z kręgosłupem za pomocą **dwóch kłykci potylicznych**. W odcinku piersiowym kręgi łączą się stawowo z żebrami. Te z kolei za pośrednictwem chrząstki zrastają się z mostkiem. Całość tworzy elastyczny **szkielet klatki piersiowej**, ochraniający serce i płuca oraz uczestniczący w wentylacji płuc. Odcinek lędźwiowy składa się z różnej liczby kręgów. Jest on szczególnie masywny u ssaków dwunożnych, m.in. u człowieka. W odcinku krzyżowym kręgi zrastają się ze sobą, tworząc mocne oparcie dla obręczy miednicowej. Ostatni odcinek – ogonowy – składa się z różnej liczby kręgów, uzależnionej od funkcji ogona (m.in. chwytnej czy podporowej). U niektórych gatunków ssaków odcinek ogonowy jest silnie zredukowany.

Szkielet obręczy i kończyn

Kończyny ssaków są z reguły umieszczone pionowo pod tułowiem, co usprawnia poruszanie się. Budowa kończyn ulega często daleko idącym modyfikacjom, które mają związek z trybem życia zwierzęcia. **Obręcz barkową** tworzą parzyste łopatki. Mogą w niej występować również dwa obojczyki – zwłaszcza u grup, których przedstawiciele wykonują za pomocą kończyny górnej ruchy odwodzące i przywodzące (np. małpy). Ssaki kopytne i drapieżne poruszają kończynami tylko w jednej płaszczyźnie, dlatego nie mają obojczyków. W przypadku stekowców w obręczy barkowej znajdują się kości krucze, które u pozostałych ssaków zrastają się z łopatką, tworząc wyrostek kruczy łopatki. **Obręcz miednicowa** jest zrośnięta z częścią krzyżową kręgosłupa. Budują ją parzyste kości miednicowe, powstałe ze zrośnięcia się kości biodrowych, kulszowych i łonowych. U niektórych gatunków ssaków zaszły modyfikacje obręczy miednicowej. Na przykład u waleni – zwierząt wtórnie wodnych – kości miednicowe są silnie uwstecznione i niepołączone z kręgosłupem, co jest spowodowane zanikiem kończyn tylnych.



Budowa szkieletu ssaka.

Układ pokarmowy ssaków

Pożywieniem wszystkich ssaków w pierwszym okresie po narodzinach jest mleko. Natomiast dorosłe osobniki mogą być roślinożerne, mięsożerne lub wszystkożerne. Od rodzaju pobieranego pokarmu zależy zarówno uzębienie ssaków, jak i względna długość ich przewodu pokarmowego, zwłaszcza jelit. Gatunki roślinożerne mają zazwyczaj dłuższe przewody pokarmowe niż gatunki mięsożerne. W skład układu pokarmowego ssaków wchodzą:

- **przewód pokarmowy**, zbudowany z jamy gębowej, gardzieli (gardła), przełyku, żołądka i jelit. W przewodzie pokarmowym zachodzi trawienie pokarmu oraz wchłanianie drobnocząsteczkowych produktów trawienia;
- **gruczoły**, wydzielające substancje do przewodu pokarmowego. Należą do nich: ślinianki, wątroba i trzustka.

Jama gębowa ssaków jest zaopatrzona w zęby oraz język. Uchodzą do niej także przewody wyprowadzające gruczołów ślinowych produkujących ślinę.

Zęby służą do rozdrabniania pokarmu. Nie mają ich tylko niektóre gatunki ssaków, m.in. mrówkojady, walenie fiszbinowe oraz dorosłe dziobaki. Zęby tkwią w zębodołach szczęki i żuchwy. Każdy z nich składa się z jednego lub kilku korzeni, szyjki oraz korony. Substancją budulcową zębów jest zębina, w obrębie korzenia pokryta cementem, a w obrębie korony – szkliwem. Większość ssaków ma dwie generacje zębów – zęby mleczne i zęby stałe. **Zęby mleczne** występują u osobników młodych, odżywiających się mlekiem matki, a następnie pokarmem przynoszonym przez rodziców. W okresie dojrzewania zęby te wypadają i są zastępowane **zębami stałymi**, które u osobników dorosłych nie są wymieniane. Z tego powodu zęby te są mocniejsze i silniej osadzone niż zęby pozostałych kręgowców. Cechą większości ssaków jest **heterodontyzm**, czyli zróżnicowanie budowy zębów. Uzębienie składa się z siekaczy, kłów i zębów policzkowych, do których należą zęby przedtrzonowe i trzonowe. Kształt zębów i ich rozmieszczenie mają ścisły związek z pełnionymi funkcjami. Umieszczone na przedzie dłutowate siekacze służą do odcinania kęsów pokarmu, a znajdujące się za nimi stożkowate kły – do zabijania ofiar lub przytrzymywania pokarmu. Zęby policzkowe przede wszystkim rozdrabniają pokarm. Liczba i rodzaj zębów są stałe dla gatunku i stanowią ważną cechę systematyczną.

Specjalizacja uzębienia ssaków

Liczba i budowa zębów ssaków zależą od rodzaju spożywanego pokarmu. Najbardziej wyspecjalizowane są zęby drapieżników, przeżuwaczy i gryzoni.

Ssaki drapieżne, takie jak wilk, mają długie kły, a ostatni górny przedtrzonowiec i pierwszy dolny trzonowiec są przekształcone w łamacze, które działają jak nożyce. Łamacze służą do łamania kości.

Ssaki roślinożerne, takie jak krowa, nie mają kłów. Dobrze rozwinięte są u nich zęby przedtrzonowe i trzonowe, które mają duże powierzchnie trące. Między siekaczami a zębami policzkowymi występuje przerwa, tzw. diastema.

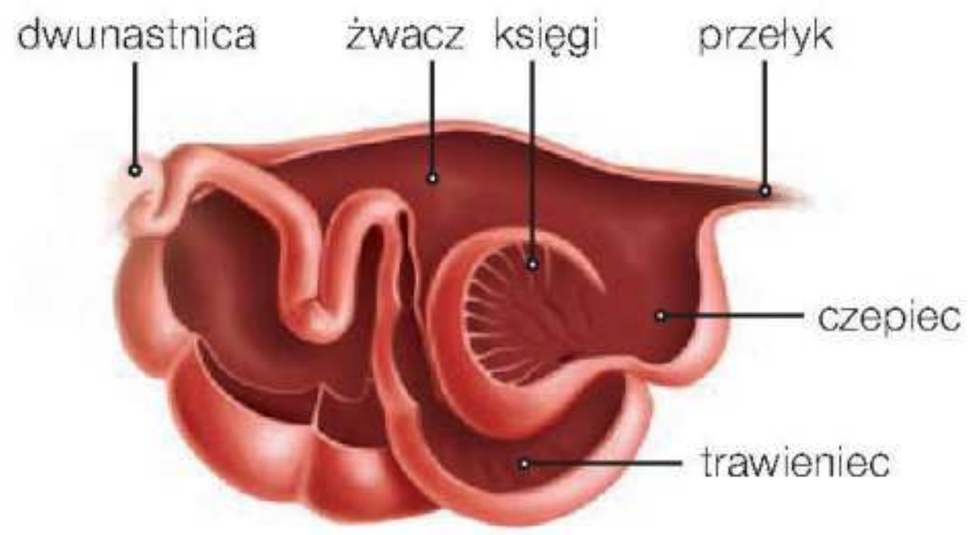
Gryzonie, takie jak bóbr, mają dobrze rozwinięte siekacze. Są one pozbawione korzeni, dlatego bez przerwy rosną. W uzębieniu gryzoni nie ma kłów, a między siekaczami i zębami policzkowymi występuje diastema.

Język pełni różne funkcje. Dzięki silnemu umięśnieniu przesuwa pokarm na powierzchnie trące zębów policzkowych, formuje kęsy oraz umożliwia połykanie. Język jest też narządem smaku. Na jego górnej powierzchni znajdują się liczne kubki smakowe. U niektórych ssaków, np. kolczatek oraz mrówkojadów, język jest długi, ruchliwy i pokryty lepkim śluzem. Dzięki temu umożliwia chwytanie owadów – mrówek i termitów.

Ślinianki wydzielają do jamy gębowej ślinę, która składa się głównie z wody oraz niewielkiej ilości białek i soli mineralnych. Jej funkcją jest nawilżanie pokarmu i – dzięki zawartości enzymu amylazy ślinowej – wstępne trawienie niektórych polisacharydów, głównie skrobi i glikogenu.

Z jamy gębowej pokarm przemieszcza się do **gardzieli** i dalej do **przełyku**. Następnie trafia do **żołądka**, którego budowa zależy od rodzaju spożywanego pokarmu. U mięsożerców żołądek jest prosty i jednokomorowy, przystosowany do wstępnego trawienia białek. Natomiast u wielu gatunków ssaków roślinożernych – duży i wielokomorowy. Żyją w nim symbiotyczne mikroorganizmy, które rozkładają celulozę.

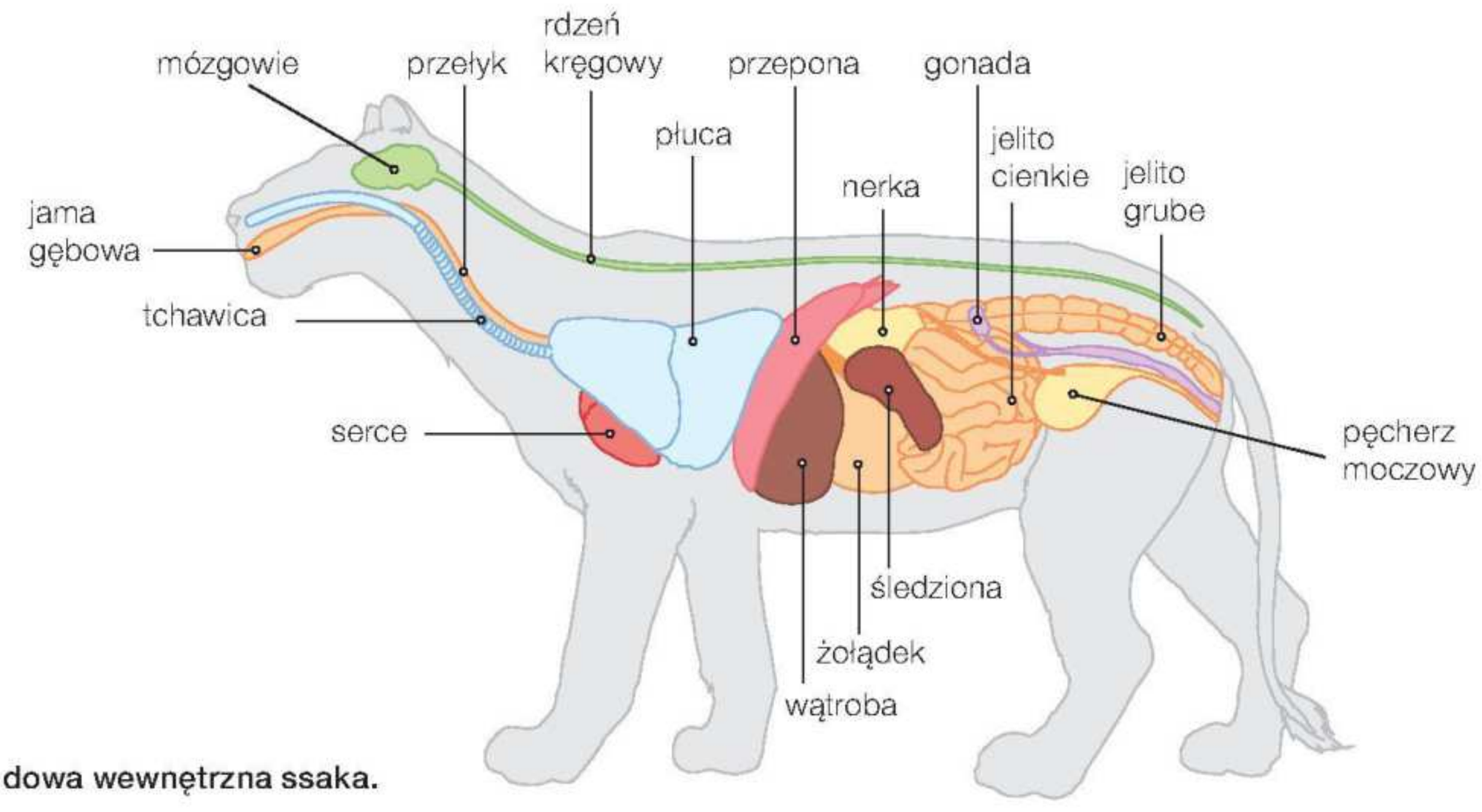
U przeżuwaczy (m.in. krowy, żubra, czy żyrafy) żołądek jest zbudowany z czterech komór: żwacza, czepca, ksiąg i trawieńca, w których zachodzą odmienne procesy trawienne.



Żołądek wielokomorowy przeżuwacza.

Nieprzeżuty pokarm dostaje się najpierw do żwacza, w którym żyją symbiotyczne organizmy – bakterie, grzyby i protisty, głównie orzęski. Dzięki zdolności wytwarzania enzymu celulazy rozkładają one celulozę, budującą ściany komórkowe komórek roślinnych. Następnie pokarm jest zwracany do jamy gębowej, w której zostaje przeżuty i po połknięciu trafia do kolejnych komór żołądka, gdzie ulega dalszemu trawieniu.

Z żołądka pokarm dostaje się do **jelita cienkiego**, do którego uchodzą przewody wyprowadzające **wątroby** i **trzustki**. Wątroba wydziela żółć ułatwiającą trawienie tłuszczów (w okresach między posiłkami magazynowaną w pęcherzyku żółciowym). 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



Budowa wewnętrzna ssaka.

Różnice w długości przewodów pokarmowych drapieżnika i roślinożercy

Przewód pokarmowy ssaków ma różną długość uzależnioną od rodzaju pobieranego pokarmu. U roślinożerców przewód pokarmowy jest bardzo długi – może osiągać długość odpowiadającą kilkunastu długościom ciała lub większą. Wynika to faktu, że pokarm roślinny jest trudno przyswajalny. Natomiast przewód pokarmowy drapieżników jest stosunkowo krótki – zaledwie kilka razy dłuższy od długości ciała – co ma związek z szybkim trawieniem oraz wchłanianiem pokarmu zwierzęcego.

Przewód pokarmowy kota (drapieżnika) ma długość równą 4 długościom jego ciała.

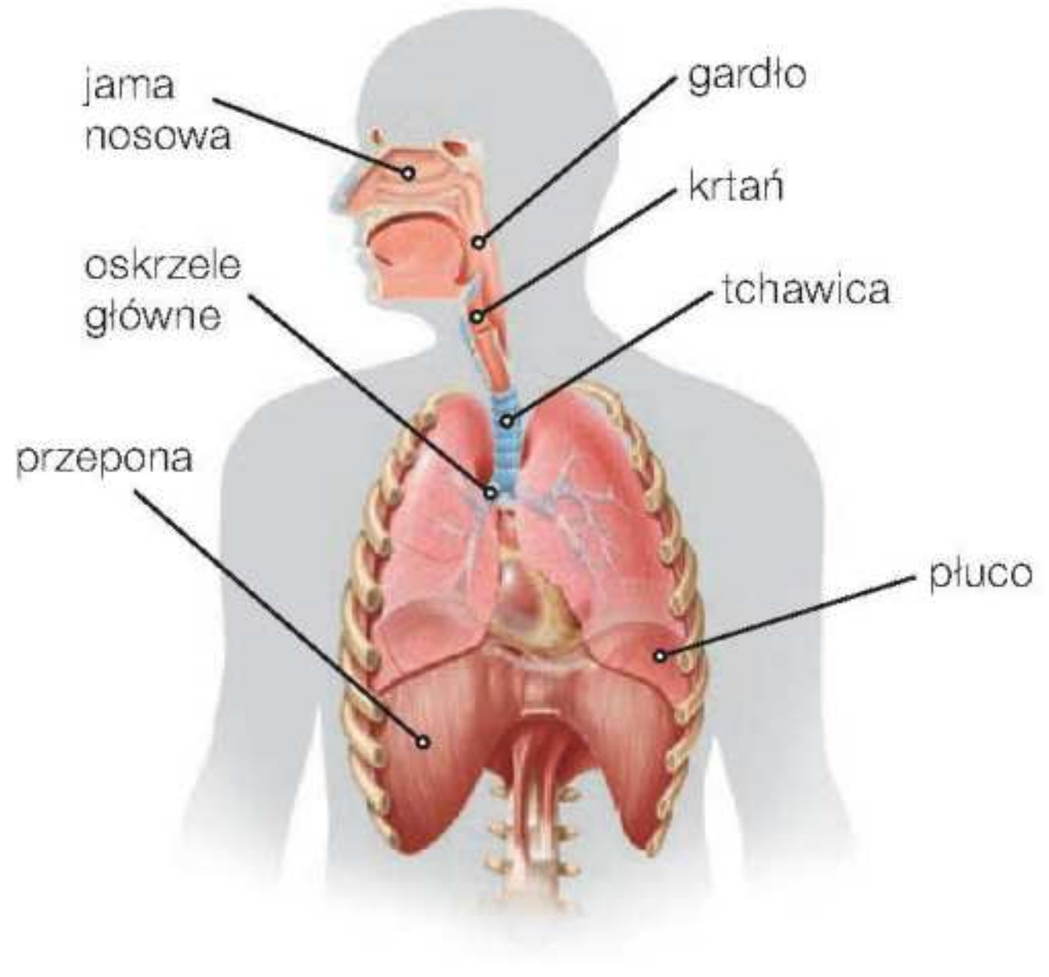
Przewód pokarmowy owcy (roślinożercy) ma długość równą 23 długościom jej ciała.

wchłanianie drobnocząsteczkowych produktów trawienia. Powierzchnię wchłaniania zwiększają kosmki jelitowe, czyli palczaste wyrostki błony śluzowej jelita, oraz mikrokosmki, czyli cytoplazmatyczne wypustki komórek nabłonkowych wyścielających jelito. Na granicy jelita cienkiego i jelita grubego znajduje się **jelito ślepe**. U wielu ssaków (m.in. gryzoni) jest ono dobrze rozwinięte. Znajdują się w nim symbiotyczne mikroorganizmy rozkładające celulozę. Jelito grube kończy się odbytem. U stekowców przed odbytem występuje kloaka.

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 i tchawica, rozgałęziająca się na dwa oskrzela główne.

Krtań jest oddzielona od gardzieli **nagłośnią**, czyli fałdem zbudowanym z chrząstki pokrytej nabłonkiem. Podczas przełykania nagłośnia zamyka krtań, dzięki czemu nie dochodzi do przedostania się cząstek pokarmu do dróg oddechowych, które groziłoby zadławieniem. W krtani znajdują się również dwa fałdy śluzówki, tworzące **struny głosowe**. Ich napięcie wpływa na wysokość głosu wydawanego przez zwierzę. Oskrzela główne wnikają do płuc, gdzie rozgałęziają się, tworząc coraz drobniejsze oskrzeliki zakończone pęcherzykami płucnymi. Ściany pęcherzyków płucnych są zbudowane z nabłonka jednowarstwowego płaskiego i oplecione siecią włosowatych naczyń krwionośnych. Dzięki temu zachodzi wymiana tlenu i dwutlenku węgla między powietrzem pęcherzykowym a krwią. Powierzchnia wymiany gazowej jest bardzo duża, ponieważ w skład płuc wchodzą miliony pęcherzyków płucnych. **Wentylacja płuc** odbywa się dzięki ruchom klatki piersiowej i przepony – mięśnia oddzielającego jamę klatki piersiowej od jamy brzusznej.

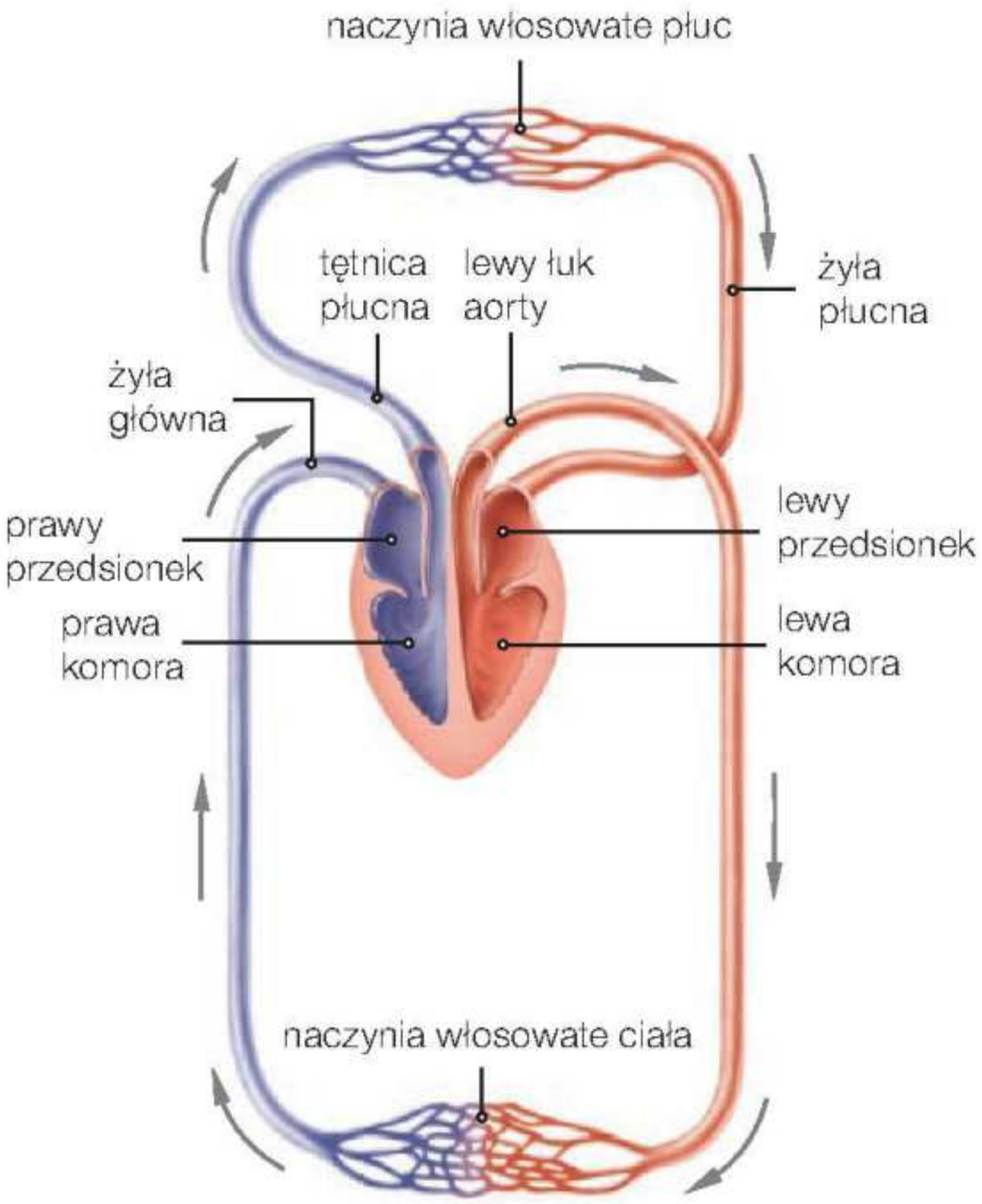


Budowa układu oddechowego ssaków.

Układ krwionośny ssaków

Układ krwionośny ssaków składa się z **dwóch obiegów**: płucnego (małego) i obwodowego (dużego). **Serce** jest zbudowane z dwóch przedsionków i dwóch komór. Prawa część serca (żylna) zbiera krew bogatą w dwutlenek węgla z całego organizmu i tłoczy ją do tętnic płucnych. Z kolei lewa strona (tętnicza) zbiera z płuc krew bogatą w tlen i przekazuje ją do systemu tętnic rozprowadzających krew po całym ciele.

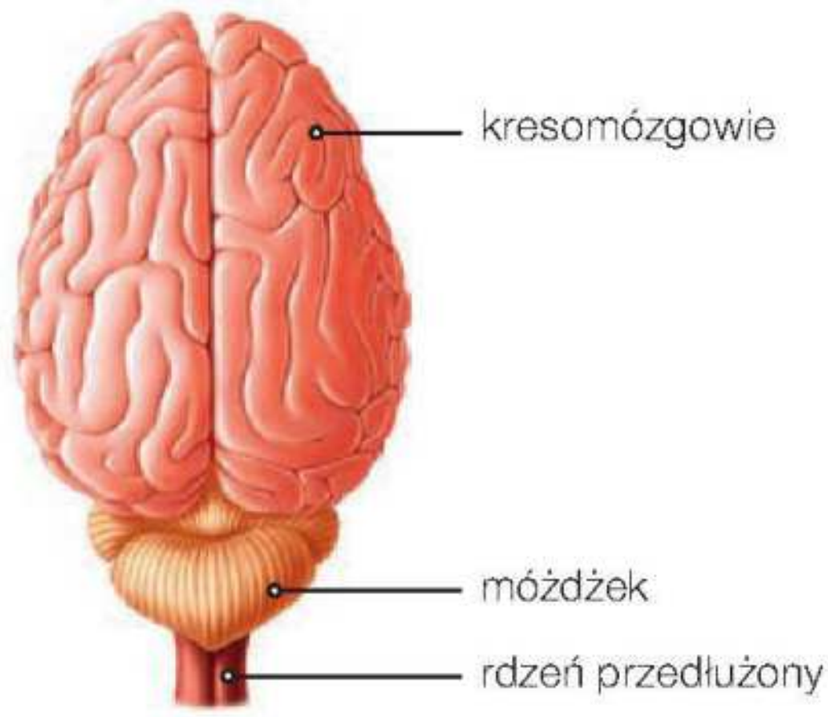
Na zwiększenie ilości transportowanego tlenu ma również wpływ budowa erytrocytów. Dojrzałe erytrocyty ssaków nie mają jądra komórkowego, co pozwala na transport większej ilości tlenu do tkanek ciała.



W układzie krwionośnym ssaków występuje tylko lewy łuk aorty, ponieważ prawy zanika podczas rozwoju embrionalnego.

Układ nerwowy ssaków

Ssaki mają układ nerwowy rozwinięty najlepiej spośród wszystkich zwierząt. Mózgowie składa się z pięciu podstawowych części: kresomózgowia, międzymózgowia, śródmózgowia, móżdżku oraz rdzenia przedłużonego. Kresomózgowie jest zbudowane z dwóch połączonych półkul, które pokrywa **kora mózgowa** o dużym stopniu pofałdowania. Rozwój kory mózgowej i zwiększenie jej powierzchni wiążą się z dużymi zdolnościami kojarzenia, analizy, zapamiętywania, a także z powstaniem życia społecznego. Również **móżdżek** ma u większości ssaków skomplikowaną budowę wewnętrzną. Składa się z dwóch półkul pokrytych **korą móżdżku**, na powierzchni której występują liczne szczeliny i bruzdy. Rozmiar i skomplikowana budowa móżdżku umożliwiają bardzo dobrą koordynację ruchową ssaków.



Budowa mózgowia ssaka.

Narządy zmysłów

Ssaki mają doskonale rozwinięte narządy zmysłów. Większość gatunków posługuje się przede wszystkim węchem, dlatego **narząd węchu** ma stosunkowo duże rozmiary i mieści się w rozbudowanej jamie nosowej.

Dobrze wykształcone jest także **ucho**. **Ucho zewnętrzne** jest zbudowane z małżowiny usznej i kanału słuchowego zewnętrznego. Jego funkcją jest odbiór fal dźwiękowych i kierowanie ich do narządu słuchu (u gatunków mających zdolność poruszania małżowinami usznymi). Na granicy ucha zewnętrznego i środkowego znajduje się **błona bębenkowa**, która przekształca fale dźwiękowe w sygnały mechaniczne, czyli drgania. Drgania te są wzmacniane i przenoszone za pomocą kosteczek słuchowych **ucha środkowego** – młoteczka, kowadełka i strzemiączka – na okienko owalne **ucha wewnętrznego**.

W uchu wewnętrznym serie drgań pobudzają właściwy narząd słuchu umiejscowiony w ślimaku, zwany narządem spiralnym. W uchu wewnętrznym znajduje się także **narząd równowagi** w postaci błędnika.

Nietoperze i walenie wykształciły zdolność **echolokacji**, czyli wysyłania dźwięków o wysokiej częstotliwości, a następnie odbioru fal odbitych od przeszkód. Dzięki temu orientują się w przestrzeni.

Zmysł dotyku jest szczególnie czuły u zwierząt zaopatrzonych w wibrysy. Ponadto w skórze ssaków występują receptory odbierające bodźce mechaniczne (m.in. dotyk). Są one skupione w różnych okolicach ciała, np. na palcach kończyn.

U niektórych ssaków dominującym zmysłem jest **wzrok**. Dobrze wykształcone oczy mają m.in. gatunki żyjące w koronach drzew. Oko ssaków jest zbudowane z gałki ocznej, nerwu wzrokowego oraz narządów dodatkowych, czyli aparatów ruchowego i ochronnego gałki ocznej. W skład aparatu ochronnego wchodzą dwie powieki zaopatrzone w rzęsy, które zatrzymują cząstki kurzu i pyłów, oraz gruczoły łzowe nawilżające gałkę oczną. Akomodacja oka odbywa się wyłącznie przez zmianę kształtu soczewki.

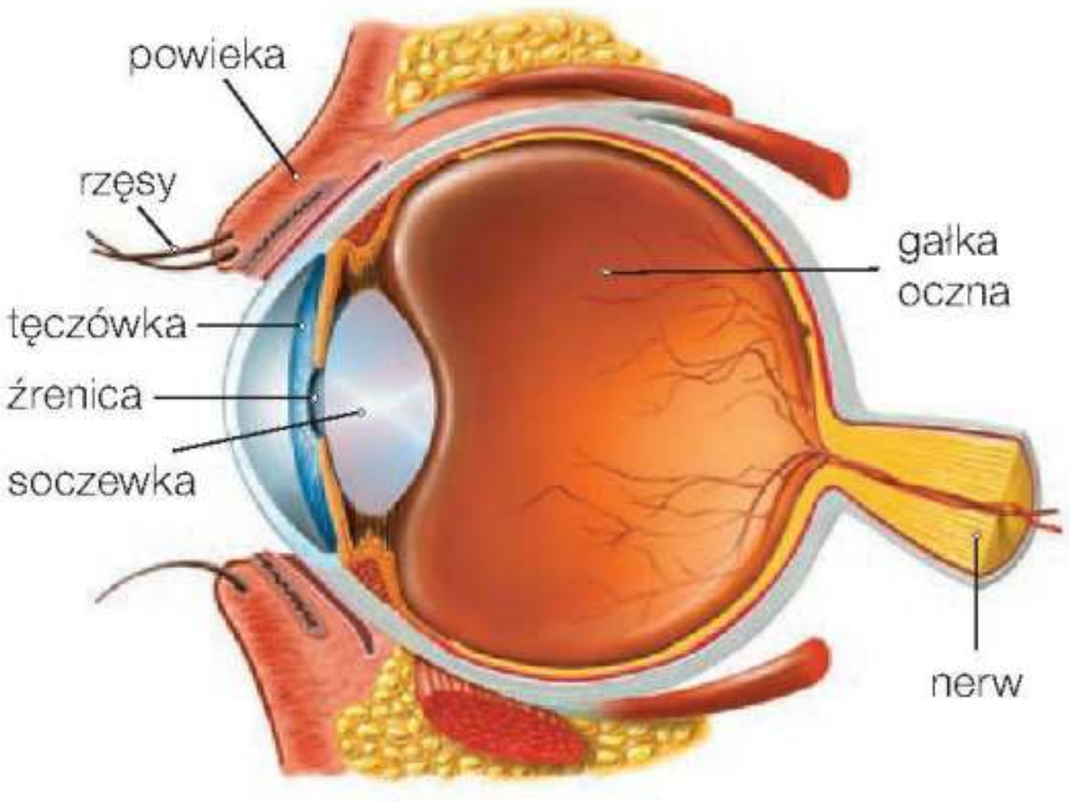
Ssaki mają na ogół dobrze rozwinięty **narząd smaku**. Kubki smakowe są rozmieszczone głównie na języku i odbierają różnorodne wrażenia smakowe.

Układ wydalniczy ssaków

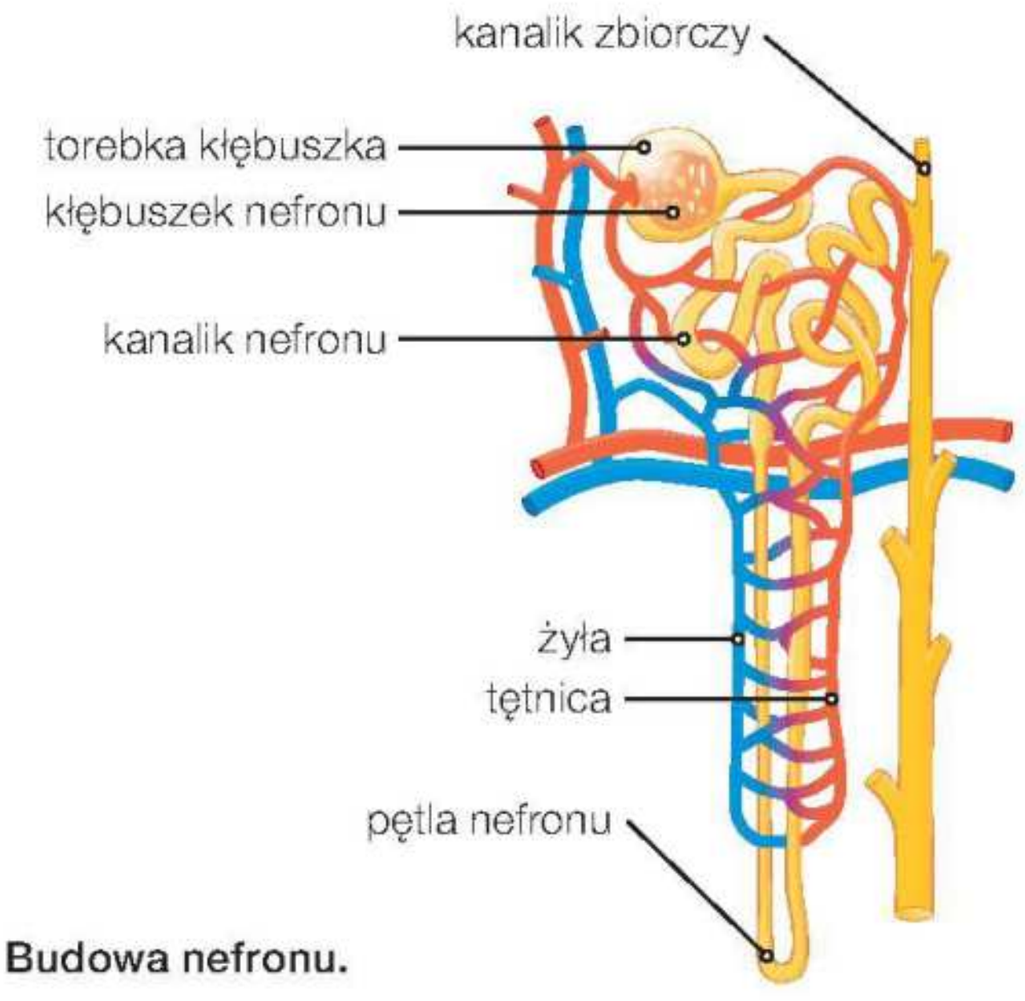
Narządami wydalniczymi ssaków są **nerki** typu zanercza, zwane również nerkami ostatecznymi. Podstawową jednostką funkcjonalną nerki jest **nefron**, zbudowany z ciałka nerkowego i kanalika nerkowego (kanalika nefronu). W kłębuszkach nerkowych zachodzi **filtracja kłębkowa**. Polega ona na przepływie 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. Skład moczu ulega modyfikacjom (w tym zagęszczaniu) w kanalikach nerkowych. W rezultacie powstaje mocz ostateczny, wydalany do środowiska za pośrednictwem **dróg wyprowadzających**. Należą do nich: moczowody, pęcherz moczowy i cewka moczowa, która u stekowców uchodzi do kloaki, natomiast u pozostałych ssaków – na zewnątrz ciała.

Większość ssaków jest **ureoteliczna** – głównym produktem azotowej przemiany materii jest u nich **mocznik**.

Niektóre ssaki, zwłaszcza pustynne oraz spożywające wodę morską, wytwarzają wyjątkowo stężony mocz. Mają one długie pętle nefronów, w których zachodzi intensywna resorpcja wody z moczu do krwi, a tym samym – silne zagęszczanie moczu.



Budowa oka ssaków.



Budowa nefronu.

Rozmnażanie się i rozwój ssaków

Wszystkie ssaki są **rozdzielnopłciowe**. U większości gatunków obserwuje się dymorfizm płciowy, który może występować stale lub tylko w okresie rozrodczym. Większość gatunków ssaków jest zdolna do rozrodu jedynie sezonowo (w określonej porze roku), inne, np. ssaki naczelne, mogą się rozmnażać przez cały rok.

U ssaków występuje **zapłodnienie wewnętrzne** oraz rozwój prosty. Zwierzęta te należą do owodniowców – w ich rozwoju wykształcają się błony płodowe (pęcherzyk żółtkowy, owodnia, omocznia i kosmówka). Większość gatunków jest żyworodna. Czas trwania ciąży z reguły jest krótki u drobnych ssaków (u gryzoni trwa ok. 3 tygodnie), a długi u większych ssaków (u słoni trwa ok. 22 miesiące).

Spośród **ssaków żyworodnych** najwięcej gatunków należy do łożyskowców. U tych zwierząt zarodek rozwija się w macicy, odżywiając się za pośrednictwem **łożyska**, które umożliwia sprawną wymianę substancji między nim a organizmem matki. Łożysko jest narządem płodowym składającym się z części płodowej (rozbudowanej kosmówki) oraz części matczynej (zmodyfikowanej błony śluzowej macicy). Jest ono połączone z płodem za pomocą **sznura pępowinowego**, wewnątrz którego znajdują się naczynia krwionośne. Do ssaków żyworodnych należą również torbacze, które nie wytwarzają właściwego łożyska. 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 zaledwie 9–40 dniach (tyle przeciętnie trwa ciąża) i natychmiast po urodzeniu pełzną do jednego z sutków umieszczonych w torbie lęgowej. Tam następuje ich dalszy rozwój, trwający znacznie dłużej niż sama ciąża. Młode rodzą się nie w pełni rozwinięte (np. ich kończyny nie pozwalają na efektywne przemieszczanie się) i stopniowo wykształcają cechy charakterystyczne dla dorosłych osobników.

Jedynymi **ssakami jajorodnymi** są stekowce, które współcześnie zasiedlają wyłącznie tereny Australii i Nowej Gwinei. Przedstawicielami

U łożyskowców (Holotheria) ciąża trwa długo. Młode poszczególnych gatunków różnią się stopniem rozwoju, np. parzystokopytne od razu po urodzeniu są zdolne do samodzielnego poruszania się.

Kangur szary (*Macropus fuliginosis*) jest przedstawicielem torbaczy (Marsupialia). Młode do ukończenia 9 miesiąca życia pozostaje w torbie lęgowej matki, w której wnętrzu występują gruczoły mlekowe.

Dziobak australijski (*Ornithorhynchus anatinus*) to przedstawiciel stekowców (Monotremata). Dziobaki są zwierzętami jajorodnymi, pozbawionymi brodawek sutkowych – mleko wydzielane jest na powierzchnię skóry matki, skąd jest zlizywane przez młode.

tego rzędu są dziobaki i kolczatki. Samice dziobaków składają od jednego do trzech jaj w specjalnych norach lęgowych, natomiast kolczatki – zwykle jedno jajo do skórnej torby, która rozwija się u nich w okresie lęgowym. Jaja stekowców mają kilkanaście milimetrów długości i są otoczone miękką, pergaminową osłonką – wylęgające się młode używają do opuszczenia jaja tzw. zęba jajowego. Okres inkubacji trwa ok. 10 dni. Po wylęgu młode są karmione mlekiem, które zlizują z sierści matki, ponieważ zwierzęta te nie mają sutków. Osobniki młodociane odżywiają się mlekiem przez okres od trzech do czterech miesięcy, później ich dieta składa się głównie z bezkręgowców.

Potrzeby energetyczne ssaków

Potrzeby energetyczne ssaków są ściśle związane z ich wielkością, aktywnością oraz temperaturą ciała.

- **Wielkość ciała**. Na temperaturę ciała i zapotrzebowanie organizmu na energię pochodzącą z pokarmu wpływa stosunek powierzchni ciała do jego objętości. Jeśli jest on duży, powoduje znaczne straty energii w postaci ciepła, dlatego małe zwierzęta mają zazwyczaj wysokie tempo metabolizmu i wykazują duże zapotrzebowanie energetyczne w porównaniu do większych zwierząt.
- **Aktywność życiowa** ssaków jest powiązana z temperaturą ich ciała oraz zapotrzebowaniem energetycznym. Zwierzęta o dużej aktywności ruchowej mają zwykle wyższą temperaturę ciała i wyższy poziom przemian metabolicznych niż zwierzęta mało aktywne.
- Względnie wysoka **temperatura ciała** jest warunkowana w dużym stopniu przez procesy metaboliczne. Utrzymywanie odpowiedniego tempa procesów metabolicznych jest jednym z mechanizmów termoregulacyjnych.

Stosunek powierzchni ciała do jego objętości jest mały u słonia, natomiast duży u myszy. Dlatego słoń ma niskie tempo metabolizmu, a mysz – wysokie.

Termoregulacja u ssaków

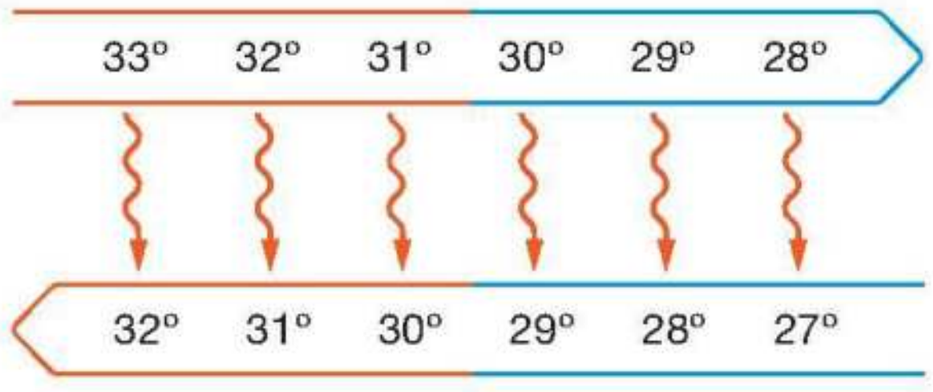
Środowisko lądowe cechuje się bardzo dużą rozpiętością temperatur. W okolicach okołobiegunowych temperatura spada nawet do –80°C, natomiast w pobliżu równika wzrasta niekiedy do 50°C. Mimo tego ssaki zasiedliły wszystkie strefy klimatyczne, a temperatura ich ciała utrzymuje się w granicach 35–42°C.

Utrzymanie stałej temperatury ciała wymaga precyzyjnej termoregulacji, która zachodzi dzięki mechanizmom anatomiczno-fizjologicznym oraz behawioralnym.

Mechanizmy anatomiczno-fizjologiczne polegają m.in. na:

- wytwarzaniu pokrywy włosowej przystosowanej do warunków środowiska,
- regulacji przepływu krwi przez skórne naczynia krwionośne
- regulacji pocenia się lub ziania,
- gromadzeniu tkanki tłuszczowej,
- wytwarzaniu ciepła przez pracujące mięśnie,
- wymianie ciepła między krwią cieplejszą a krwią chłodniejszą,
- zapadaniu w sen zimowy.

Mechanizmy behawioralne to specyficzne zachowania zwierząt mające na celu ogrzanie lub ochłodzenie organizmu.



U wielu ssaków występuje przeciwprądowy mechanizm wymiany ciepła między krwią cieplejszą a krwią chłodniejszą.

Ssaki – zwierzęta stałocieplne

Temperatura ciała ssaków cechuje się względną stałością dzięki wewnętrznym mechanizmom termoregulacyjnym oraz przystosowaniom behawioralnym.

Adaptacje ssaków do niskiej temperatury środowiska

Ssaki, które żyją w niskich temperaturach środowiska, wykształciły mechanizmy zabezpieczające organizm przed zbyt dużą utratą ciepła.

Niektóre ssaki, m.in. **susły** (*Spermophilus*), wchodzą zimą w stan hibernacji. Obniżają wtedy temperaturę ciała z 38°C do ok. 4°C. Jednocześnie obniżeniu ulegają: poziom metabolizmu, częstość skurczów serca oraz częstość oddechów.

Niedźwiedzie brunatne (*Ursus arctos*) zapadają jesienią w sen zimowy, który nie jest połączony z hibernacją. W tym czasie temperatura ich ciała obniża się tylko o ok. 2°C. Część ciepła potrzebnego do utrzymania stałej temperatury ciała dostarcza im tkanka tłuszczowa brunatna.

Makaki japońskie (*Macaca fuscata*) występują na obszarach, gdzie mroźna, śnieżna zima trwa wiele miesięcy. Przed wychłodzeniem chronią je: luźne i stosunkowo długie owłosienie, zbieranie się w grupy w celu utrzymania ciepła oraz kąpiele w gorących źródłach.

Foki (Phocidae) zasiedlające zimne wody morskie mają pod skórą grubą warstwę tkanki tłuszczowej, która pełni funkcję termoizolacyjną. Dodatkowo w ich płetwach działa przeciwprądowy mechanizm wymiany ciepła. Krew płynąca tętnicami z ciała do płetw oddaje część ciepła krwi płynącej żyłami w kierunku przeciwnym. Dzięki temu organizm nie ulega wychłodzeniu.

Pokrywa włosowa **niedźwiedzi polarnych** (*Ursus maritimus*) zatrzymuje niemal całość promieniowania podczerwonego, które jest emitowane przez skórę, oraz pochłania promieniowanie ultrafioletowe. W rezultacie zwierzęta te praktycznie nie odczuwają zimna i utrzymują temperaturę ciała na poziomie 37°C, mimo temperatury środowiska wynoszącej ok. –40°C.

Przystosowania ssaków do wysokiej temperatury środowiska

Ssaki, które żyją w wysokich temperaturach środowiska, wykształciły mechanizmy umożliwiające sprawne oddawanie ciepła z organizmu do otoczenia.

Nosorożce (Rhinocerotidae) to zwierzęta o małych zdolnościach pocenia się. Usuwają one nadmiar ciepła podczas kąpieli wodnych lub taplania się w błocie.

Niektóre zwierzęta, m.in. **fenki pustynne** (*Vulpes zerda*), są aktywne przede wszystkim w nocy. Ponadto mają duże uszy, za pośrednictwem których wypromieniowują ciepło z organizmu.

Strategia termoregulacyjna **leniwców** (Bradypodidae i Megalonychidae) polega na małej aktywności ruchowej. Zwierzęta te pobierają i trawią niskokaloryczny pokarm roślinny, który zaspokaja ich niewielkie potrzeby energetyczne.

U **psów dingo** (*Canis dingo*) zamiast pocenia się zachodzi zianie, czyli parowanie wody z wilgotnych błon śluzowych nosa i jamy gębowej.

Pokrywa włosowa **wielbłądów** (*Camelus*) jest krótka i gładka, dlatego odbija światło i umożliwia intensywne pocenie się. Duże straty wody w postaci potu uzupełnia woda metaboliczna powstająca w wyniku utleniania tłuszczu zmagazynowanego w garbach. Z kolei ochrona mózgowia przed przegrzaniem odbywa się dzięki przeciwprądowej wymianie ciepła między chłodniejszą krwią płynącą od nozdrzy a cieplejszą krwią płynącą w kierunku przeciwnym.

Różnorodność ssaków

Obecne znanych jest ok. 6 tys. gatunków ssaków zaliczanych do trzech podgromad: prassaków, ssaków niższych oraz ssaków wyższych, czyli łożyskowców.

Prassaki

Do prassaków należą stekowce (Monotremata), klasyfikowane w kategorii rzędu.

Stekowce różnią się od innych ssaków jajorodnością, brakiem sutków i zębów, obecnością kloaki (steku) oraz występowaniem kości kruczej w obręczy barkowej.

Do stekowców należy m.in. dziobak australijski (*Ornithorhynchus anatinus*).

Ssaki niższe

Do ssaków niższych zaliczamy torbacze (Marsupialia), klasyfikowane w kategorii rzędu.

Torbacze charakteryzują się brakiem właściwego łożyska i krótką ciążą. Młode rozwijają się w torbie lęgowej na brzuchu samic.

Do torbaczy należy m.in. diabeł tasmański (*Sarcophilus harrisii*).

Łożyskowce

Do łożyskowców należą m.in. owadożerne (Insectivora), szczerbaki (Edentata), walenie (Cetacea), nietoperze (Chiroptera), parzystokopytne (Artiodactyla), nieparzystokopytne (Perissodactyla), gryzonie (Rodentia), drapieżne (Carnivora) i naczelne (Primates), klasyfikowane w kategorii rzędu.

Naczelne są wyposażone w chwytne kończyny przednie, palce zakończone paznokciami i przeciwstawny kciuk.

Orangutan borneański (*Pongo pygmaeus*).

Owadożerne są najstarszą grupą łożyskowców o niezróżnicowanych zębach i gładkiej korze mózgowej. Prowadzą nocny tryb życia.

Jeż zachodni (*Erinaceus europaeus*).

Szczerbaki nie mają zębów lub mają tylko zęby policzkowe. Ich przednie kończyny są dobrze rozwinięte i zakończone potężnymi pazurami.

Mrówkojad wielki (*Myrmecophaga tridactyla*).

Nietoperze wykształciły zdolność lotu – ich kończyny przednie mają cienkie i długie kości, a na wydłużonych palcach rozpostarta jest skórna błona lotna.

Nocek duży (*Myotis myotis*).

Parzystokopytne mają trzeci i czwarty palec podobnej długości, palce te są zakończone kopytami.

Sarna europejska (*Capreolus capreolus*).

Nieparzystokopytne mają trzeci palec kończyn osłonięty kopytem, pozostałe ich palce są zwykle zredukowane.

Koń Przewalskiego (*Equus przewalskii*).

Gryzonie mają długie, rosnące przez całe życie siekacze, które u większości gatunków są oddzielone od zębów policzkowych przerwą zwaną diastemą.

Bóbr europejski (*Castor fiber*).

Drapieżne mają duże kły i ostre siekacze. Ich zęby przedtrzonowe i trzonowe są przystosowane do rozrywania zdobyczy.

Ryś euroazjatycki (*Lynx lynx*).

Walenie są ssakami wodnymi o opływowym kształcie ciała. Ich kończyny przednie są przekształcone w płetwy, a kończyny tylne uległy zanikowi.

Morświn zwyczajny (*Phocoena phocoena*).

Przystosowania ssaków do życia w różnych środowiskach

Ssaki opanowały praktycznie wszystkie środowiska. Część z nich zasiedliła wtórnie zbiorniki wodne, a część przystosowała się do różnorodnych siedlisk lądowych.

Ssaki wtórnie wodne

Należą do nich delfiny, np. delfin butlonosy (*Tursiops truncatus*). Kończyny przednie tych zwierząt przekształciły się w płetwy, natomiast tylne zanikły. Narządem ruchu jest głównie płetwa ogonowa. Delfiny oddychają za pomocą płuc, dlatego przed zanurzeniem wykonują głęboki wdech. Większość pobranego tlenu zostaje zmagazynowana w mięśniach, co pozwala na długotrwałe nurkowanie.

Ssaki ziemno-wodne

Należy do nich hipopotam nilowy (*Hippopotamus amphibius*), który zasiedla afrykańskie zbiorniki słodkowodne. 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, np. *Hipposideros caffer*, to jedyne ssaki zdolne do aktywnego lotu. Opanowały środowisko powietrzne dzięki przekształceniu kończyn przednich w skrzydła. Zwierzęta te prowadzą nocny tryb życia i wykorzystują mechanizm echolokacji, m.in. do wykrywania pokarmu lub przeszkód.

Podziemny tryb życia prowadzą m.in. krety, np. kret europejski (*Talpa europaea*). Zwierzęta te drążą w glebie tunele za pomocą silnych kończyn przednich, wyposażonych w pazury. Mają małe oczy o uproszczonej budowie oraz dobrze rozwinięte wibrysy.

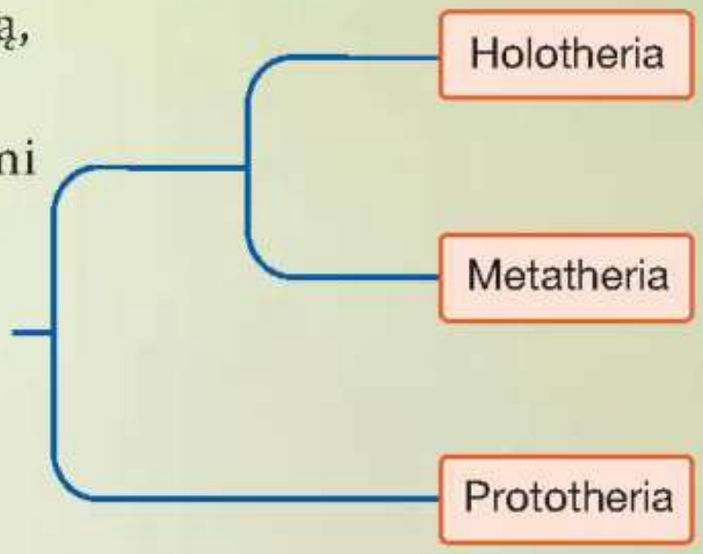
Do ssaków lądowych należą zającowate, np. zając bielak (*Lepus timidus*). Zwierzęta te poruszają się za pomocą skoków, dlatego ich tylne kończyny są znacznie dłuższe od przednich. Ciało pokrywa gęsta sierść, która pełni m.in. funkcję termoizolacyjną.

Dowiedz się więcej

Ewolucja ssaków. Stekowce i torbacze

Ssaki, klasyfikowane w kategorii gromady, są grupą monofiletyczną, która wywodzi się od jednego przodka. Zwierzęta te rozpoczęły zasiedlanie kuli ziemskiej ok. 180 milionów lat temu. Ich przodkami były synapsydy – gady, których czaszka miała jedną parę dołów skroniowych. Współczesne ssaki dzieli się na trzy główne podgromady:

- prassaki (Prototheria), wśród których wyróżnia się stekowce,
- ssaki niższe (Metatheria), do których należą torbacze,
- ssaki wyższe, zwane również łożyskowcami (Holotheria).



We wczesnym okresie ewolucji ssaków na Ziemi istniały dwa prakontynenty – Laurazja oraz Gondwana. Do Laurazji należały: współczesna Europa, część Azji oraz Ameryka Północna, natomiast do Gondwany: Ameryka Południowa, Afryka, Australia, Indie oraz Antarktyda.

- stekowce
- torbacze

Pochodzenie stekowców nie jest znane. Obecnie zwierzęta te występują wyłącznie w Australii, Tasmanii i Nowej Gwinei, ale ich skamieniałości odnajdywane są także w Ameryce Południowej. Do stekowców należą kolczatki oraz dziobaki.

Torbacze powstały prawdopodobnie w Laurazji, na obszarze Ameryki Północnej. Stamtąd przedostały się do Gondwany na teren Ameryki Południowej, a następnie przez Antarktydę do Australii. Współczesna fauna torbaczy amerykańskich jest nieliczna, a jednym z jej przedstawicieli jest dydelf wirginijski (*Didelphis virginiana*).

Torbacze australijskie to liczna i różnorodna grupa zwierząt, powstała dzięki odizolowaniu się Australii od innych kontynentów ok. 50 mln. lat temu. Jej przedstawicielami są m.in. koala australijski (*Phascolarctos cinereus*) oraz kangury (Macropodinae). Istotnym zagrożeniem dla współczesnych torbaczy jest wprowadzanie obcych gatunków ssaków łożyskowych, które wygrywają z nimi konkurencję o zasoby środowiska.

Znaczenie ssaków w przyrodzie i dla człowieka

Rozsiewanie nasion

Ssaki uczestniczą w rozsiewaniu nasion poprzez rozprzestrzenianie owoców. Owoce mogą być przenoszone na sierści lub zjadane. Z kolei wiewiórki gubią owoce podczas gromadzenia zapasów.

Regulacja liczebności populacji

Ssaki stanowią ważny element wielu sieci troficznych – np. bawoły odżywiają się roślinami, same zaś stanowią pożywienie drapieżników.

Rolnictwo i gospodarka

Udomowione ssaki (np. świnie, owce, bydło domowe) dostarczają mięsa, tłuszczu, skór, mleka, wełny oraz futer, wykorzystywanych m.in. w przemyśle spożywczym i odzieżowym.

Wyrządzanie szkód gospodarczych i roznoszenie chorób

W okresach niedostatku pokarmu niektóre ssaki, np. wilki, mogą wyrządzać szkody w gospodarstwach i atakować zwierzęta hodowlane. Ponadto niektóre gatunki ssaków mogą przenosić groźne dla ludzi choroby (np. lisy przenoszą bąblowicę oraz wściekliznę).

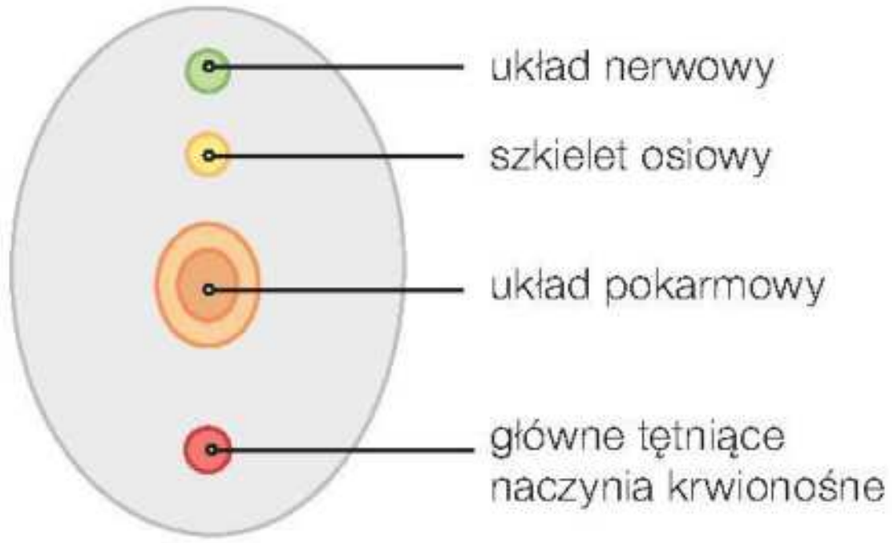
Polecenia kontrolne

1. Wymień cechy budowy charakterystyczne wyłącznie dla ssaków.
2. Podaj nazwy typów gruczołów występujących w skórze ssaków i określ funkcję każdego z nich.
3. Opisz cechy budowy układu pokarmowego ssaka roślinożernego.
4. Podaj różnice w procesie rozmnażania się ssaków łożyskowych i torbaczy.
5. Określ cechy, które pozwalają ssakom na utrzymanie stałej temperatury ciała.
6. Na podstawie dostępnych źródeł opisz przystosowania ssaków do życia w powietrzu, pod ziemią oraz na gałęziach drzew.

Podsumowanie

1 **Cechy strunowców:**

- występuje u nich struna grzbietowa,
- mają gardziel ze szczelinami skrzelowymi,
- występuje u nich układ nerwowy w postaci cewki nerwowej,
- mają cewkę nerwową nad struną grzbietową, a przewód pokarmowy i główne tętniące naczynia krwionośne pod struną grzbietową,
- występuje u nich umięśniony ogon.



Plan budowy strunowca.

2 **Cechy charakterystyczne lancetników:**

- należą do bezczaszkowców – zachowują wszystkie typowe cechy strunowców,
- mają ciało pokryte jednowarstwowym orzęsionym nabłonkiem,
- ich mięśnie zbudowane są z miomerów, oddzielonych od siebie mioseptami,
- ich szkielet stanowi struna grzbietowa,
- są filtratorami,
- mają układ nerwowy zbudowany z cewki nerwowej i odchodzących od niej nerwów,
- przeprowadzają wymianę gazową przez ściany jamy okołoskrzelowej i skórę,
- mają układ wydalniczy zbudowany z protonefrydiów,
- są rozdzielnopłciowe i występuje u nich zapłodnienie zewnętrzne.

3 **Cechy charakterystyczne kręgowców:**

- w ich ciele można wyróżnić: głowę, tułów i ogon; u niektórych obecna jest też szyja,
- przedni odcinek ich cewki nerwowej jest przekształcony w mózgowie, a pozostała część tworzy rdzeń kręgowy,
- jest u nich obecny chrzęstny lub kostny szkielet wewnętrzny,
- mają dobrze rozwinięty zmysł równowagi,
- ich narządem ruchu są kończyny zlokalizowane na tułowiu,
- mają zamknięty układ krwionośny.

4 **Porównanie cech grup kręgowców**

<table>
<tr><td>Krągłouste</td><td>Ryby</td><td>Płazy</td><td>Gady</td><td>Ptaki</td><td>SSaki</td></tr>
<tr><td>bezżuchwowce</td><td colspan="5">żuchwowce</td></tr>
<tr><td colspan="2">skrzelodyszne</td><td colspan="4">płucodyszne</td></tr>
<tr><td colspan="2">pierwotnie wodne</td><td colspan="4">pierwotnie lądowe</td></tr>
<tr><td colspan="3">bezowodniowce</td><td colspan="3">owodniowce</td></tr>
<tr><td colspan="4">zmiennocieplne</td><td colspan="2">stałocieplne</td></tr>
</table>

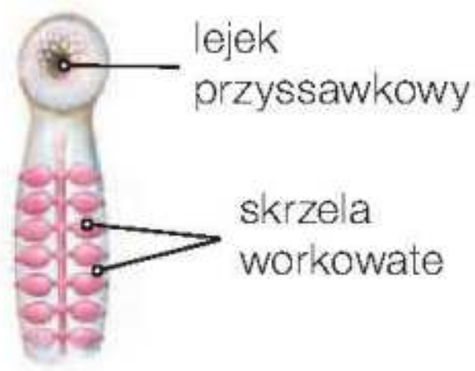
5 Pokrycie ciała kręgowców

Skóra kręgowców jest zbudowana z naskórka i skóry właściwej. Skóra pełni wiele funkcji, m.in. zabezpiecza organizm przed urazami, wnikaniem drobnoustrojów chorobotwórczych, a także zapewnia homeostazę.

Gromada	Pokrycie ciała	Wytwory naskórka	Wytwory skóry właściwej
Ryby	Skóra cienka, pokryta śluzem.	gruczoły śluzowe	łuski
Płazy	Skóra cienka, naga, pokryta śluzem.	gruczoły: śluzowe, jadowe	–
Gady	Skóra gruba, sucha, z silnie zrogowaciałym naskórkiem.	twory rogowe: łuski, tarczki, płytki, pazury, listwy	–
Ptaki	Skóra cienka, pozbawiona gruczołów (oprócz gruczołu kuprowego).	twory rogowe: pióra, łuski, pazury, dziób	–
Ssaki	Skóra gruba, ma złożoną budowę; zewnętrzne warstwy naskórka są zrogowaciałe i stale się łuszczą.	twory rogowe: włosy, pazury, paznokcie, kopyta, łuski, rogi, fiszbiny, płytki; gruczoły: łojowe, potowe, zapachowe, mlekowe	poroże (np. u jeleni)

6 Cechy krągłoustych (współczesnych bezżuchwowców):

- nie mają żuchwy i kości szczęk,
- występuje u nich nieparzysty otwór węchowy,
- nie mają parzystych płetw,
- struna grzbietowa stanowi główny element szkieletu osiowego,
- mają gładką skórę pokrytą śluzem,
- ich narządem wymiany gazowej są workowate skrzela,
- zasiedlają wody słodkie i słone.

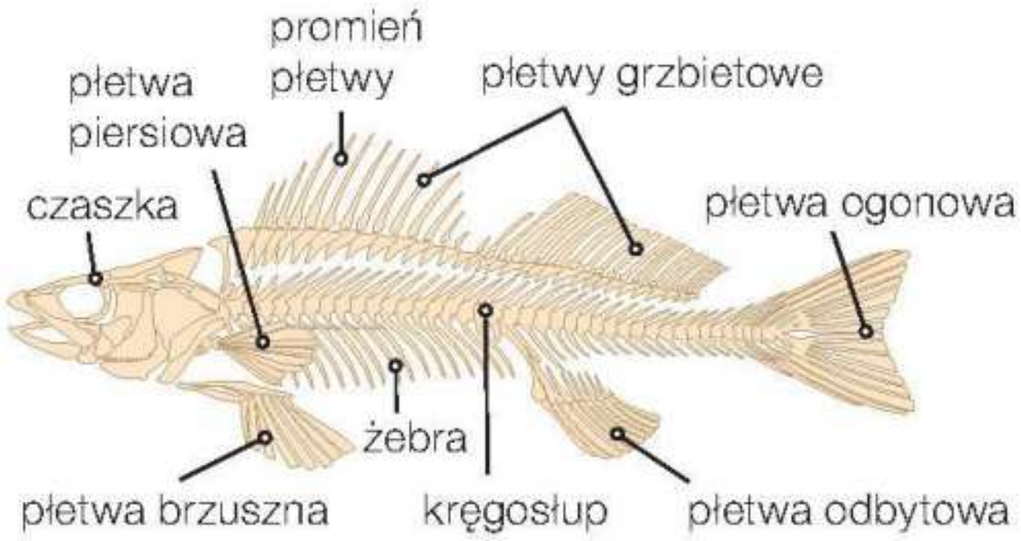


Przednia część ciała minoga.

7 Układ szkieletowy kręgowców

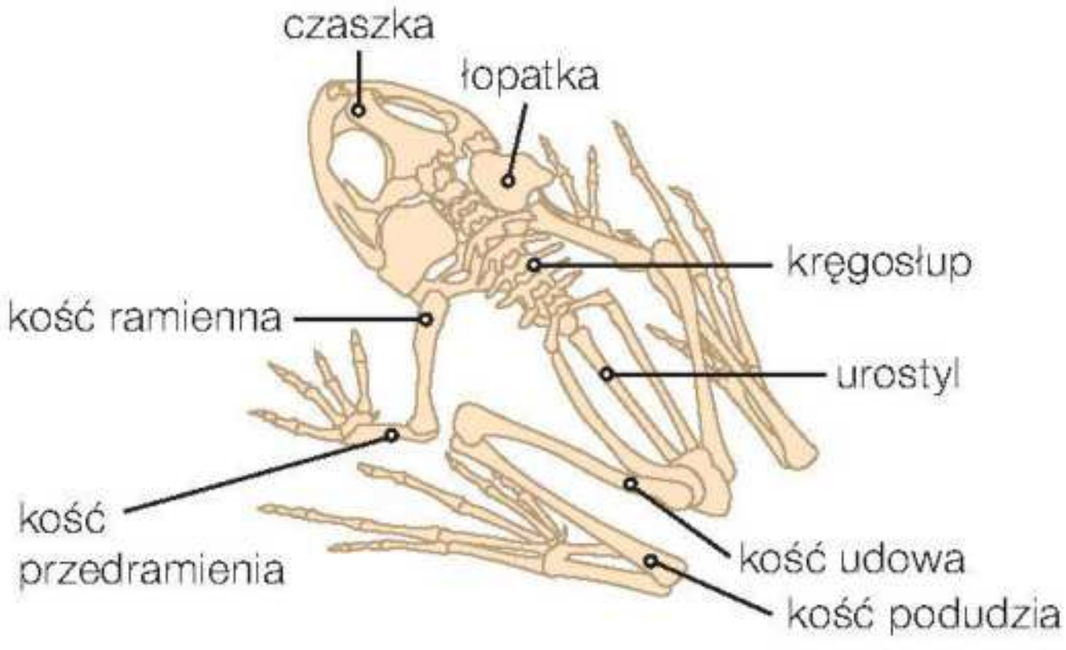
Ryby

- szkielet zbudowany ze szkieletu osiowego, szkieletu obręczy barkowej i miednicowej oraz szkieletu płetw,
- nieruchome połączenie czaszki z kręgosłupem,
- obecność szczęk oraz żuchwy,
- kręgosłup zbudowany z dwóch odcinków: tułowiowego i ogonowego,
- występowanie ości.



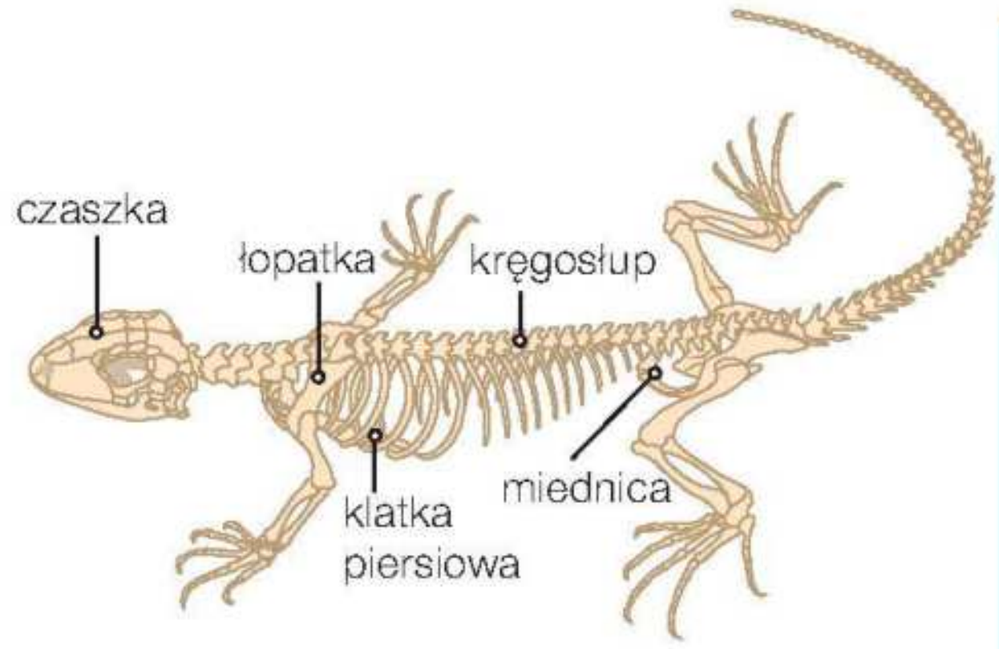
Płazy

- ażurowa konstrukcja czaszki,
- występowanie strzemiączka,
- występowanie szkieletu języka,
- połączenie czaszki z kręgosłupem za pomocą dwóch kłykci potylicznych,
- kręgosłup zbudowany z czterech części: szyjnej, tułowiowej, krzyżowej i ogonowej,
- występowanie atlasa,
- brak klatki piersiowej,
- obecność urostylu (u płazów bezogonowych),
- kończyny ułożone po bokach ciała.



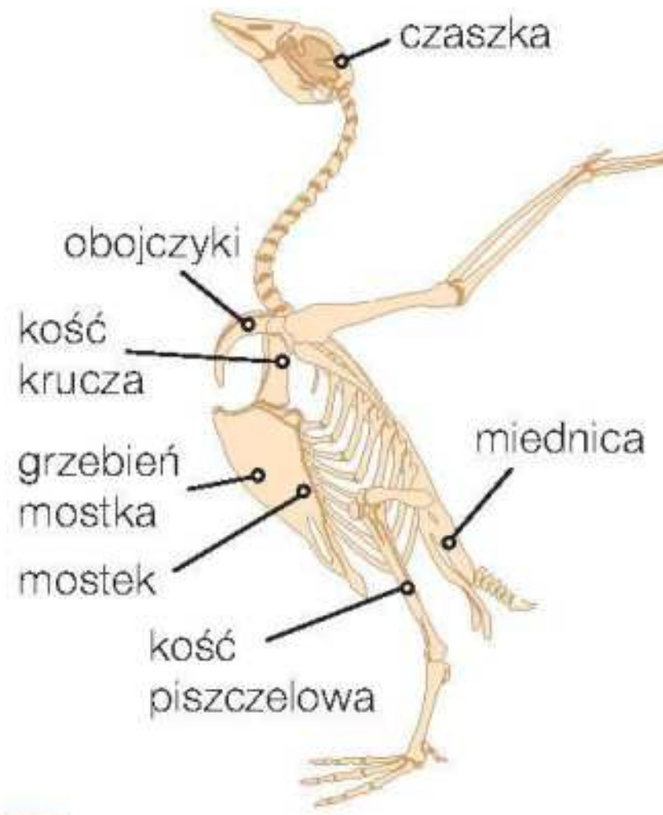
Gady

- obecność masywnej, skostniałej czaszki,
- obecność wydłużonej kości kwadratowej,
- połączenie czaszki z kręgosłupem za pomocą jednego kłykcia potylicznego,
- obecność dźwigacza i obrotnika,
- obecność klatki piersiowej,
- kończyny ułożone częściowo pod tułowiem.



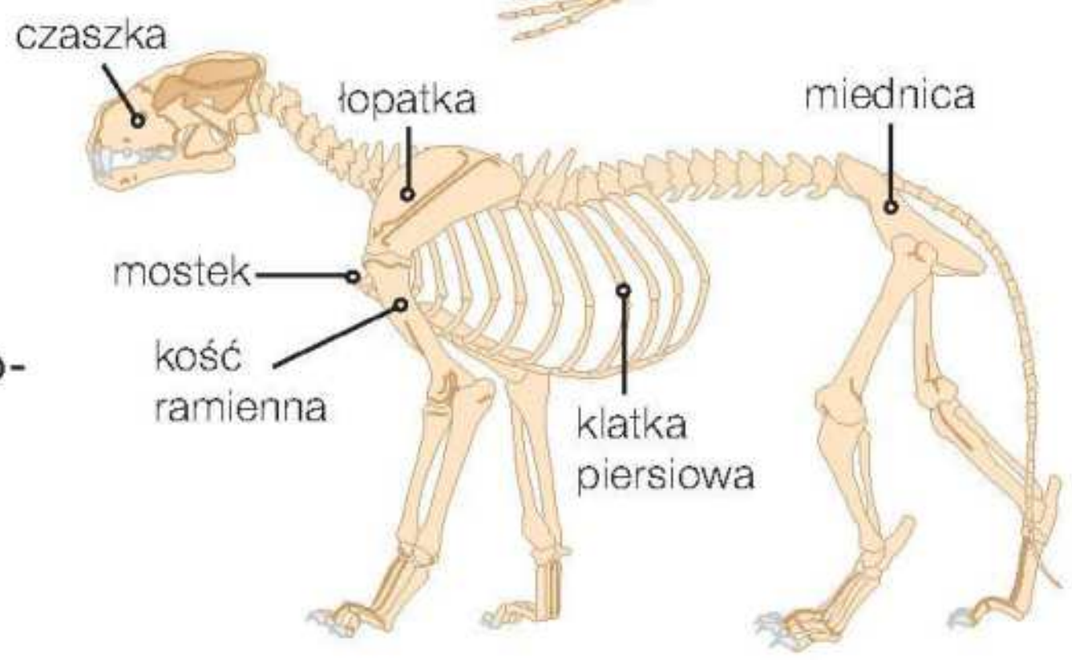
Ptaki

- obecność kości pneumatycznych,
- szczęki i żuchwa pozbawione zębów,
- obecność szkieletu dzioba,
- połączenie czaszki z kręgosłupem za pomocą jednego kłykcia potylicznego,
- obecność dźwigacza i obrotnika,
- zrośnięcie kręgów piersiowych i lędźwiowo-krzyżowych,
- obecność grzebienia kostnego na mostku,
- obecność kości kruczych,
- otwarta miednica.



Ssaki

- u dorosłych osobników połączenie kości czaszki szwami,
- żuchwa stanowiąca jedną kość,
- obecność trzech kosteczek słuchowych,
- czaszka połączona z kręgosłupem za pomocą dwóch kłykci potylicznych,
- zrośnięte kręgi w odcinku krzyżowym,
- kończyny umieszczone pod tułowiem.



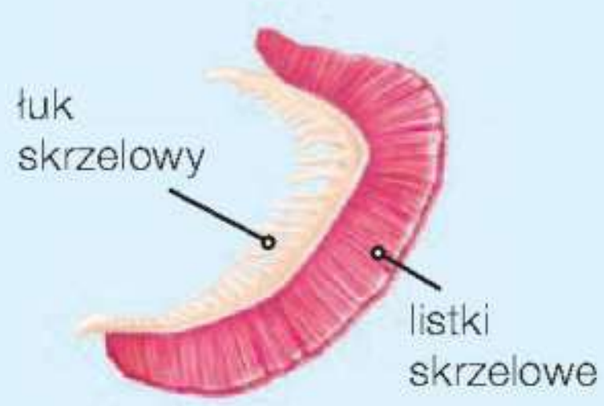
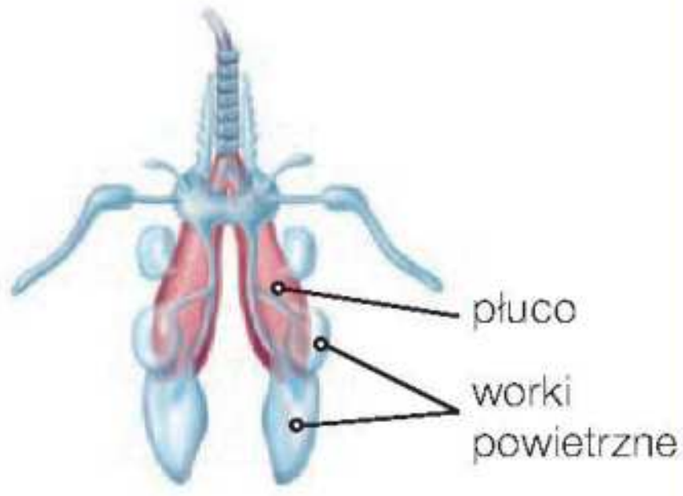
8 Układ pokarmowy kręgowców

Układ pokarmowy wszystkich kręgowców jest drożny i zbudowany z tych samych elementów: jamy gębowej, przełyku, żołądka, jelita cienkiego, jelita grubego i – u niektórych – kloaki.

Gromada	Budowa układu pokarmowego
Ryby	• W jamie gębowej nie ma gruczołów ślinowych, u wielu gatunków występują zęby. • U wielu ryb o kostnym szkielecie do jelita otwiera się ujście pęcherza pławnego. • Jelito grube jest zakończone odbytem (u niektórych 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 grubego znajduje się jelito ślepe. • Jelito grube uchodzi do kloaki.
Ptaki	• W jamie gębowej nie ma zębów. • Żołądek większości ptaków 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. • Budowa układu pokarmowego zależy od rodzaju spożywanego pokarmu. • Jelito grube u stekowców kończy się kloaką.

9 Układ oddechowy kręgowców

Narządem wymiany gazowej kręgowców wodnych są skrzela, a kręgowców lądowych – płuca. U kręgowców lądowych powietrze dociera do płuc przez drogi oddechowe.

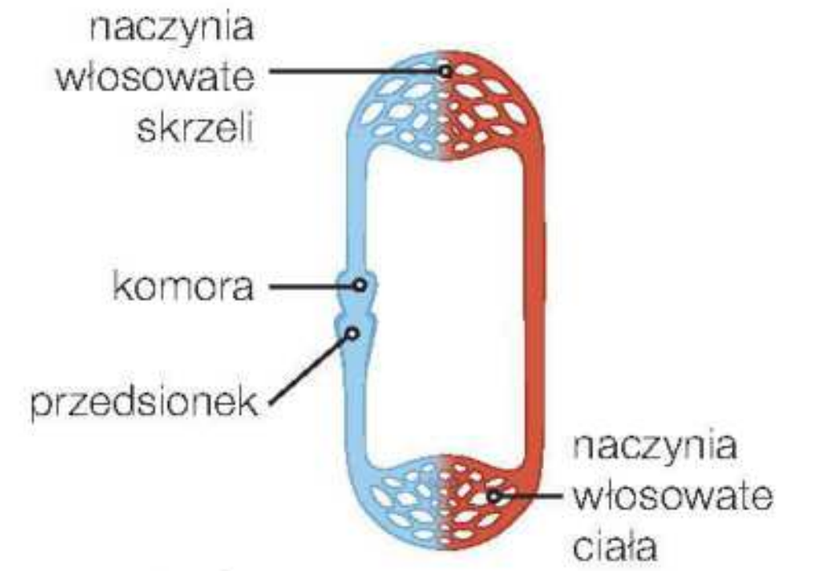
Gromada	Budowa układu oddechowego
Ryby	• skrzela wewnętrzne, u ryb dwudysznych – płuca • wymiana gazowa przebiega sprawnie dzięki obecności pokryw skrzelowych oraz przepływowi krwi przez skrzela na zasadzie przeciwprądów 
Płazy	• płuca workowate (u larw – skrzela), skóra, śluzówka jamy gębowej • wentylacja płuc odbywa się dzięki ruchom dna jamy gębowej
Gady	• płuca gąbczaste • wentylacja płuc odbywa się dzięki ruchom klatki piersiowej
Ptaki	• 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

10 Układ krwionośny kręgowców

U wszystkich kręgowców występuje zamknięty układ krwionośny. Składa się on z serca oraz systemu naczyń, wśród których można wyróżnić tętnice, żyły i naczynia włosowate.

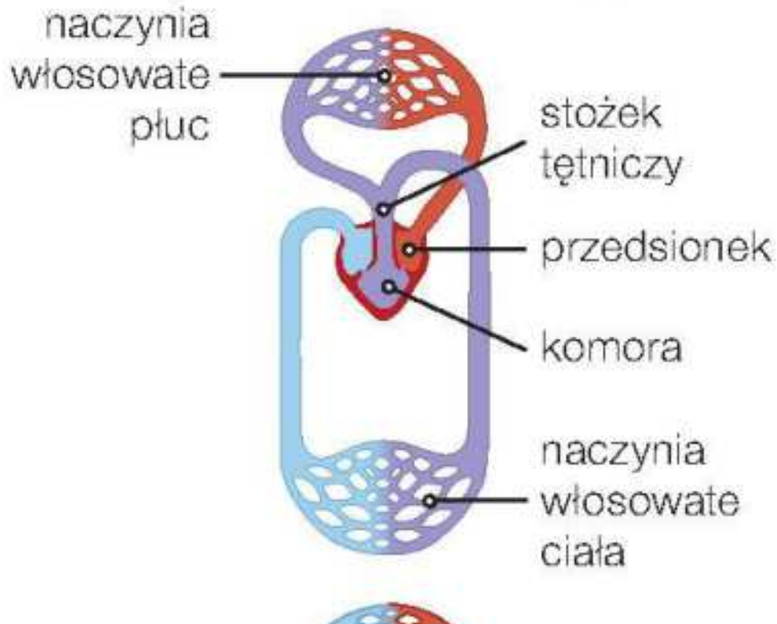
Ryby

- Układ krwionośny składa się z jednego obiegu krwi.
- Występuje w nim serce dwudziałowe (zbudowane z przedsionka i komory), przez które przepływa wyłącznie krew odtlenowana. Dodatkowo u ryb występują zatoka żylna i stożek tętniczy.



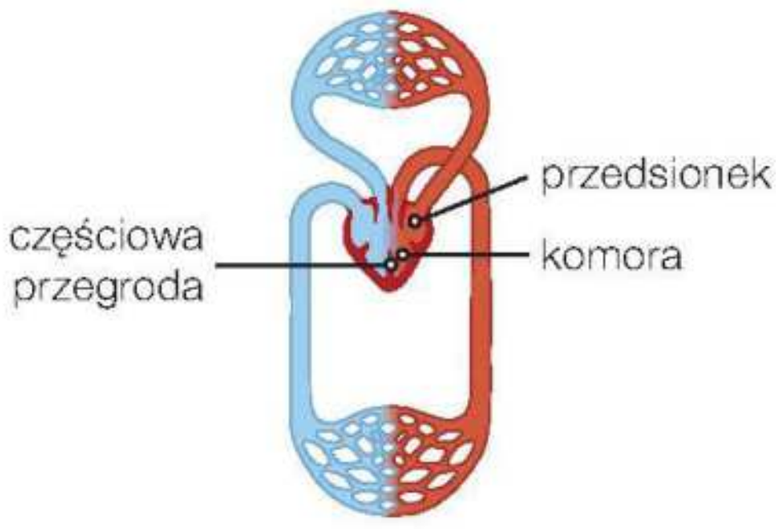
Płazy

- Układ krwionośny składa się z dwóch obiegów krwi.
- Występuje w nim serce trójdziałowe (zbudowane z dwóch przedsionków i komory) oraz stożek tętniczy.
- W komorze następuje częściowe wymieszanie się krwi odtlenowanej z utlenowaną.
- Krew jest wzbogacana w tlen również w naczyniach włosowatych skóry.



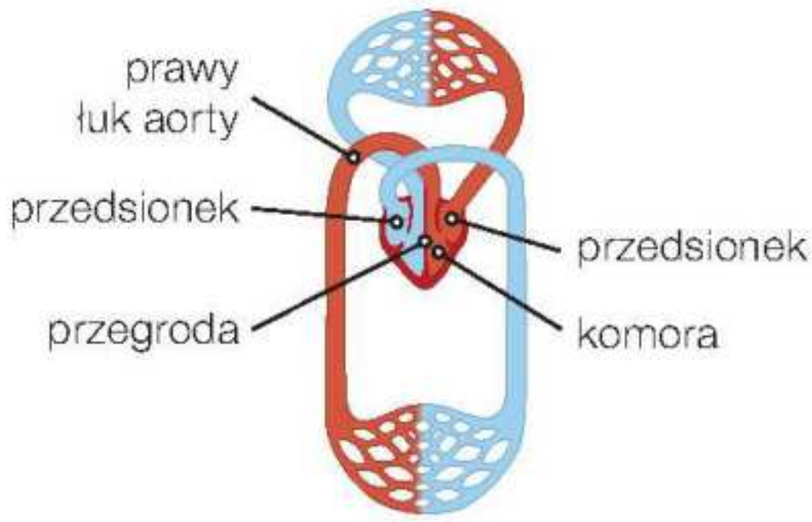
Gady

- Układ krwionośny składa się z dwóch obiegów krwi.
- Występuje w nim serce trójdziałowe (zbudowane z dwóch przedsionków i komory, w której jest obecna częściowa przegroda). Jedynie u krokodyli występuje przegroda całkowita.



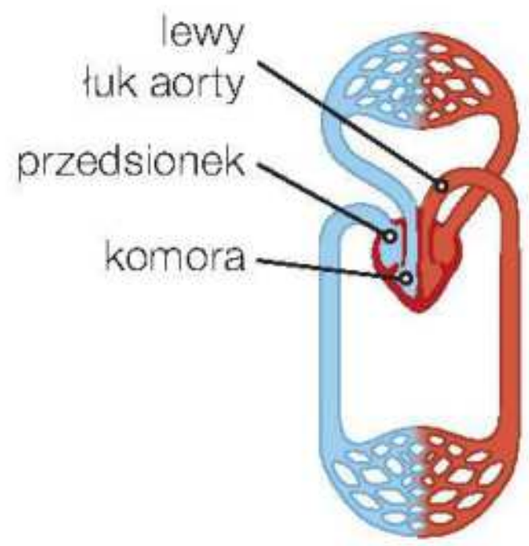
Ptaki

- Układ krwionośny składa się z dwóch obiegów krwi.
- Występuje w nim serce czterodziałowe (zbudowane z dwóch przedsionków i dwóch komór).
- Funkcjonuje prawy łuk aorty.



Ssaki

- Układ krwionośny składa się z dwóch obiegów krwi.
- Występuje w nim serce czterodziałowe (zbudowane z dwóch przedsionków i dwóch komór).
- Funkcjonuje lewy łuk aorty.



11 Układ nerwowy kręgowców

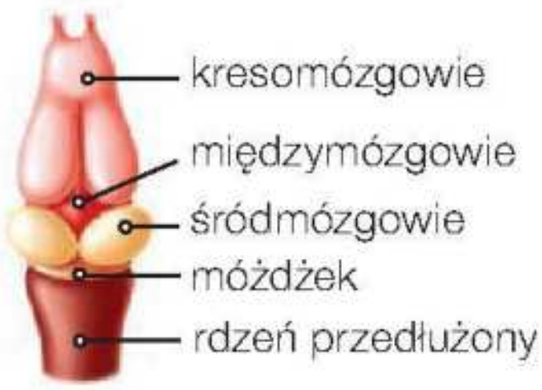
W budowie mózgowia kolejnych grup systematycznych kręgowców widać wyraźną tendencję ewolucyjną, która polega na rozwoju kresomózgowia, a także na zaniku liniowego ułożenia elementów mózgowia.

Ryby

- Mózgowie składa się z pięciu elementów podobnej wielkości, które są ułożone liniowo. Gatunki posługujące się zmysłem węchu mają silnie rozwinięte kresomózgowie i jego opuszki węchowe. Gatunki, dla których duże znaczenie ma wzrok, mają rozwinięte śródmózgowie, natomiast u szybko i długo pływających gatunków dobrze wykształcił się móżdżek.

Płazy

- Mózgowie składa się z pięciu elementów ułożonych liniowo. Występuje w nim silnie rozwinięte kresomózgowie zbudowane z dwóch półkul mózgowych. Ze względu na małą ruchliwość móżdżek jest słabo rozwinięty.



Gady

- Części mózgowia nie są ułożone liniowo. Mózgowie ma silnie rozwinięte kresomózgowie 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 wyraźnie lepiej rozwinięte niż u gadów.

Ssaki

- Kresomózgowie jest zbudowane z silnie pofałdowanych półkul, które nasuwają się od góry na pozostałe elementy mózgu.

12 Układ wydalniczy kręgowców

Gromada	Budowa układu wydalniczego	Końcowy produkt azotowej przemiany materii
Ryby	Składa się z parzystych nerek typu pranercza, parzystych moczowodów, pęcherza moczowego i kloaki (u spodoustych).	u ryb chrzęstnoszkieletowych – mocznik, u ryb o kostnym szkielecie – amoniak
Płazy	Składa się z parzystych nerek typu pranercza, parzystych moczowodów, pęcherza moczowego i kloaki.	mocznik (u larw – amoniak)
Gady	Składa się z parzystych nerek typu zanercza, parzystych moczowodów, pęcherza moczowego (pęcherz nie występuje u węży i krokodyli) oraz kloaki.	kwas moczowy (u gadów żyjących w wodzie również amoniak i mocznik)
Ptaki	Składa się z parzystych nerek typu zanercza i parzystych moczowodów uchodzących do kloaki. Nie występuje w nim pęcherz moczowy (wyjątek: strusie).	kwas moczowy
Ssaki	Składa się z parzystych nerek typu zanercza, parzystych moczowodów, pęcherza moczowego, cewki moczowej uchodzącej bezpośrednio na zewnątrz lub – u stekowców – do kloaki.	mocznik

13 Rozmnażanie się i rozwój kręgowców

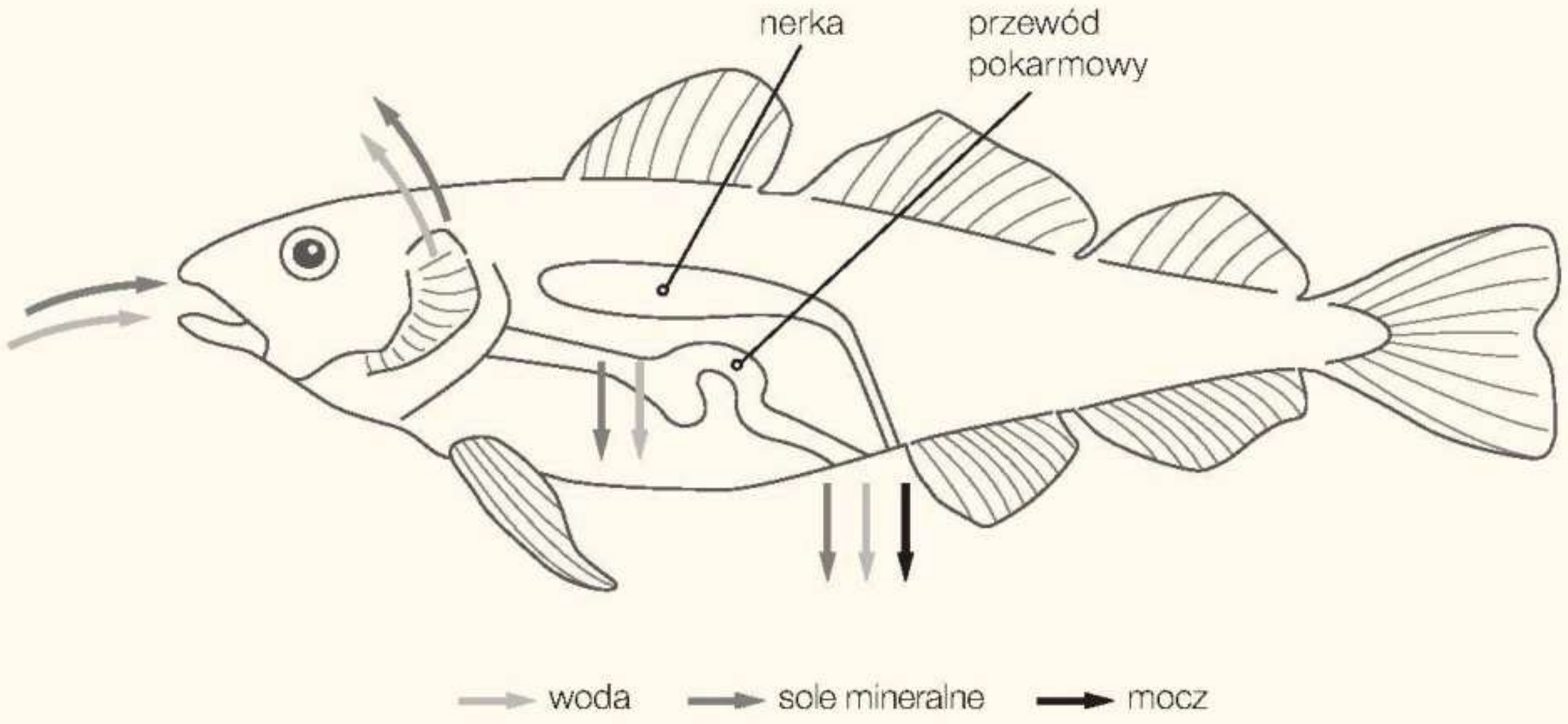
Kręgowce rozmnażają się płciowo. Rozmnażanie się ryb i płazów odbywa się w wodzie. Rozmnażanie gadów, ptaków i ssaków nie jest zależne od obecności wody – w ich rozwoju zarodkowym występują błony płodowe.

Gromada	Forma rozmnażania płciowego	Rodzaj zapłodnienia	Rodzaj rozrodu	Rodzaj rozwoju
Ryby	• w większości rozdzielnopłciowe, niektóre gatunki obojnacze	• u większości ryb o kostnym szkielecie – zewnętrzne • u ryb chrzęstnoszkieletowych – wewnętrzne	• u większości ryb o kostnym szkielecie – jajorodność • u ryb chrzęstnoszkieletowych – jajorodność, jajożyworodność lub żyworodność	• prosty lub złożony
Płazy	• rozdzielnopłciowe	• u płazów ogoniastych i beznogich – wewnętrzne • u płazów bezogonowych – zewnętrzne	• u płazów beznogich – żyworodność • u większości płazów ogoniastych i bezogonowych – jajorodność	• u większości rozwój złożony
Gady	• rozdzielnopłciowe	• wewnętrzne	• u większości – jajorodność	• prosty
Ptaki	• rozdzielnopłciowe	• wewnętrzne	• u wszystkich – jajorodność	• prosty
Ssaki	• rozdzielnopłciowe	• wewnętrzne	• u większości – żyworodność • u stekowców – jajorodność	• prosty

Sposób na zadania

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Schemat przedstawia mechanizm regulacji ciśnienia osmotycznego 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. Zaznacz P, jeśli informacja jest prawdziwa, albo F – jeśli jest fałszywa.

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 niewielkie ilości silnie stężonego moczu.	P	F

b) Podaj nazwę głównego azotowego produktu przemiany materii u ryb o kostnym szkielecie.

c) Dokończ zdanie. Wybierz odpowiedź A–C oraz jej uzasadnienie 1–3.

U większości dorosłych ryb występują nerki typu

A.	przednercza,	które są zbudowane	1.	z orzęsionych lejków.
B.	pranercza,		2.	z kłębuszków nerkowych.
C.	zanercza,		3.	z orzęsionych lejków i kłębuszków nerkowych.

Wskazówki

Podpunkt a)

1. Aby określić, czy pierwsze zdanie w tabeli jest prawdziwe, przypomnij sobie, czym jest osmoza. Informację na ten temat znajdziesz w podręczniku do klasy 1 na s. 89–90.
2. Zastanów się, czy woda morska w stosunku do płynów ustrojowych ryby o kostnym szkielecie stanowi roztwór hipotoniczny, hipertoniczny czy izotoniczny. Informacje na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 412. Następnie określ kierunek przemieszczania się wody w układzie woda morska – ciało ryby o kostnym szkielecie.
3. Na podstawie zgromadzonych informacji oceń, czy pierwsze z podanych zdań jest prawdziwe czy fałszywe. Zaznacz odpowiednią literę w tabeli.
4. Aby ustalić, czy drugie zdanie w tabeli jest prawdziwe, przeanalizuj dokładnie ilustrację zamieszczoną w zadaniu. Przyjrzyj się wskazaniom i zwróć uwagę na kierunki strzałek oraz legendę.
5. Na podstawie zgromadzonych informacji oceń, czy drugie z podanych zdań jest prawdziwe czy fałszywe. Zaznacz odpowiednią literę w tabeli.
6. W celu określenia, czy trzecie zdanie w tabeli jest prawdziwe, przypomnij sobie, w jakiś sposób u morskich ryb o kostnym szkielecie jest usuwany mocz. Informację na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 411.
7. Zastanów się, jaką gospodarkę wodną prowadzą morskie ryby o kostnym szkielecie. Pomocne w udzieleniu odpowiedzi na to pytanie będą wiadomości, które znajdziesz w podręczniku na s. 412.
8. Powiąż informacje dotyczące gospodarki wodnej u ryb morskich oraz ilości usuwanego przez nie moczu.
9. Na podstawie zgromadzonych informacji oceń, czy trzecie z podanych zdań jest prawdziwe czy fałszywe. Zaznacz odpowiednią literę w tabeli.

Podpunkt b)

1. Przypomnij sobie, jakie główne produkty przemiany materii wydalają ryby. Informację na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 411.
2. Uwzględniając środowisko życia morskich ryb o kostnym szkielecie, zastanów się, jaki będzie główny azotowy produkt ich przemiany materii. W razie potrzeby odszukaj tę informacje w podręczniku na s. 411.
3. Na podstawie zgromadzonych informacji sformułuj odpowiedź.

Podpunkt c)

1. Przypomnij sobie, jakie typy nerek występują u ryb. Informację na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 411.
2. Zwróć szczególną uwagę na budowę tej części układu wydalniczego, w którym odbywa się filtracja krwi. Pomocne w udzieleniu tej odpowiedzi mogą być wiadomości, które znajdziesz w podręczniku na s. 411.
3. Sformułuj poprawną odpowiedź.

Zadania powtórzeniowe

WYKONAJ W ZESZYCIE

1 Skóra kręgowców jest zbudowana z naskórka i 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) Zaznacz, które z poniższych struktur są wytworami naskórka, a które – skóry właściwej. Wstaw znak X w odpowiednich miejscach tabeli.

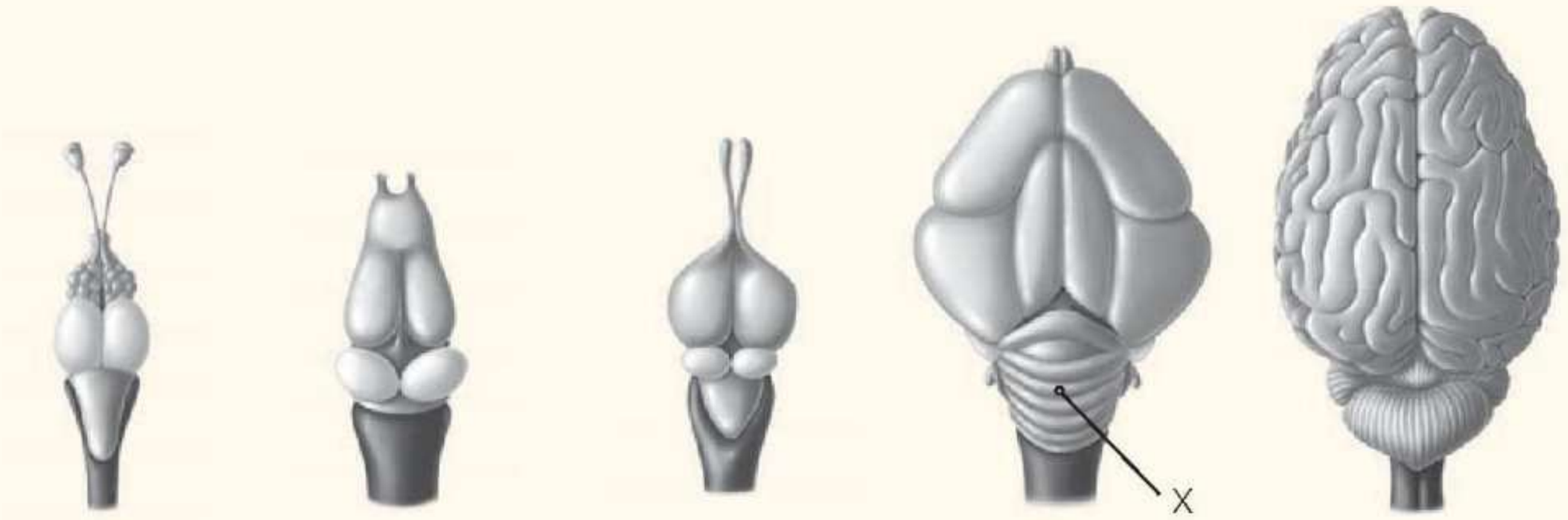
		Wytwór naskórka	Wytwór skóry właściwej
1.	Rybie łuski		
2.	Gruczoły śluzowe		
3.	Pióra		

c) Uzupełnij poniższe zdania tak, aby zawierały prawdziwe informacje dotyczące budowy komórek naskórka. Wybierz właściwe określenia spośród podanych.

Charakterystyczną cechą komórek naskórka jest duża zawartość *keratyny / kolagenu*, czyli substancji należącej do *rozpuszczalnych / nierozpuszczalnych* w wodzie *węglowodanów / białek*. Buduje ona *filamenty pośrednie / mikrotubule*, które są elementem cytoszkieletu, zapewniającym komórkom m.in. wytrzymałość na uszkodzenia mechaniczne.

2 Na schematach przedstawiono budowę mózgowia ryby (A), płaza (B), gada (C), ptaka (D) i ssaka (E).

A. B. C. D. E.

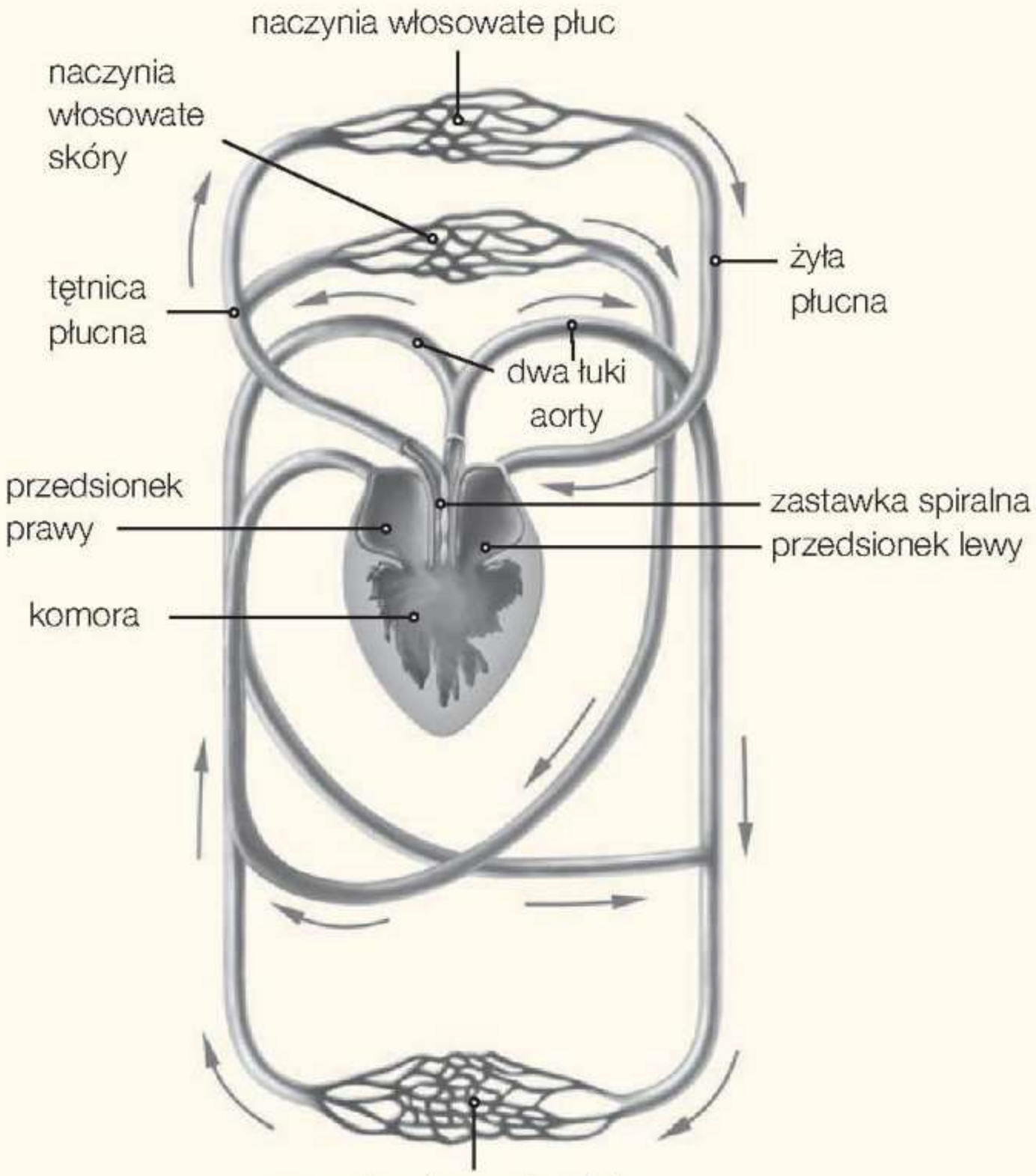


a) Podaj jedną tendencję ewolucyjną w rozwoju mózgowia u kręgowców.

b) Określ, czy część mózgowia ptaków oznaczona znakiem X jest lepiej rozwinięta u ptaków latających czy u ptaków nielatających. Odpowiedź uzasadnij, uwzględniając nazwę i funkcję tej części mózgowia.

c) Podaj nazwę tej części mózgowia kręgowców, która jest odpowiedzialna za odbieranie wrażeń węchowych.

3 Schemat przedstawia układ krwionośny dorosłego płaza.



a) Wyjaśnij, dlaczego u dorosłych płazów występują dwa obiegi krwi.

b) Uporządkuj elementy układu krwionośnego płazów w kolejności zgodnej z kierunkiem przepływu krwi. Wpisz w tabeli numery 1–5.

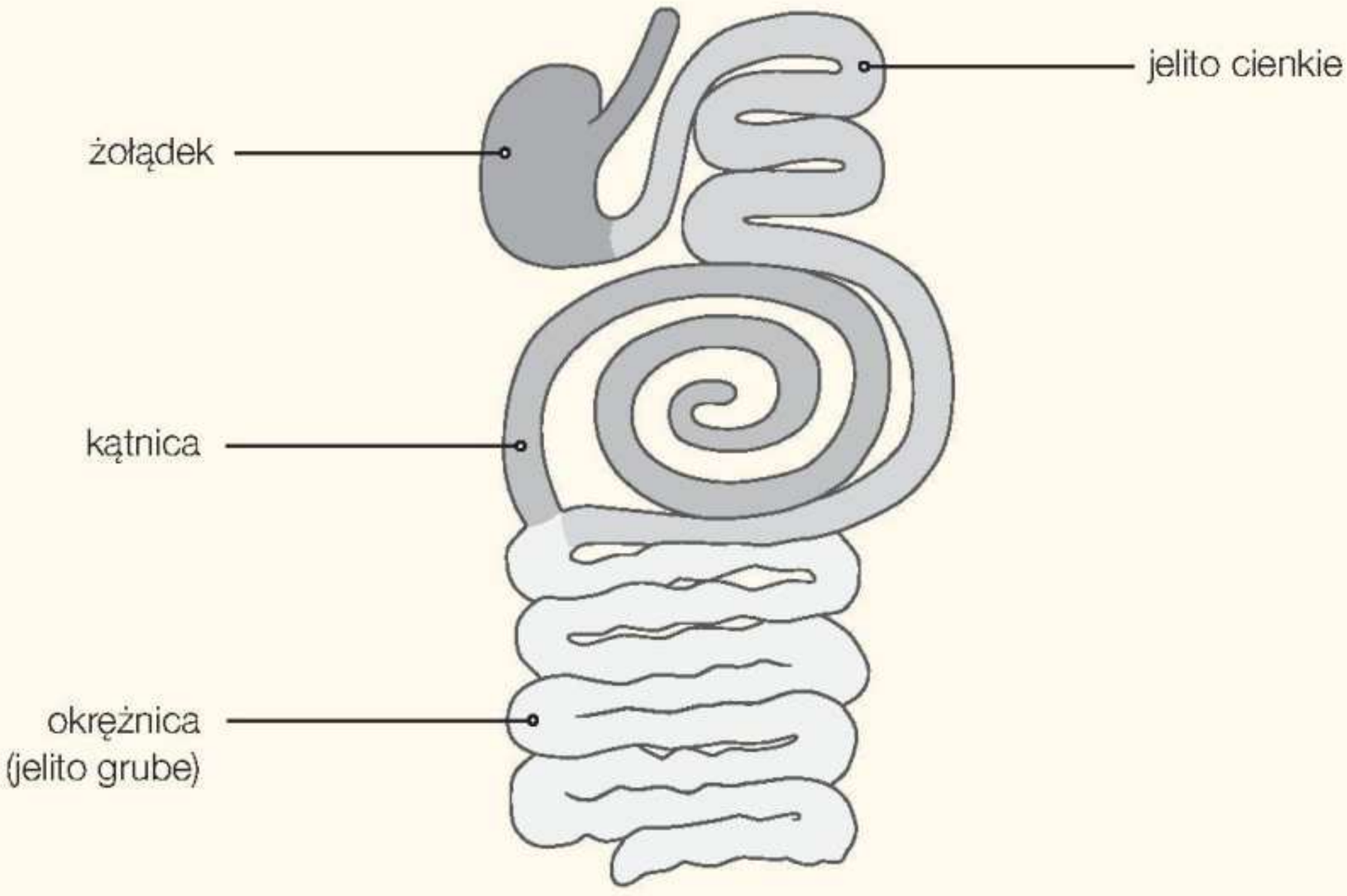
Elementy układu krwionośnego	Numer
Przedsionek lewy	
Przedsionek prawy	6
Tętnica płucna	
Komora	
Aorta	
Żyła płucna	

c) Wyjaśnij, dlaczego u płazów sieć naczyń włosowatych w skórze 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), zasiedlona przez symbiotyczne bakterie. Schemat przedstawia fragment układu pokarmowego koali.



Przewód pokarmowy koali.

Źródło: 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.

Podaj, które cechy (A–G) występują wyłącznie u gadów, a które – wyłącznie u ptaków. Wpisz odpowiednie litery we właściwych miejscach 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

Strona	Propozycja poprawnej odpowiedzi
	Bezkomórkowe czynniki zakaźne
19	a) W osłonce wirusa HIV obecne są glikoproteiny, które wiążą się do receptorów znajdujących się na powierzchni infekowanej komórki odpornościowej. Wirus infekuje więc tylko te komórki, które mają odpowiednie receptory.
	b) Stwierdzenie jest błędne, ponieważ osłonka wirusa HIV powstaje z błony komórkowej komórki gospodarza, a nie z elementów kodowanych przez genom wirusa.
	c) Odwrotna transkrypcja, numer 3.
	Różnorodność prokariontów, protistów, grzybów i porostów
82	a) Mikroorganizmy metanogenne są grupą parafiletyczną, ponieważ wywodzą się od jednego przodka, ale nie obejmują wszystkich jego potomków.
	b) Dwie struktury spośród wymienionych: błona komórkowa, rybosomy, cytozol
	c) sinice
	d) Dwa argumenty spośród wymienionych: obecność kolistego DNA niezwiązanego z histonami, obecność rybosomów 70S / typu prokariotycznego, obecność dwóch błon
	Różnorodność roślin
195	a) 1. F, 2. P, 3. P
	b) pęd wiosenny: 9 – wytwarzanie zarodników / rozmnażanie; pęd letni: 8 – funkcja asymilacyjna / odżywianie rośliny / przeprowadzanie fotosyntezy
	c) Sprężyce umożliwiają sczepienie się zarodników ze sobą, dzięki czemu są one roznoszone w grupach. Zwiększa to prawdopodobieństwo wykiełkowania obok siebie gametofitów męskich i żeńskich.
	Funkcjonowanie roślin
268	a) Wiązanie wodorowe – umożliwia ono wzajemne przyciąganie się cząsteczek wody (kohezja) i przyleganie cząsteczek wody do ścian cewek lub naczyń. Dzięki temu możliwy jest transport wody w ksylemie / drewnie.
	b) A
	c) Przykładowe rozwiązania: – silne zasolenie / przenawożenie gleby, – niskie temperatury powodujące zamarznięcie wody w glebie.
	Różnorodność bezkręgowców
384	a) motylica wątrobowa, tasiemiec uzbrojony
	b) Komórki nabłonka wirków zaopatrzone są w rzęski oraz pokrywa je warstwa śluzu. Rzęski umożliwiają poruszanie się wirków w środowisku wodnym. Śluz zmniejsza opór wody, dzięki czemu ułatwia poruszanie się oraz pełni funkcję ochronną.
	c) 1. rybosomy – synteza białka; 2. siateczka śródplazmatyczna szorstka / RER – modyfikacja białka / transport białka; 3. aparat Golgiego – modyfikacja białka / kierowanie białka poza komórkę
	d) tkanka nabłonkowa: ektoderma; tkanka mięśniowa: mezoderma
	Różnorodność strunowców
476	a) 1. P, 2. P, 3. P
	b) amoniak
	c) B3

Doświadczenia i obserwacje – odpowiedzi

Strona	Tytuł doświadczenia lub obserwacji	Propozycja poprawnej odpowiedzi
	Funkcjonowanie roślin	
204	Identyfikacja tkanki przewodzącej wodę w roślinie	Przewidywany wynik: Liść selera zabarwi się na granatowo. Na przekroju poprzecznym ogonka liściowego pojawią się granatowe punkty.
209	Badanie wpływu natężenia światła na intensywność transpiracji	Wniosek: Transpiracja zachodzi intensywniej przy większym natężeniu światła.
210	Badanie wpływu ograniczenia transpiracji na wystąpienie gutacji	Wniosek: Ograniczenie transpiracji powoduje usuwanie wody z liści na drodze gutacji.
210	Obserwacja płaczu roślin	Przewidywany wynik: Z miejsca przecięcia łodygi niecierpka będzie wypływała woda.
212	Badanie lokalizacji i zagęszczenia aparatów szparkowych u higrofitów, mezofitów i kserofitów	Wniosek: Higrofity tracą wodę przez obie powierzchnie liścia, a mezofity i kserofity – głównie przez dolną powierzchnię liścia.
214	Badanie wpływu stężenia roztworu glebowego na pobieranie wody przez rośliny	Wniosek: Zasolenie podłoża ogranicza pobieranie wody przez rośliny.
225	Badanie wpływu natężenia światła na intensywność fotosyntezy	Wniosek: Wzrost natężenia światła powoduje wzrost intensywności fotosyntezy u moczarki kanadyjskiej.
226	Badanie wpływu stężenia dwutlenku węgla na intensywność fotosyntezy	Wniosek: Podwyższone stężenie dwutlenku węgla powoduje wzrost intensywności fotosyntezy u moczarki kanadyjskiej.
227	Badanie wpływu temperatury na intensywność fotosyntezy	Wniosek: Wraz ze wzrostem temperatury rośnie intensywność fotosyntezy u moczarki kanadyjskiej.
240	Badanie wpływu wody na kiełkowanie nasion	Wniosek: Do kiełkowania nasion jest potrzebna woda.
240	Badanie wpływu temperatury na kiełkowanie nasion	Wniosek: Do kiełkowania nasion jest potrzebna odpowiednio wysoka temperatura otoczenia.
241	Badanie wpływu tlenu na kiełkowanie nasion	Wniosek: Do kiełkowania nasion jest potrzebny tlen.
241	Badanie wpływu światła na kiełkowanie nasion	Wniosek: Do kiełkowania nasion sałaty jest potrzebne światło.
242	Badanie wpływu liścieni na wzrost i rozwój siewek fasoli	Wniosek: Prawidłowy wzrost i rozwój siewek fasoli wymagają obecności obu liścieni.
244	Badanie wpływu wierzchołka wzrostu pędu na rozwój pąków bocznych	Wniosek: Wierzchołek wzrostu pędu hamuje rozwój pąków bocznych.
252	Badanie wpływu etylenu na dojrzewanie owoców	Wniosek: Etylen przyspiesza dojrzewanie owoców.
258	Badanie różnic w fototropizmie korzenia i pędu	Wniosek: Pod wpływem światła kierunkowego korzeń fasoli wykazuje fototropizm ujemny, a pęd – fototropizm dodatni.
258	Obserwacja geotropizmu korzeni i pędów	Przewidywany wynik: Korzenie kiełkujących roślin będą się wyginały do dołu, natomiast pędy – do góry.
260	Obserwacja termonastii kwiatów tulipana	Przewidywany wynik: Kwiat otworzy się szybciej w naczyniu z cieplejszą wodą.

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. wrotki i ślimaki w czasie anabiozy obniżają tempo metabolizmu, a bakterie wytwarzają formy przetrwalnikowe – cysty lub endospory.

analogia – podobieństwo dotyczące całego organizmu lub jego poszczególnych elementów, które nie wynika z pokrewieństwa, a 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 rozmnażanie się i wzrost.

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 związku nieorganicznego, którym jest dwutlenek węgla. 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, hemocyjanina, hemoerytryna i chlorokruoryna.

bielmo – tkanka spichrzowa, która otacza zarodek, złożona z komórek triploidalnych. Występuje w nasionach roślin okrytonasiennych.

bielmo pierwotne – występuje w nasionach roślin nagonasiennych. Jest to wielokomórkowy gametofit żeński, zbudowany z miękiszu, zawierającego substancje zapasowe wykorzystywane przez zarodek i siewkę.

blastomery – komórki zarodka powstałe podczas wczesnego etapu rozwoju zarodkowego (bruzdkowania).

blastula – wczesne stadium rozwoju zarodka, powstałe w wyniku podziałów mitotycznych blastomerów. Ma postać pęcherzyka, którego ściana jest zbudowana z jednej warstwy komórek zwanej blastodermą, a wnętrze jest wypełnione płynem.

bruzdkowanie – pierwszy etap rozwoju zarodkowego, polegający na podziałach mitotycznych zygoty. Komórki potomne powstałe podczas bruzdkowania są nazywane blastomerami. W efekcie bruzdkowania powstaje najpierw morula, a następnie 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. Woda przepływa z komórki do komórki przez błony zamykające jamki.

cewki Malpighiego – narządy wydalnicze owadów, wijów i niektórych pajęczaków. Są to ślepo zakończone, rurkowate uwypuklenia przewodu pokarmowego, wyrastające na granicy jelita środkowego i 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 przy udziale 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.

choanocyty (komórki kołnierzykowe) – komórki zaopatrzone w wić otoczoną kołnierzykiem, występujące u gąbek. Ruch wici zapewnia przepływ wody przez ciało gąbki i umożliwia wychwytywanie cząstek pokarmu.

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 roztworu powstające w wyniku samorzutnego przepływu wody przez błonę półprzepuszczalną. Ciśnienie osmotyczne ma zawsze wartość dodatnią i rośnie wraz ze wzrostem stężenia roztworu. Do pomiaru tego ciśnienia służy osmometr.

ciśnienie turgorowe – ciśnienie hydrostatyczne pojawiające się w komórkach roślinnych na skutek napływu wody.

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 przez odwodnienie i otoczenie 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.

cytokininy – hormony roślinne. Pobudzają komórki roślinne do podziałów, odpowiadają za prawidłowy rozwój chloroplastów, stymulują wzrost wydłużeniowy komórek oraz ich różnicowanie się.

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, występuje np. u wrotków, skorupiaków.

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 oraz grzybów. U bakterii powstaje przez podział komórki na dwie nierówne części, z których mniejsza zostaje otoczona nową, grubą ścianą komórkową i staje się endosporą. U grzybów endospory tworzą się wewnątrz zarodni (sporangium).

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.

estywacja – sen letni, fizjologiczny stan odrętwienia występujący okresowo u niektórych gatunków zwierząt, spowodowany brakiem pokarmu i wody. Charakteryzuje się zmniejszeniem intensywności zachodzących procesów metabolicznych.

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 przyczepianie się komórek do podłoża.

fitohormony – drobnocząsteczkowe związki organiczne naturalnie występujące w roślinach, regulujące ich wzrost i rozwój. Wyróżnia się pięć głównych grup fitohormonów: auksyny, gibereliny, cytokininy, kwas abscysynowy 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 przy udziale energii świetlnej.

fotoperiodyzm – zależność procesów życiowych roślin od czasu trwania okresów światła i ciemności.

gametangiogamia – sposób rozmnażania płciowego u grzybów, polegający na łączeniu się całych gametangiów. Występuje m.in. u workowców i sprzężniowych.

gametofit – pokolenie haploidalne roślin, rozmnażające się za pomocą gamet.

gastrolity – drobne kamienie magazynowane w żołądkach np. ptaków, służące do rozcierania pokarmu.

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.

giberelliny – hormony roślinne, które pobudzają m.in. wzrost wydłużeniowy komórek, podziały komórkowe, kwitnienie i powstawanie owoców. Przerywają także spoczynek nasion i pobudzają ich kiełkowanie.

gutacja – zjawisko wydzielania kropli wodnistego płynu na brzegach i wierzchołkach liści przez specjalne otwory (hydatody) w warunkach, gdy transpiracja jest utrudniona, a zawartość wody w glebie – duża.

halofil – organizm naturalnie występujący 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.

hibernacja – fizjologiczny stan odrętwienia, występujący okresowo u niektórych gatunków zwierząt (np. nietoperzy, susłów czy świstaków), spowodowany działaniem niskiej temperatury. Charakteryzuje się zmniejszeniem intensywności procesów metabolicznych.

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 funkcje fotosyntezy zaczynają pełnić pierwsze liście. Występuje np. u grochu, leszczyny.

kłącza – wieloletnie, zgrubiałe, podziemne łodygi o skróconych międzywęźlach i nieograniczonym wzroście. Występują u bylin, np. u imbiru, konwalii oraz kosaćca. Pełnią funkcję 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 i wrotków. Ma w środku kanalik, do którego światła odchodzi 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 (drzewnik) – 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 – ostateczna jama ciała stawonogów i mięczaków, 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. Służą do rozmnażania bezpłciowego.

mejospory – haploidalne zarodniki powstające w wyniku mejozy, np. u grzybów i roślin. Służą do rozmnażania płciowego.

mocznik – produkt rozkładu białek wydalany przez ryby chrzęstnoszkieletowe, dorosłe płazy i ssaki.

morula – wczesne stadium rozwoju zarodka zwierząt, powstałe w wyniku bruzdkowania. Forma zarodka zbudowana z kilkudziesięciu blastomerów.

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 – odwracalne 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 (*Ambystoma mexicanum*).

neuron – komórka nerwowa zbudowana z ciała komórki oraz dwóch rodzajów wypustek – dendrytów i aksonów. Przewodzi impulsy nerwowe.

nóżki ambulakralne – zakończenia odgałęzień układu ambulakralnego (wodnego) szkarłupni. Pełnią funkcję narządu ruchu oraz zmysłu dotyku, a u liliowców, rozgwiazd, jeżowców i wężowideł uczestniczą w wymianie gazowej.

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, znajdująca się między owodnią a kosmówką. Ma zdolność zwrotnego wchłaniania wody, dzięki czemu woda może być wielokrotnie wykorzystana przez zarodek. W jamie omoczni gromadzą się produkty przemiany materii zarodka.

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 – dodatnie ciśnienie hydrostatyczne w elementach przewodzących drewna, działające jak pompa tłocząca wodę w górę (do łodygi i liści). Jego przejawem jest gutacja oraz tzw. wiosenny płacz roślin.

parenchyma – 1. u płazińców – wywodząca się z mezodermy tkanka wypełniająca przestrzenie między narządami. Składa się z różnokształtnych komórek połączonych wypustkami, które m.in. rozprowadzają substancje odżywcze do innych tkanek. 2. u roślin – synonim tkanki miękiszowej.

partenogeneza (dzieworództwo) – rodzaj rozmnażania polegający na rozwoju organizmu potomnego z niezapłodnionego jaja. Występuje u nicieni, wrotków, niektórych owadów i skorupiaków.

pasożytnictwo – rodzaj oddziaływania, w którym jeden organizm, nazywany pasożytem, żyje kosztem drugiego organizmu, nazywanego żywicielem.

pellikula – białkowa powłoka, która znajduje się pod błoną komórkową 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 wyróżniamy 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. 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.

półdesmosomy – struktury, które łączą filamenty pośrednie cytoszkieletu komórek nabłonka z błoną podstawną. Zapewniają integralność tkanki.

pranercze – parzysty narząd wydalniczy większości ryb i larw płazów. Składa się z orzęsionych lejków i kłębuszków nerkowych.

pręcik – męski organ rozmnażania płciowego występujący w kwiatach roślin nasiennych.

prion – czynnik infekcyjny składający się wyłącznie z białka, niezawierający w swojej strukturze kwasów nukleinowych. Priony nie mają budowy komórkowej i nie przejawiają samodzielnej aktywności metabolicznej. Namnażają się tylko w komórkach organizmu gospodarza.

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 i wrotków). 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 nagozalążkowych.

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 całego 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.

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 – jeżeli segmenty są do siebie bardzo podobne i mają podobny zestaw narządów (np. u pierścienic) – oraz segmentację heteronomiczną – jeżeli segmenty różnią się od siebie (np. u stawonogów).

sklereidy – komórki, które mogą występować w niewielkich grupach, np. w miękiszu owocu gruszy lub pigwy (komórki żywe), lub tworzyć zwarte warstwy w formie łupin nasiennych lub zdrewniałych owocni (komórki martwe).

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 okrytozalążkowych.

somatogamia – sposób rozmnażania płciowego grzybów. Polega na łączeniu się zróżnicowanych płciowo strzępek np. u podstawczaków.

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, mięczaków i osłonic. 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 wrotków, 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 – 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. Może występować przez całe życie, np. u lancetników i krągłoustych. U większości strunowców jest obecna 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.

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 i konieczny do ich przeżycia.

synapsa – wyspecjalizowane połączenie między komórkami nerwowymi, pozwalające na przekazywanie impulsu nerwowego. Wyróżnia się synapsy chemiczne i elektryczne.

synapsa chemiczna – połączenie między komórkami, w którym impuls nerwowy jest przekazywany za pomocą związku chemicznego – neuroprzekaźnika.

synapsa elektryczna – połączenie między komórkami, w których impuls nerwowy jest przekazywany bezpośrednio z jednej komórki do drugiej przez kanały konekson ów.

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 – sztucznie wyodrębniona grupa organizmów. Obejmuje organizmy wywodzące się od jednego przodka, ale nie zawiera 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.

teoria telomowa – teoria wyjaśniająca ewolucyjne pochodzenie roślin lądowych, zakładająca, że wszystkie organy współczesnych roślin powstały w wyniku stopniowego przekształcania się pędów ryniofitów.

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, jest to tropizm dodatni, jeśli natomiast zachodzi w stronę przeciwną – 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. Nóżki ambulakralne pełną funkcję narządu ruchu i zmysłu dotyku oraz uczestniczą w wymianie gazowej.

urwistki – 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.

wibrysy – włosy czuciowe, z reguły długie i sztywne. Stanowią bardzo czuły narząd dotyku. Występują u wielu gatunków ssaków, najczęściej na głowie. Wibrysy wargi górnej są nazywane u zwierząt wąsami.

wirion – kompletna cząstka wirusa, występująca w środowisku pozakomórkowym, zdolna do atakowania komórek.

wirus – czynnik zakaźny zbudowany z kwasu nukleinowego i białka. W skład niektórych wirusów mogą wchodzić dodatkowe elementy budulcowe.

wiroid – czynnik zakaźny zbudowany wyłącznie z kwasu nukleinowego – RNA – bez otoczki białkowej. Wiroidy są pasożytami roślin zdolnymi do replikacji wyłącznie w komórkach gospodarza, całkowicie uzależnionymi od enzymów obecnych w komórce zaatakowanej rośliny.

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 zarodniki (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 i kręgowców.

zalążek – struktura występująca u roślin nasiennych, homologiczna z zarodnią (makrosporangium). Rozwijają się w nim zarodniki (makrospory), a następnie gametofit żeński (bielmo pierwotne lub woreczek zalążkowy). Po zapłodnieniu przekształca się w nasienie.

zanercze (nerka ostateczna) – parzysty narząd wydaliniczy 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).

zygospora – grubościenna zygota o charakterze przetrwalnikowym, która jest odporna na niekorzystne warunki środowiska. Występuje podczas rozmnażania się grzybów, np. rozłożka czerniejącego.

zygota – komórka powstała w wyniku zapłodnienia, czyli połączenia się komórki jajowej z plemnikiem.

Indeks

A
akson 298–299
amoniak 279, 339, 355, 369, 411
anabioza 38, 364
analogia 26
anapsydy 429
anizogamia 53
aparat
– gębowy 346
– szparkowy 102, 130, 203, 211, 260
aplanospory 52, 65
archeowce 32, 41
archespor 100
askon 282
auksyny 234, 244–246

B
bakterie
– autotroficzne 33, 37
– fotosyntetyzujące 33, 37, 72
– Gram-dodatnie 34–35
– Gram-ujemne 34–35
– heterotroficzne 33, 36
– pasożytnicze 36, 43
– saprobiontyczne 36, 42–43
– symbiotyczne 35, 36, 42–43
bakteriofagi 7
blastomery 275
blastula 275
bruzdkowanie 275–276
bezczaszkowce 391
bezowodniowce 397
bezżuchwowce 397
bielmo 111
bilans wodny 212
blastocel 275
blastomery 275
blastula 275
blaszki skrzelowe 407
błędnik błoniasty 410
błędnik kostny 459
brunatnice 51
bruzdkowanie 275
bulwy 120, 126

C
cefalizacja 335
celoma (patrz: jama ciała wtórna)
celuloza 90, 109
cewka nerwowa 390, 392
cewki Malpighiego 355
chemoreceptory 301
chemotaksja 38
chlorokruoryna 338
choanocyty 281
chromosom bakteryjny 33
chwytniki 51, 137
ciałka brzeżne (patrz: ropalia)
ciernie 127, 134
ciśnienie
– cząstkowe (parcjalne) 408
– parcjalne (patrz: ciśnienie cząstkowe)
– turgorowe 206
– hydrostatyczne 208
cykl
– infekcyjny wirusów 8, 10
– lityczny 8
– lizogeniczny 9
cysty
– bakterii 38
– bezkręgowców 332
cytokininy 235, 246
człony naczyń 108
człony rurek sitowych 109

D
dendryty 298–299
desmosomy 287
diapsydy 429
dikariofaza 65
drewno (ksylem)
– pierwotne 116, 124
– wtórne 116, 124
drzewo rodowe 28
dwuliścienne 112
dymorfizm płciowy 325, 355, 413, 446
dzieworództwo (partenogeneza) 310

E
efyra 310
eksteroreceptory 301
ektoderma 276
endoderma 276
endospory 38
epiderma
– u roślin (patrz: skórka)
erytrocyty 297
estywacja 436
etylen 235

F
felloderma 102
fellogen 102
filogenetyka 24
filtratory 283
fimbrie 33, 40
fiszbiny 453
fitochrom 249
fitohormony 233
floem (patrz: łyko)
fotoperiodyzm 249
fototaksja 38
fragmentacja plechy 52, 65

G
gametangiogamia 65
gametofit 53
gametogamia 65
gamety 52
gardziel 50, 315, 324, 336, 351
gastroderma 281, 306
gastrolity 441
gastrula 306
gastrulacja 275
gatunek 25
giberelliny 234
gruczoł wątrobowo-trzustkowy 351, 366
gruczoły
– biodrowe 355
– czułkowe 355
– jadowe 367
– łojowe 453
– mlekowe 453
– potowe 453
– szczękowe 355
– ślinowe 350, 366, 420, 441
– śluzowe 286, 336, 402, 417
– zapachowe 453
grzybnia 62
gutacja 208

H
hatterie 434
hemocyjanina 352, 368
hemoerytryna 338
hemoglobina 297, 338, 402
hemolimfa 297
hermafrodytyzm (obojnactwo) 283, 355, 413
heterogonia 325
hibernacja 400
hipoderma 328
histogeneza 276
hydroszkielet 323, 328, 336
hymenofor 66

I
ikra 413
impuls nerwowy 298
interoreceptory 301
izogamia 53

J
jama ciała
– pierwotna (blastocel) 275
– wtórna (celoma) 276
– gastralna 306
jednoliścienne 112

K
kalus 100
kambium 100, 116, 124
kanały
– promieniste 281
– żywiczne 110
kapsyd 6
kariogamia 65
kategoria taksonomiczna 24
kiełkowanie nasion
– epigeiczne 238
– hipogeiczne 238
kijanka 424
klad 29
kladogram 29
kłącza 126
kłos zarodnionośny 146
kłykcie potyliczne 419
kohezja 207
kolce 104
kolenchyma (zwarcica)
kolonia 47
kompleks sorpcyjny 216
komórki
– barwnikowe 402, 417, 427
– płomykowe 316
– przyrurkowe 109
– sitowe 109
– szparkowe 102, 260
konchiolina 366
koneksony 287
kora pierwotna 115
korale madreporowe 312
korek 102
korkowica 102
korzenie przybyszowe 113, 117
korzeń
– boczny 113
– czepny 119
– główny 113
– oddechowy 119
– podporowy 118
– powietrzny 118
– spichrzowy 118
kosmówka 433
kości pneumatyczne 441
kresomózgowie 423, 431, 445
ksylem (patrz: drewno)
kutykula 102

kutyna 102
kwas
– abscysynowy (ABA) 235
– moczowy 432
kwiatostan 163
kwitnienie 248

L
leukocyty 297
leukon 262
lęgnie 53
linia boczna 410, 414, 423
linienie 328, 348, 427, 452
listki zarodkowe 111
liściaki 135
liście
– czepne 135
– łuskowate 135
– pułapkowe 134
– spichrzowe 134
Liścienie 111

Ł
łagiewka pyłkowa 152
łodyga
– spichrzowa 127
– zdrewniała 125
– zielna 122
łodyżka 136
łożysko 460
łuki skrzelowe 397
łupina nasienna 111
łyko (floem) 108, 109, 110

M
mechanizm przeciwprądów 408, 461
mechanoreceptory 301
merystem
– boczny – miazga 100
– interkalarny (patrz: merystem wstawowy)
– pierwotny 100
– wstawowy (interkalarny) 100
– wtórny 100
metameria (patrz: segmentacja)
metanefrydia 339, 355
mezenchyma 290
mezoderma 276
mezohyl 281
mezoglea 306
międzymózgowie 431
międzywęźla 121
miękisz asymilacyjny
– gąbczasty 130
– palisadowy 130
– wieloramienny 131
miękisz
– powietrzny 105
– spichrzowy 105
– wodny 105
– zasadniczy 105
mikoryza
– ektotroficzna 81
– endotroficzna 81
miksocel 343
miodniki 110
mitospory 52, 66
mejospory 53, 66
mocznik 279
morula 275

N
nabłonek
– jednowarstwowy 285
– migawkowy 285
– wielorzędowy 285
– wielowarstwowy 285
– wydzielniczy 286
narząd Jacobsona 423
narządy
– analogiczne 26
– homologiczne 28
– tympanalne 354–355
nasada liścia 128
nastie 259
nefrony 411
neksus 287
neotenia 423
neuron 298–299
nibynóżki (pseudopodia) 46
nóżki ambulakralne 373–374

O
obojnactwo (patrz: hermafrodytyzm)
ogonek liściowy 128
oko
– złożone 354
okolnica 115
ommatidia 354
omocznia 433
oogamia 53
organogeneza 276
organowce 94
organy
– generatywne 96
– wegetatywne 94
oskórek 286
osmoregulacja 49
osocze 296
osteon 295
ości 406
otolit 410
owoc 169
owocolistek 152
owocostan 170
owodnia 433
owodniowce 446

P
parapodia 335
parcie korzeniowe 208
parenchyma 278, 314
partenogeneza 310
partenokarpia 251
parzydełka 306, 307
pąk wierzchołkowy 121
pąki boczne 121
pellikula 45
peryderma (korkowica) 102
pęcherz pławny 409
pęd
– płonny 146
– zarodnionośny 146
pępowinowy sznur 460
pierzenie 438
pinakocyty 281
pirenoidy 48
plazmogamia 65
plecha
– nitkowata 47
– komórczakowa 47
– nibytkankowa 47
plemnie 53
plemnik 53
płacz roślin (patrz: gutacja)
płuca
– kręgowców 399
– wodne 373
płucotchawki 352
podwójne
– oddychanie 444
– zapłodnienie 161
pokładełko 355
połączenia międzykomórkowe
– szczelinowe (neksus) 287
– połączenia zamykające 287
– połączenia zwierające półdesmosomy 287
pragęba 276
pranercza 411
prassaki 464
pręciki 153, 445
priony 16
profag 9
protonefrydia 339, 393
prowirus 9
przednercza 411
przemiana pokoleń
– heteromorficzna 53
– izomorficzna 53
przeobrażenie
– niezupełne 356
– zupełne 356
przetchlinki 103, 352
pseudopodia (patrz: nibynóżki)

R
rabdity 315
rdzeń
– kręgowy 396
– przedłużony 410, 431
receptory
rodnie 138
ropalia (ciałka brzeżne) 309
rośliny
– dnia długiego 249
– dnia krótkiego 249
– dwupienne 138
– jednopienne 138
– monokarpiczne 151
– nasienne 97
– partenokarpiczne 251
– polikarpiczne 151
– zarodnikowe 97
rozładunek łyka 230
rozłogi 126
rozmnażanie
– bezpłciowe 59
– płciowe 59
– wegetatywne 173
rozmnóżki 73, 245
roztwór glebowy 215–216
rozwój
– prosty 340, 432
– roślin 237
– zarodkowy 237
– złożony 317, 424
rurki sitowe 109
rury mleczne 110
ryniofity 93
ryzoderma (patrz: skórka)

S
segmentacja (metameria)
– homonomiczna 337
– heteronomiczna 335
siodełko 336
sklereidy 107
sklerenchyma (patrz: twardzica)
skórka
– epiderma 122
– ryzoderma 102

skrzela
– powłokowe 373
– wewnętrzne 421
skrzelotchawki 352
słupek 162
solenocyt (komórka płomykowa) 393
somatogamia 65
spongocel 281
sporofit 111
spory (patrz: zarodniki)
ssawka 119
stan spoczynku
– bezwzględny 237
– względny 237
statocysty 309, 368, 374
statolity 309
strobilizacja 310
struna grzbietowa 390
surowica 14
susza fizjologiczna 213
sykon 282
synapsa
– chemiczna 298
– elektryczna 298
synapsydy 429
syncytium 315
system klasyfikacji
– naturalny 26
– sztuczny 26
system korzeniowy
– palowy 113
– wiązkowy 113
systematyka 24
szkielet
– hydrauliczny (patrz: hydroszkielet)
szparka 102

Ś

ściana komórkowa
– bakterii 33
– grzybów 62
– protistów 45–46
– roślin 93–94
śluźnia 45
śródmózgowie 410

T

tagmy 343
taksje 38
takson
– monofiletyczny 29
– parafiletyczny 29
– polifiletyczny 29
tarło 413
tchawki 352
tchawkodyszne 360
telomowa teoria 93
termotaksja 38
transpiracja
– kutykularna 211
– przetchlinkowa 211
– szparkowa 211
transport
– apoplastyczny 203, 205, 216
– asymilatów 230–232
– składników mineralnych 216
– symplastyczny 203, 205, 216
– transmembranowy 203, 205, 216
– wody 202–204
trawienie
– wewnątrzkomórkowe 309
– zewnątrzkomórkowe 309
trombocyty 297
tropizmy 255
tryskawka 407
turgor 206
twardzica (sklerenchyma) 107

U

układ
– ambulakralny 372–373
– wodny (patrz: układ ambulakralny)
urwistki 73

W

walec osiowy
– korzenia 115
wernalizacja 248
wibrysy 452
wirion 6
wiroidy 15
włoski czepne
– kutnerowe 104
– parzące 104
włókna
– drzewne 107
– łykowe 107
– mięśniowe (komórki mięśniowe) 302
wodniczka
– tętniąca 49–50
wole 336, 441
woreczek
– pyłkowy 152
– zalążkowy 164
worek trzewiowy 364–365
worki powietrzne
wór powłokowo-mięśniowy 314, 336

Z

zalążek 152
załadunek łyka 230
zanercza 432, 446, 459
zapłodnienie
– krzyżowe 317, 339
– wewnętrzne 310, 325, 355, 369, 424, 446, 460
– zewnętrzne 339, 355, 369, 413, 424
zapylenie 154
zarodek 173
zarodnia 66
zarodniki (spory) 59, 66
zastawka spiralna 422
ziarna pyłku 164
zoospory 52, 65
zwarcica (kolenchyma) 106
zwierzęta
– acelomatyczne 278
– amoniotoliczne 279
– beztkankowe 274
– celomatyczne 278
– dwuwarstwowe 274
– jajorodne 276
– jajożyworodne 276
– pierwouste 274
– pseudocelomatyczne 278
– stałocieplne 400
– tkankowe 274
– trójwarstwowe 274
– ureoteliczne 279
– urykoteliczne 279
– wtórouste 274
– zmiennocieplne 400
– żyworodne 276
zygospora 67
zygota 237

Ż

żywiciel
– ostateczny 54
– pośredni 54

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.

Zdjęcia pochodzą ze zbiorów:

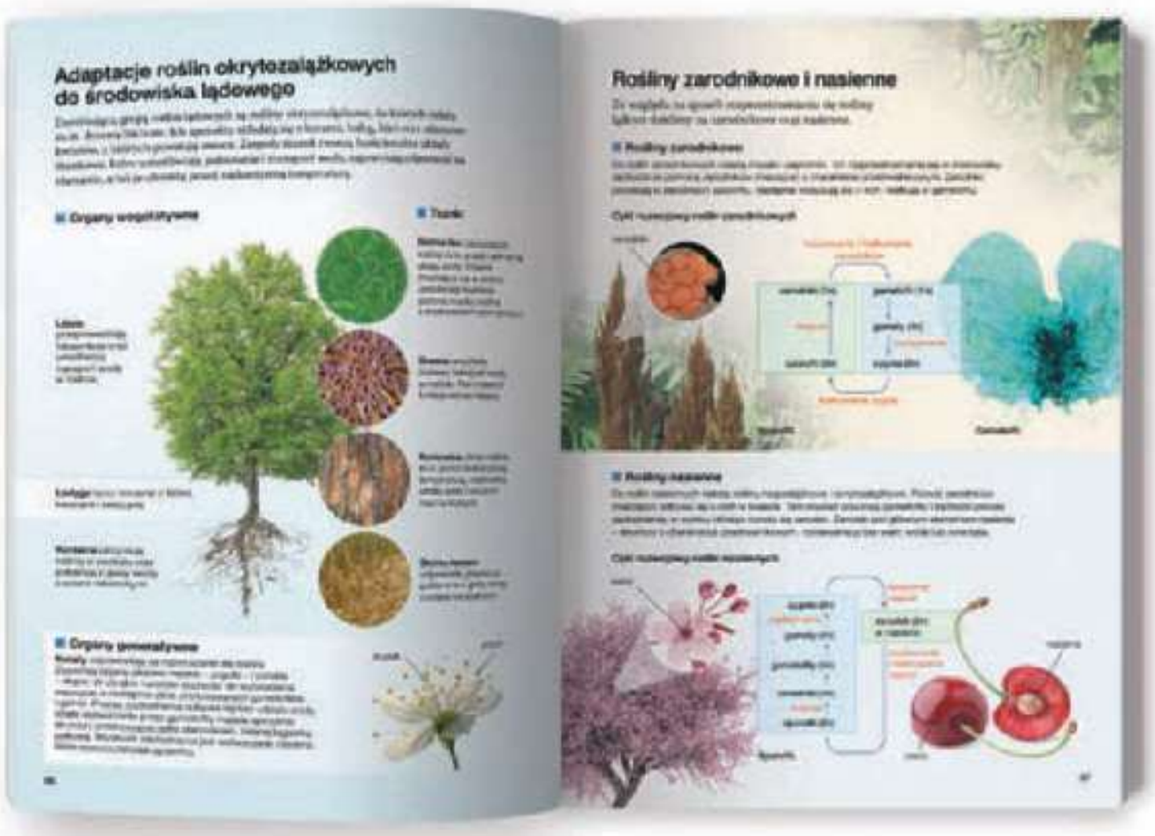
BE&W: ALAMY STOCK PHOTO: BSIP SA s. 5, 7 (wirus zapalenie wątroby typu A, wirus grypy), 16, Science History Images s. 7 (wirus mozaikowatości), Alamy Stock Photo/Nature Photographers Ltd s. 27 (Limenitis camilla), Christian Musat s. 27 (Limenitis populi), Russell Millner s. 28 (foka), Keith J Smith s. 29 (wąż), Andrew Walmsley s. 29 (hatteria), Georgy Golovin s. 42 (łubin), Panther Media GmbH s. 47 (pantofelki), Blickwinkel s. 47 (Tubifera ferruginosa), 63 (grzybnia), WaterFrame s. 89 (pełzatki), 111 (tasznik), 123 (powojnik), 327 (kolonia wrotków), 371 (świdrak), 426 (żaba z owadem), 465 (ryś), 468 (wiewiórka), David Fleetham s. 51 (chwytniki), 92 (pławikonik australijski), Alfio Scisetti s. 63 (borowik), Ernie Janes s. 66 (purchawki), Narong Niemhom s. 66 (miseczniaki), razorpix s. 70 (antybiotyki), Nigel Cattlin s. 71 (grzybica), Helmut Feil s. 74 (lakmus), ArteSub s. 93, Igor Stevanovic s. 107 (orzech), Tamara Kulikova s. 112 (jałowiec), jean-paul chassenet s. 112 (mięta), Panther Media GmbH s. 112 (etapy kiełkowania), Bob Gibbons s. 119 (korzenie oddechowe), Russotwins s. 120 (liście cebuli), Nigel Cattlin s. 126 (bulwy ziemniaka), Mikel Bilbao Gorostiaga – Nature & Landscapes s. 127 (tarnina), Anna Poltoratskaya s. 128 (liść ogonkowy), filmfoto s. 128 (użyłkowanie siatkowe), Alfio Scisetti s. 129 (goryczka), Robert Matton AB s. 130, Organica s. 132 (rdestnica), Craig Russell s. 133 (aloes), Valentyn Volkov s. 133 (liść aloesu), REDA &CO srl s. 134 (muchołówka), mauritius images GmbH s. 134 (kapusta), John De Mello s. 135 (liściaki), Besjunior s. 135 (liście łuskowe), Tromp Willem van Urk s. 135 (anturium), Panther Media GmbH s. 141 (torfowiec), Frank Hecker s. 143 (pióropusznik strusi), Andreas Altenburger s. 143 (paprocie wodne), Bringolo s. 146, Frank Hecker s. 148 (wroniec), Nigel Cattlin s. 150 (skrzyp polny), Geo-grafika s. 151 (spalanie węgla), Martin Shields s. 151 (odcisk paproci), Brian Hird (Wildflowers) s. 153 (kwiaty żeńskie), Frank Hecker s. 153 (szpilki), Nick Kurzenko s. 156 (szyszka), Martin Shields s. 156 (nasiona), HHelene s. 156 (szyszkojagody, szyszki cisa), Kyoko Uchida s. 157 (miłorząb), Sonia Bonet s. 157 (sagowiec), Valentyn Volkov s. 159 (kosmetyki), Bjorn Wylezich s. 163 (niezapominajka), bildagentur-online.com/th-foto s. 170 (orzech), Arco Images GmbH s. 172 (drzewo grabu), Elena Elisseeva s. 174 (krokus), Julie Pigula s. 174 (kwiat bodziszka), Alfio Scisetti s. 174 (kwiat krokusa), kkong s. 178 (kłosy), Konrad Weiss s. 178 (brzozy), Dmytro Synelnychenko s. 179 (heban), Organica s. 211 (hydrofity), Li Ding s. 219, Deyana Robova s. 221 (kukurydza), Fabrizio Troiani s. 221 (kaktusy), Joel Douillet s. 229 (przylaszczka), Derek Croucher s. 234 (kiełkujące nasiona), Iuliia Nemchinova s. 239 (nasiona opuncji), Arthit Buarapa s. 245, Garry DeLong s. 246 (komórki), Kanda Euatham s. 246 (rośliny w probówkach), Brilt s. 247 (tuja naturalna), Picture Partners s. 248 (roślina marchwi), Inna Karpova s. 249 (kwiat irysa), Alfio Scisetti s. 249 (chryzantema), Natalia Zakhartseva s. 251 (koper), Besjunior s. 254 (pąk), Organica s. 259 (mimoza), Life on white s. 280 (parzydełkowiec), The Natural History Museum s. 280 (gąbki), Mark Conlin s. 310 (ruch meduzy), SeaTops s. 312 (żachwa), Shahar Shabtai s. 312 (pławikonik), Custom Life Science Images s. 314 (wirokształtne), Universal Images Group North America LLC s. 314 (przywry), Andreas Fulscher Schliemann s. 320, Simon Colmer s. 337, molekuul.be s. 341 (hirudyna), Antonio Gravante s. 344 (homar), kkong s. 344 (pająk), David Kleyn s. 351 (krab), Denis Vesely s. 354 (oko owada), Reinhard Dirscherl s. 365 (łodzik), mikeos s. 370 (ślimak), Marco Secchi s. 376 (rozgwiazdy), Azoor Photo s. 405 (łańcuszek kości), andy lidstone s. 412 (ryba promieniopłetwa), Life on white s. 412 (bojowniki), Gado Images s. 416 (jajo bruzdogłowca), Digifoto Gold s. 416 (tran), Vince Burton s. 426 (zimorodek), Naturepix s. 426 (ropucha), David Sewell s. 426 (traszka), David Wall s. 427 (wodnogama), Eyal Bartov s. 432 (biczogon), Sabena Jane Blackbird s. 432, Westend61 GmbH s. 434 (krokodyl), 435 (jaszczurka zwinka), RooM the Agency s. 434 (wąż), Buiten-Beeld s. 435 (jaszczurka żyworodna), Alex Hyde s. 435 (padalec), coroiu octavian s. 435 (żmija), Nature Photographers Ltd s. 435 (zaskroniec), Life on white s. 435 (żółw), Matthijs Kuijpers s. 435 (wąż Eskulapa), Dave Hunt s. 436 (żmija), Szymon Bartosz s. 436 (agama), William Mullins s. 436 (żółw), Ivan Kuzmin s. 436 (żararaka), Ed Brown Wildlife s. 437 (żółw morski), Picture Partners s. 442 (wypluwka), Life on white s. 443 (krzyżówka), mike lane s. 450 (struś), Jiri Prochazka s. 450 (kiwi), Marc Anderson s. 450 (kazuar), Dave Watts s. 450 (jaja), FLPA s. 451 (kos), Oyvind Martinsen-Panama Wildlife s. 463 (leniwiec), tbkmedia.de s. 464 (jeż), Laura Romin & Larry Dalton s. 465 (mrówkojad), Terry Whittaker Wildlife s. 465 (koń), Arco Images GmbH s. 465 (morświn), Tim Plowden s. 468 (lis); BIOPHOTO ASSOCIATES: Photo Researchers, Inc. s. 111 (nasiono tasznika), 243, 294 (tkanka chrzęstna włóknista); IMAGEBROKER RM: FLPA/Mark Sisson s. 70 (storczyki), Mike Powles/FLPA s. 239 (gryzoń), Christian GUY s. 416 (pstrąg), Jonathan Carlile s. 450 (pingwin), Christoph Robiller s. 465 (nocek), Christian Heinrich s. 466 (hipopotam); NATURE PICTURE LIBRARY: Alex Hyde s. 25 (dzwonek), Sinclair Stammers s. 51 (Physarum polycephalum), Claudio Contreras s. 60 (żółw), Solvin Zankl s. 60 (maseczka z alg), Ernie Janes s. 70 (grzyb), SCOTLAND: The Big Picture s. 72 (plecha skorupiasta), Robert Thompson s. 72 (plecha listkowata), Konstantin Mikhailov s. 72 (plecha krzaczkowata), Alex Hyde s. 73, Chris Mattison s. 74 (Ramalina siliquosa), Ross Hoddinott s. 74 (granicznik płucnik), Roberto Rinaldi s. 89 (plecha komórczakowa), Sue Daly s. 89 (Asparagopsis), Alex Hyde s. 94 (gametofit), Jack Dykinga s. 94 (sporofit), Felis Images s. 94 (sporofit nagozalążkowych), kerstin hinze s. 94 (sporofit okrytozalążkowych), Philippe Clement s. 97 (paprocie), Remi Masson s. 98 (grzybienie), David Woodfall s. 96 (złocień), MYN/Denis Palanque s. 110 (śnieżyca), Wild Wonders of Europe/Benvie s. 122, Edwin Giesbers s. 123 (lilia), Alex Hyde s. 126 (pięciornik), Jack Dykinga s. 127 (kaktusy), MYN/Denis Palanque s. 128 (liść bezogonkowy), Niall Benvie s. 135 (liście czepne wyki), Duncan Mcewan s. 138 (gametofity), 139, Alex Hyde s. 140 (Trychopeplus laciniatus), Sandra Bartocha s. 141 (torfowisko), Alan Watson s. 142 (paprocie drzewiaste), Will Watson s. 143 (długosz królewski), Konrad Wothe s. 148 (Selaginella longipinna), Bernard Castelein s. 150 (gniazdo pająka), Nick Garbutt s. 150 (gniazdo z paproci), Fiona Rogers s. 150 (zwierzę zjadające paproć), Phil Savoie s. 158 (zwierzę z szyszką), SCOTLAND: The Big Picture s. 158 (wiewiórka), Mike Read s. 158 (roztopy), Adrian Davies s. 159 (kora), MYN/Eduardo Blanco s. 163 (czosnek), MYN/Niall Benvie s. 163 (marchew), Konrad Wothe s. 163 (grono), Ernie Janes s. 163 (koszyczek), Kim Taylor s. 163 (lepnica), 238 (kiełkowanie), 308 (stułbia), 310 (polipy), 335 (skąposzczety), 362 (pszczoła), Ernie Janes s. 166 (pyląca trawa), Dave Watts s. 167 (koliber), Tom Mangelsen s. 172 (jarzębina), Jurgen Freund s. 172 (owoc namorzynów), Alex Hyde s. 174 (bodziszek), Sandra Bartocha s. 176 (czermień błotna), Fabrice Cahez s. 176 (lilia), Rod Williams s. 177 (firletka), Wild Wonders of Europe/Wothe s. 177 (koniczyna), Philippe Clément s. 177 (rumianek), Lucas Bustamante s. 178 (las równikowy), Terry Whittaker s. 178 (karczownik ziemnowodny), Guenter Fischer s. 239 (opuncja), Raimund Kutter s. 247 (przycinana tuja), Matthew Maran s. 254 (drzewo zimą); Ross Hoddinott s. 273, 358 (krab), MYN/Clay Bolt s. 280 (owad), Alex Mustards. 282 (gąbki), Jurgen Freund s. 284 (liliowce), Pascal Kobeh s. 284 (żółw), Visuals Unlimited s. 284 (gąbki Halichondria), Ingo Arndt s. 304 (motyle), Roberto Rinaldi s. 308 (ukwiał), Georgette Douwma s. 308 (koral), 335 (wieloszczety), 375 (strzykwa), 404 (płaszczka), Jurgen Freund s. 311, Claudio Contreras s. 312 (rozgwiazda), Doug Perrine s. 313 (ślimak), Alex Hyde s. 327 (krewetka), 351 (mrówki), 354 (czułki motyla), 360 (parecznik), Adrian Davies s. 335 (pijawka), 364 (ślimak lądowy), MYN/Paul van Hoof s. 341 (pijawka), 347 (odnóża grzebne), 354 (świerszcz), 405 (pstrąg), 420 (żaba w skoku), Colin Varndell s. 342 (dżdżownica), MYN/Dirk Funhoff s. 345 (chrabąszcz), MYN/Gil Wizen s. 345 (wij), MYN/Matt Cole s. 346 (pasikonik), Michel Poinsignon s. 347 (modliszka), Andy Sands s. 347 (odnóża pływne), 361 (świerszcz), John Abbott s. 349 (komar), Christophe Courteau s. 358 (pąkle), Lorraine Bennery s. 359 (Kosarz), Michael Hutchinson s. 359 (krzyżak), Bruno D'Amicis s. 359 (rotocze), John Cancalosi s. 359 (ostrogony), Daniel Heuclin s. 360 (krocionóg), Stephen Dalton s. 360 (rybik), 361 (świerszcz), Bernard Castelein s. 360 (ważka), Duncan Murrell s. 361 (pluskwiak), Visuals Unlimited s. 362 (kryl), 376 (jeżowiec), Neil Aldridge s. 362 (żuk), Emanuele Biggi s. 362 (pająk), Doug Wechsler s. 363 (kleszcz), Jan f'Hamrsky s. 365 (małż), Franco Banfi s. 375 (liliowce, rozgwiazda, jeżowce), Jose Luis GOMEZ de FRANCISCO s. 376 (ptak), Sue Daly s. 376 (ogórek morski), Jane Burton s. 403 (najeżka), Wild Wonders of Europe/Lundgren s. 404 (chimera), David Fleetham s. 405 (latimeria), Alex Mustard s. 407 (makrele), MYN/Niall Benvie s. 412 (ryba słodkowodna), Graham Eaton s. 413 (łosoś), Nick Upton s. 413 (węgorze), Solvin Zankl s. 415 (matronica, ryba wężorowata), Doug Perrine s. 415 (ryba Melanocetus), Chris & Monique Fallows s. 416 (rekin), Phil Savoie s. 417 (drzewołaz), Bruno D'Amicis s. 418 (salamandra), MYN/Dirk Funhoff s. 418 (larwa salamandry i żaby), Stefan Huwiler s. 418 (żaba wodna), Pete Oxford s. 418 (marszczelec), Edwin Giesbers s. 420 (przylgi żaby), MYN/Marc Pihet s. 420 (błony pławne), Jane Burton s. 424 (uścisk godowy), Tui De Roy s. 434 (żółw), Markus Varesvuo s. 442 (dzięcioł), Gary K. Smith s. 442 (kulik), Yashpal Rathore s. 446, Ingo Schulz s. 447 (klucz), Denis-Huot s. 460 (gnu), Grzegorz Lesniewski s. 462 (suseł), Staffan Widstrand s. 462 (niedźwiedź brunatny), Yukihiro Fukuda s. 462 (makaki), Jordi Chias s. 462 (foki), Andy Rouse s. 462 (niedźwiedź polarny), Tony Heald s. 463 (nosorożec), Bruno D'Amicis s. 463 (fenek), Hanne & Jens Eriksen s. 463 (wielbłądy), Dave Watts s. 464 (dziobak), Alex Mustard s. 466 (delfin), Jabruson s. 466 (nietoperze), Stephen Dalton s. 466 (kret), SCOTLAND: The Big Picture s. 466 (zając), Visuals Unlimited s. 467 (dydelf); Mint Images/Frans Lanting s. 313 (meduza), 434 (sfenodont), M. Watson/ardea.com s. 342 (kret), UNIVERSAL IMAGES GROUP/De Agostini /A. Calegari s. 416 (sum), Science Source/Ted Kinsman s. 425 (skóra żaby), Mary Evans Picture Library/ardea.com/John Cancalosi s. 427 (wąż boa), Picfair Limited/Robyn s. 431 (grzechotnik), Arco Images GmbH/W. Rolfes s. 443 (kruk), Jean-Phillipe Varin/Photo Researchers, Inc. s. 460 (dziobak); **DEPOSITPHOTOS:** Samokhin Roman s. 29 (krokodyl), mikheewnik s. 29 (żółw), asimojet s. 30 (fiołek), Arie van der Wolde s. 69, Catalin Zestran s. 167 (pszczoła), VitalisG s. 171 (jemioła), billiondigital s. 172 (owoce mniszka), Annaev s. 216, Tono Balaguer s. 235 (pomarańcza), alexdremlyuga s. 236 (strąk fasoli), WITOLD_KRASOWSKI s. 236 (nasiono fasoli), Juri Semjonow s. 251 (jabłka), s popov s. 284 (gąbki kąpielowe), Lubos Chlubny s. 304 (ślimak), MAREK SLUSARCZYK s. 313 (biżuteria), Valery Kirsanov s. 347 (odnóża skoczne), Sciencepics s. 405 (ryba dwudyszna), Mark Higgins s. 460 (kangur), Lifeonwhite s. 461; **EAST NEWS:** Science Photo Library s. 35 (bakterie), 64 (ektomikoryza), 66 (workowe), 106 (kolenchyma), 138 (łodyżki i listki torfowców), 151 (las karboński), 289 (nabłonek jednowarstwowy wielorzędowy), 304 (ośmiornica), 346 (mucha), 369 (ośmiornica od spodu); Visuals Unlimited s. 35 (brodawki korzeniowe), 59 (mejospory), 88 (volvox), 103 (korkowica), 132 (przekrój przez liść rdestnicy i koleusa, koleus), 211 (higrofity), 234 (palma), 246 (chloroplast), 288 (nabłonek jednowarstwowy walcowaty), 292 (tkanka włóknista), 327 (volvox); BURGER/PHANIE s. 342 (pijawki); **FLASH PRESS MEDIA:** MEDICAL Images/Robert Notter s. 294 (tkanka chrzęstna sprężysta), MEDICAL Images/ISM/Herv Conge s. 294 (tkanka chrzęstna szklista); **GETTY IMAGES:** Aurora Open/Josh Miller Photography – okładka, E+/ilbusca s. 42 (kompost), E+/Mike Dabell s. 42 (krowy), Cultura RF/Andrew Brookes AB Still Ltd/Rafe Swan s. 43 (bakterie w biotechnologii), Science Source/Biophoto Associates s. 45, Science Photo Library s. 46 (komórki pełzaków), Jurgen Freund/Nature Picture Library s. 60 (ryba Histrio), Science Photo Library RM s. 63 (komórki drożdży), 70 (ciasto), E+/Pobytov s. 71 (opieńki), imageBROKER RF/Christof Steirer s. 74 (kozica), Moment/photo by Pam Susemiehl s. 89 (koralina), Moment RF/Ippei Naoi s. 92 (zielony kawior), Oxford Scientific RM/Garry DeLong s. 101 (stożek wzrostu korzenia), Digital Vision/Yuji sakai s. 113 (korzenie marchwi), Digital Vision/Martin Harvey s. 118 (korzenie spichrzowe), iStock/Dewin ' Indew s. 123 (paproć), Photographer's Choice RF/Frank Krahmer s. 129 (wyka ptasia), Photolibrary RM/Ed Reschke s. 133 (przekrój

przez liść lilaka), Moment RF/Namthip Muanthongthae s. 140 (mech), Thinkstock/iStock/YekoPhotoStudio s. 141 (borowina), Corbis Documentary/Patrick Johns s. 156 (cis), Colin Varndell/Nature Picture Library s. 166 (pyląca leszczyna), Andreas Naumann/EyeEm s. 246 (pole kukurydzy), amana images RF s. 248 (pokrój marchwi), Sakorn Jommanee/EyeEm s. 248 (marchewki), Photolibrary RM/Ed Reschke s. 288 (nabłonek jednowarstwowy płaski), 295 (osteony), Universal Images Group Editorial/QAI Publishing s. 295 (przekrój przez liść), Corbis Documentary/Micro Discovery s. 295 (tkanka kostna gąbczasta), WaterFrame RM/Daniela Dirscherl s. 312 (rafa), E+/Creativeye99 s. 344 (homar), Nature Picture Library/Piotr Naskrecki s. 347 (odnóża kroczne), Photolibrary RM/Jeff Rotman s. 375 (wężowidło), Sciepro/Science Photo Library s. 398 (model człowieka), Universal Images Group Editorial s. 405 (okoń), Thinkstock/Hemera s. 425 (żaba trawna), iStock/Jmrocek s. 465 (sarna), Thorsten Milse/robertharding s. 467 (koala); INDIGO IMAGES: SCIENCE PHOTO LIBRARY s. 6, 7 (bakteriofag), 8, 23, 35 (bakterie z rodzaju Rhizobium i Rumen), 36 (bakterie glebowe), 37 (sinice, bakterie zielone, nitrobacter), 38, 39, 40 (endospora i plazmid), 41, 42 (protisty), 46 (okrzemka, pantofelek), 47 (dinobryon), 50 (didinium, euglena), 51 (Macrocystis pyrifera), 54, 55, 58 (pączkowanie u stułbi, gamety), 59 (mitospory), 60 (maworek i martwy żuk), 63 (Rhizopus stolonifer), 64 (endomikoryza), 65, 66 (zarodniki konidialne, sporangialne, podstawkowe, rurki), 67, 68, 71 (grzyby pasożytnicze), 72 (cyjanoakterie), 87, 88 (Chlorella, Pediastrum, zawłotnia), 89 (skrętnica, żabirośl), 92 (plecha porostu, krasnorost), 95, 96 (skórka liścia, drewno, skórka korzenia), 97 (zarodnik i gametofit), 101 (komórki tkanki, wierzchołek wzrostu łodygi), 103 (włośniki, aparat szparkowy), 104 (włoski czepne chmielu, włoski kunterowate dziewanny, kolce róży, włoski parzące pokrzywy), 105 (miękisz asymilacyjny, spichrzowy, zasadniczy i powietrzny), 106 (przekrój przez łodygę selera i trawy, trawa), 107 (sklereidy, bambus), 108 (cewki i naczynia), 111 (owoc tasznika), 115 (przekrój przez korzeń), 117 (korzeń rzodkiewki, włośniki, korzenie przybyszowe), 119 (korzenie czepne, ssawki jemioły), 120 (kwiat cebuli), 121, 123 (przekrój przez łodygi paproci, lilii i powojnika), 125 (drewno sosny, przekrój przez łodygę wywłócznika), 126 (kalarepa), 127 (miękisz wodny), 131 (przekrój przez igłę sosny, modrzew), 133 (przekrój przez liść oleandra), 134 (włoski czuciowe), 137 (zarodnia mchu, przekrój przez łodyżki mchu), 138 (ozębnia), 141 (torfowisko), 144 (zarodnie paproci, przekrój przez łodygę paproci), 147, 153 (kwiaty męskie, pnie sosny, kwiatostany męski i żeński pod mikroskopem), 156 (jałowiec), 162 (kwiatostany wierzby i olszy), 166 (ziarna pyłku, kwiaty trawy), 167 (miodniki), 171 (ziarniak kukurydzy), 172 (łopian), 174 (wiązka przewodząca zamknięta), 176 (trzcina, obuwik), 177 (dzika róża), 179 (naparstnica), 201, 204, 208, 213, 227, 233, 235 (komórki liścia, gałązka z pąkami), 246 (korzenie sadzonek), 254 (gałąź klonu), 255, 260, 277, 282 (igły szkieletu gąbki), 285, 286 (gruczoły śluzowe, komórki kubkowe, tarczyca), 289 (nabłonek wielowarstwowy płaski, sześcienny i walcowaty), 290, 291 (włókna kolagenowe i sprężyste, ilustracja kolana i serca, cząsteczka kolagenu), 292 (tkanka tłuszczowa), 294 (układ kostny), 299 (neuron, neuron dwubiegunowy), 300, 303 (tkanka mięśniowa szkieletowa i serca, gładka, ilustracja stopy), 305, 308 (bełtwa, osa morska), 309 (parzydełkowce, statocysty), 313 (model białka), 317 (mrówka, motyliczka), 318, 319 (główki tasiemców), 321 (aparat czepny), 322 (bąblowiec, RTG), 323 (wrotek, wrotki kolonijne, wrotki wolnożyjące i osiadłe), 325, 326, 327 (algi, konsumenci rzędu I i II), 328, 329, 332, 333 (ancylostoma, tegoryjec), 334 (nicień glebowy, mątwik), 336 (nereida, parapodia), 340, 341 (szczęki i otwór gębowy pijawki), 344 (pająk), 346 (pszczoła, motyl), 347 (odnóża chwytne, czepne, wesz), 349 (ważka, chrząszcz, wij), 352, 354 (narządy tympalne), 355, 358 (rozwielitka), 359 (skorpion), 360 (łuski skrzydła, pchła), 363 (kołatek), 366, 368 (głowa ośmiornicy), 369 (przyssawki), 370 (omułki), 371 (małż), 372, 374, 392, 395 (ogonica), 396 (keratyna), 398 (ryba), 399 (skóra i włos, układy krwionośne), 400 (termogram węża i psa), 404 (łuska plakoidalna), 405 (łuska cykloidalna i ktenoidalna), 407 (skrzela), 408, 410, 412 (chrzęstnoszkieletowa), 417 (gruczoły śluzowe), 431 (narząd Jacobsona), 443 (grubodziób), 453; Minden Pictures/Michael Durham s. 28 (nietoperz), Fotosearch LBRF/Kateryna Kon s. 43 (bakterie), Fotosearch LBRF/Icrms s. 60 (wapienie), Mary Evans Picture Library Ltd/Tom & Pat Leeson s. 70 (zwierzę zjadające grzyba), Minden Pictures/Tim Fitzharris s. 98 i 229 (agawa), Minden Pictures/Cyril Ruoso s. 118 (korzenie podporowe), Chromorange Photostock – LBRF/Alfred Hofer/CHROMO s. 119 (jemioła), FLPA/Bob Gibbons s. 125 (wywłócznik), Agstockusa/Ed Young s. 127 (winorośl), Alfred Schauhuber/imageBROKER s. 127 (wąsy winorośli), Niall Benvie/Alamy Stock Photo s. 129 (fiołek), Alaska Stock Images/Carl R. Battreall s. 129 (Liczydło górskie), Christina Rollo/Alamy Stock Photo s. 131 (igły sosny), Image Source/Oscar Bjarnason s. 140 (mchy na skałach), Blickwinkel/McPHOTO s. 140 (ptak), Caia Image/Deb Casso s. 162 (kwiat lilii), All Canada Photos/John E Marriott s. 178 (ptak na gnieździe), Blickwinkel/W. Layer s. 179 (kwiaty lnu), Fotosearch LBRF/greentea s. 231, FLPA/Nigel Cattlin s. 238 (kiełkowanie naziemne), Blickwinkel/Hecker/Sauer s. 342 (szczupak), World Pictures/Leonardo Olmi s. 342 (wieloszczet), Nature Picture Library/Alamy Stock Photo s. 360 (motyl), 363 (kokony jedwabników, produkcja jedwabiu), 370 (wydra), 451 (koliber), 468 (lew), Minden Pictures/Ingo Arndt s. 362 (szarańcza), Mary Evans Picture Library Ltd/ardea.com/Last Refuge s. 363 (roztocze), Blickwinkel/R. Dirscherl s. 365 (kalmar), Prisma/Dirscherl Reinhard s. 367, Pacific Stock/Dave Fleetham s. 368 (ośmiornica), 370 (stożek), Mary Evans Picture Library Ltd/ardea.com/Ken Lucas s. 371 (skamieniałość), Fotosearch LBRF/Kateryna_Kon s. 399 (płuca), ARCO/H.Reinhard s. 401, AGE Fotostock/Reinhard Dirscherl s. 403 (pławikoniki), 404 (rekin), NHPA/Paulo de Oliveira s. 409, DEA PICTURE LIBRARY s. 415 (ryba wężorowata), Media Drum World/Alamy Stock Photo s. 437 (kameleon), Avalon/Photoshot License/Alamy Stock Photo s. 437 (galanteria), Papilio/Alamy Stock Photo s. 437 (kobra), FLPA/Jules Cox s. 442 (uszatka), Minden Pictures/FLPA/Terry Andrewatha s. 447 (pisklęta), Minden Pictures/Momatiuk & Eastcott s. 448, Brad Leue/Alamy Stock Photo s. 463 (dingo), Arco Images/C. Kutschenreiter s. 465 (bóbr); **SHUTTERSTOCK:** nobeastsofierce s. 12, Bachkova Natalia s. 26 (ptak), Peter Schwarz s. 26 (ważka), alslutsky s. 27, PrakapenkaAlena s. 29 (papużka), JDCarballo s. 29 (jaszczurka), cynoclub s. 30 (mysz), Sergey Rusakov s. 30 (grzyb), Kateryna Kon s. 30 (bakterie), 36 (Streptococcus pneumoniae), 40 (bakterie), 61 (lambliozа), Rattiya Thongdumhyu s. 35 (bakterie na szalce), Sebastian Kaulitzki s. 36 (model człowieka z płucami), Fredy Thuerig s. 36 (krowy), kram9 s. 36–37 (gleba z rośliną), Anna segeren s. 37 (dno), zstock s. 42 (oczyszczalnia ścieków), Magic mine s. 43 (model człowieka z jelitami), New Africa s. 43 (jogurt), panpilai paipa s. 43 (antybiotyki), HelloDecember s. 43 (choroba roślin), 3d_man s. 46 (euglena), 61 (rzęstkownica), Henri Koskinen s. 57, Designua s. 61 (malaria, toksoplazmoza), Timonina s. 61 (czerwonka), Pieter Bruin s. 66 (grzyb), Victoria 1 s. 71 (kandydoza), Alexander Varbenov s. 74 (płucnica islandzka), Vladyslav Starozhylov s. 96 (pokrój drzewa), alika s. 96 (korowica), AnutkaT s. 96 (kwiat), AVprophoto s. 97 (kwiat wiśni), Anna Kucherova s. 97 (wiśnie), Valentyna Chukhlyebova s. 97 (kwitnące drzewo wiśni), Martin Fowler s. 98 (szczawik), woottigon s. 101 (goździk), Fahkamram s. 103 (liście), Anton Havelaar s. 103 (kora), Vaclav Mach s. 104 (szyszki chmielu), dabjola s. 104 (dziewanna), Tatiana Volgutova s. 104 (pokrzywa), MIGUEL G. SAAVEDRA s. 106 (liście selera), Krasowit s. 113 (korzenie trawy), Aldona Griskeviciene s. 124, Valentyn Volkov s. 117 (rzodkiewka), Wanida_Sri s. 118 (korzenie powietrzne), Davydenko Yuliia s. 120 (przekrój przez cebulę), Erkki Makkonen s. 125 (pień sosny), Hub.-Wilh. Domroese s. 128 (użyłkowienie równoległe), Tania Zbrodko s. 133 i 211 (lilak), Olga Larionova s. 133 (oleander), Emil Litov s. 135 (ciernie), Anest s. 137 (mchy), Elena Elisseeva s. 141 (doniczki), Amnat Phuthamrong s. 142 (paproć epifityczna), VIRTEXIE s. 150 (skrzyp), Olga Korica s. 157 (jodła), Karel Gallas s. 157 (welwiczja), zlikovec s. 158 (las), Andriy Solovyov s. 158 (wydmy), woff s. 159 (drewno), Robert Mutch s. 159 (cis), AVprophoto s. 165, Djordje Novakov s. 166–167 (tło apli), Hiyoman s. 167 (skupnia), Maks Narodenko s. 169 (jabłko), Josef Szasz-Fabian s. 170 (brzoskwinia), Scott Bolster s. 170 (ziarniak), alexford s. 170 (figa), Markus Gann s. 172 (owoce grabu), Ladislav Berecz s. 177 (rzepak), Adisa s. 210, aleori s. 228, Potapov Alexander s. 236 (roślina fasoli), DenisNata s. 236 (kiełkująca fasola), YamabikaY s. 239 (nasiona sałaty), liliya shlapak s. 246 (ilustracja kukurydzy), Swapan Photography s. 248 (dwuletnia marchew), Bildagentur Zoonar GmbH s. 248 (owoce kwiatostanu marchwi), Roman Samokhin s. 251 (cytryna), Gregory A. Pozhvanov s. 257, Jesus Cobaleda s. 278, Allexxandar s. 284 (gąbki), Elana Erasmus s. 304 (gepard), DonyaHHI s. 313 (poparzenie), Mr.Samarn Plubkilang s. 322 (płaziniec), Kateryna Kon s. 331, Sebastian Kaulitzki s. 333 (model człowieka), Young Swee Ming s. 346 (komar), OlgaKok s. 363 (pszczelarz), Aleksei Alekhin s. 364 (ślimak morski), Vitalii Hulai s. 370 (błotniarka), Starover Sibiriak s. 371 (ślimak szkodnik), Fedor Selivanov s. 389, Pavel Shlykov s. 396 (pazury), David Dohnal s. 403 (skalar), Krasowit s. 403 (węgorz), 414 (pstrąg, okoń), Eric Isselee s. 424, Ryan M. Bolton s. 425 (oko żaby), Sharon Minish s. 436 (grzechotnik), Gallinago_media s. 438, Drakuliren s. 439 (żołna), sljones s. 441, Vishnevskiy Vasily s. 447 (pisklęta), Martin Mecnarowski s. 451 (sowa), PhotoSongserm s. 451 (kura), Martin Pelanek s. 464 (diabeł tasmański), Worraket s. 464 (orangutan), HQuality s. 468 (dojenie) oraz Zbiory Szwedzkiego Muzeum Historii Naturalnej w Sztokholmie s. 25 (dzwonek brodaty), Ewelina i Bogdan Wańkowiczowie s. 126 (kłącze imbiru), 184, 186 (liść bezogonkowy i ogonkowy), 238 (gleba z rośliną), Western New Mexico University Department of Natural Sciences s. 137 (listek mchu), Sławomir Wiktorowicz s. 169 (pomidor), 170 (pomidor, fasola, słonecznik), Ryszard Kozik s. 170 (kaczeniec, rzepak), Sławomir Stachnik s. 170 (rozłupka), Agnieszka Krzyk s. 174 (wiązka przewodząca otwarta), Agnieszka Gajewska s. 189, Berkshire Community College Bioscience Image Library Photographer: Fayette A Reynolds M.S. s. 292 (tkanka siateczkowa i włóknista), Adrian Wressell, Heart of England NHS FT. Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) s. 333 (larwa tegoryjca), Nikki van Veelen/flickr.com s. 395 (żachwa), Chris 73/Wikimedia Commons s. 399 (skrzela), Anna Wańkowicz s. 414 (łuski ryby), Marian Cieślak s. 439 (rodzaje piór), Henryk Kościelny s. 449.

nowa era *Twoje mocne strony*

Biologia na czasie

Podręcznik *Biologia na czasie 2* do zakresu rozszerzonego zawiera treści dotyczące różnorodności oraz funkcjonowania organizmów.



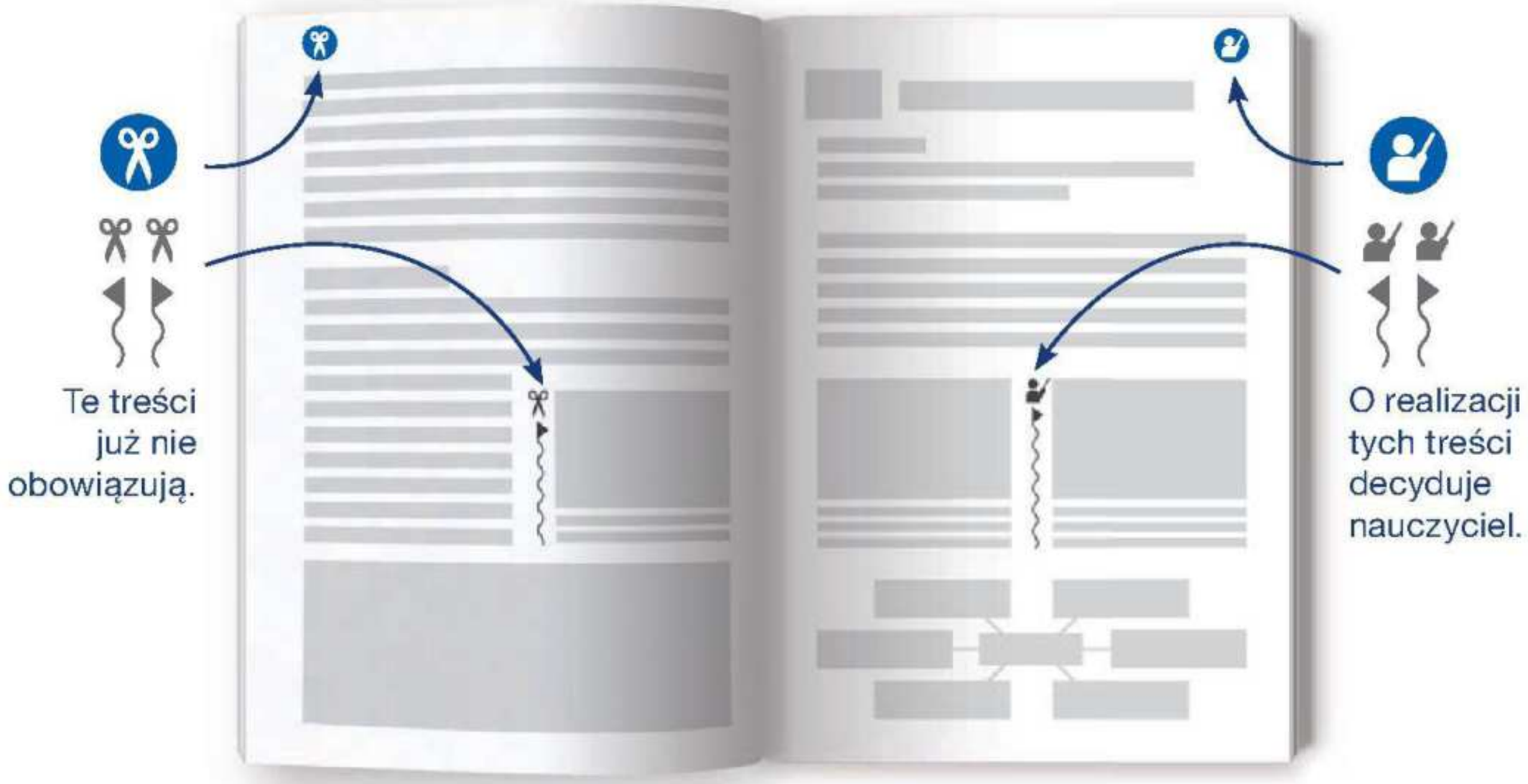
Rozumienie związków przyczynowo-skutkowych

Czytelne infografiki ułatwiają kształcenie umiejętności wykazywania związków między budową poszczególnych struktur organizmu a ich funkcjami.

Analiza doświadczeń

Wszystkie doświadczenia zawarte w podstawie programowej z zakresu fizjologii roślin zawierają *Wyjaśnienia*, które pomagają wykształcić umiejętność wnioskowania.

W podręczniku znajdziesz oznaczenia treści, które od września 2024 r. nie są już wymagane.



Niebieska ikona na górze strony wskazuje, że na tej stronie znajdują się treści, które nie są wymagane – oznaczono je szarą ikoną i falką.

Nowa Era Sp. z o.o.
www.nowaera.pl nowaera@nowaera.pl
Centrum Kontaktu: 58 721 48 00
ISBN 978-83-267-5084-7