



DLA
ABSOLWENTÓW
SZKÓŁ
PODSTAWOWYCH

Biologia na czasie

Podręcznik dla liceum ogólnokształcącego i technikum

2

Zakres rozszerzony

nowa
era

Marek Guzik
Ryszard Kozik
Władysław Zamachowski

Biologia na czasie

dla liceum ogólnokształcącego i technikum

2

Zakres rozszerzony

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 rzeczników:

dr. hab. Andrzeja Rzepki, dr Małgorzaty Stępk, 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. 2020

ISBN 978-83-267-3857-9

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.

Illustratorzy: 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: 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: 801 88 10 10, 58 721 48 00

Druk i oprawa: Walstead Central Europe

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

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

Zwróć uwagę na:

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

Doświadczenie

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

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.

Biologia w medycynie

Opisy **zastosowań wiedzy biologicznej w medycynie** umożliwiają 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** umożliwiają Ci sprawdzenie wiedzy z danego działu oraz wykształcenie umiejętności rozwiązywania różnych typów zadań.

Sposób na zadania

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

Dlaczego niektóre bakterie mogą żyć w ekstremalnych warunkach?

W jaki sposób rozprzestrzeniają się rośliny?

Jakie są przystosowania ptaków do lotu?

Spis treści

1. Bezkomórkowe czynniki zakaźne

1.1. Wirusy – molekularne pasożyty	6
1.2. Wiroidy i prony – 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 nagozalażkowe	152
3.11. Rośliny okrytozalażkowe	160
3.12. Rozprzestrzenianie się roślin okrytozalażkowych	169
3.13. Różnorodność i znaczenie roślin okrytozalażkowych	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

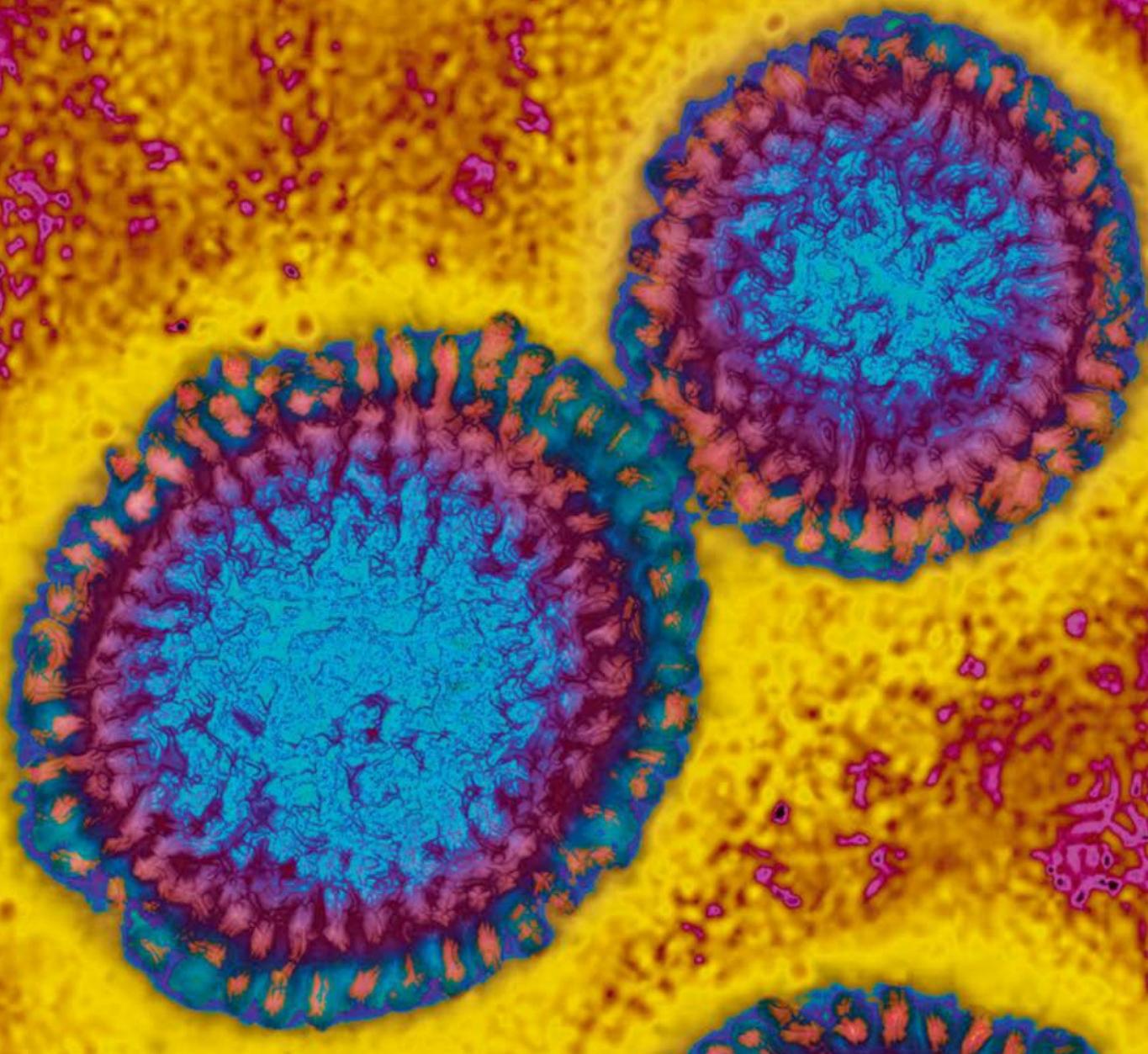
4.8. Rozwój wegetatywny i generatywny roślin	243
4.9. Spoczynek i starzenie się roślin	253
4.10. Ruchy roślin	255
Podsumowanie	261
Sposób na zadania	268
Zadania powtórzeniowe	270

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 grzebieniowo-brzusznie	314
5.8. Wrotki – zwierzęta z aparatem rzęskowym	323
5.9. Nicienie – zwierzęta o obłym, nieczlonowanym 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
Doświadczania 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 prony – 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 retrovirusów,
- 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 płaszczu 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.

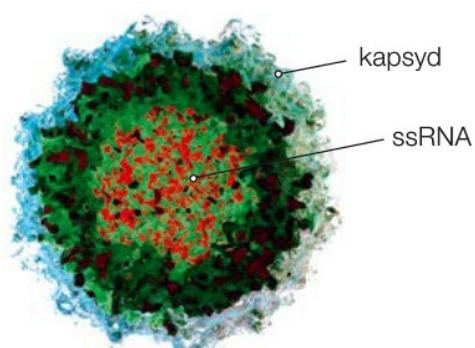
Materiał genetyczny wirusów zawiera geny, które kodują białka wirusowe. Kompletna informacja genetyczna wirusa jest nazywana jego **genomem**. Genomy wirusów są bardzo

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 rozpoznanie 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.



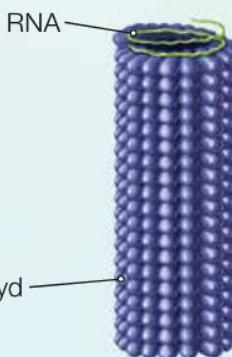
Wirus polio (obraz spod TEM) należy do wirusów bezosłonkowych.

¹ ss – skrót od angielskiej nazwy *single strand*.

² ds – skrót od angielskiej nazwy *double strand*.

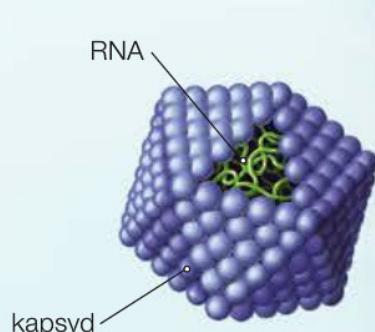
Formy morfologiczne wirusów

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.



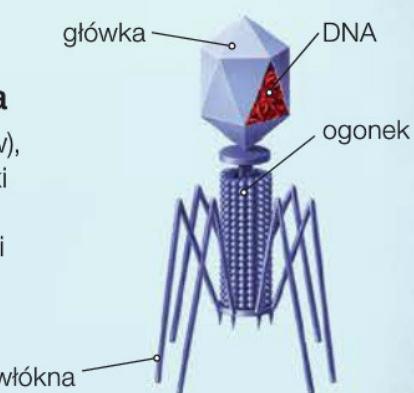
■ Forma helikalna

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



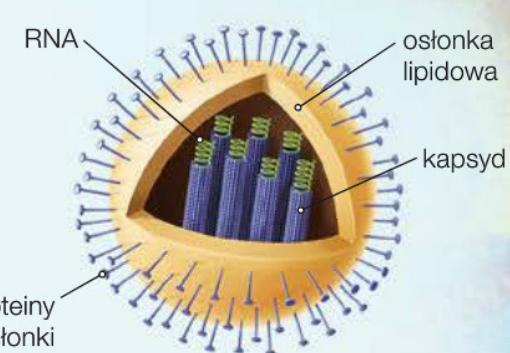
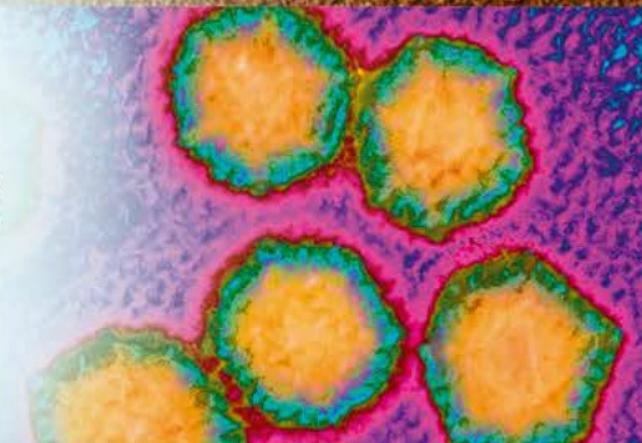
■ Forma bryłowa

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



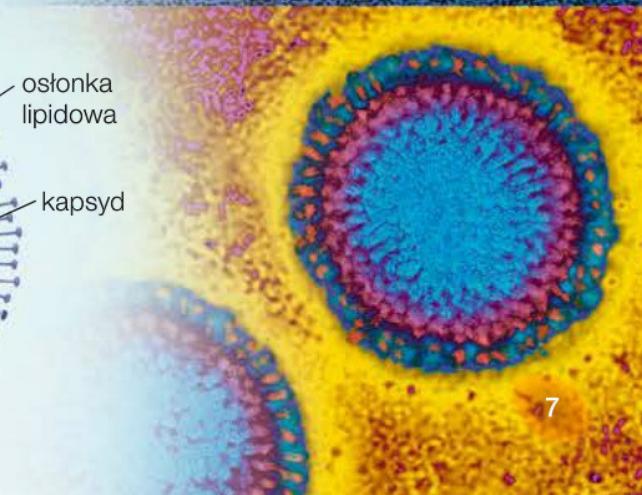
■ Forma bryłowo-spiralna

Występuje u bakteriofagów (fagów), czyli wirusów atakujących komórki bakterii. Wirion bakteriofaga jest zbudowany z wielościennej główka 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.

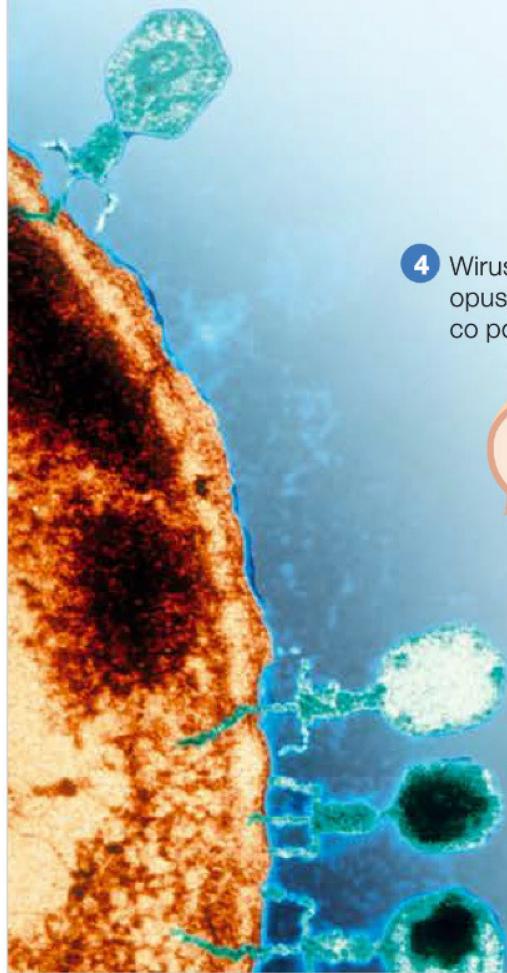
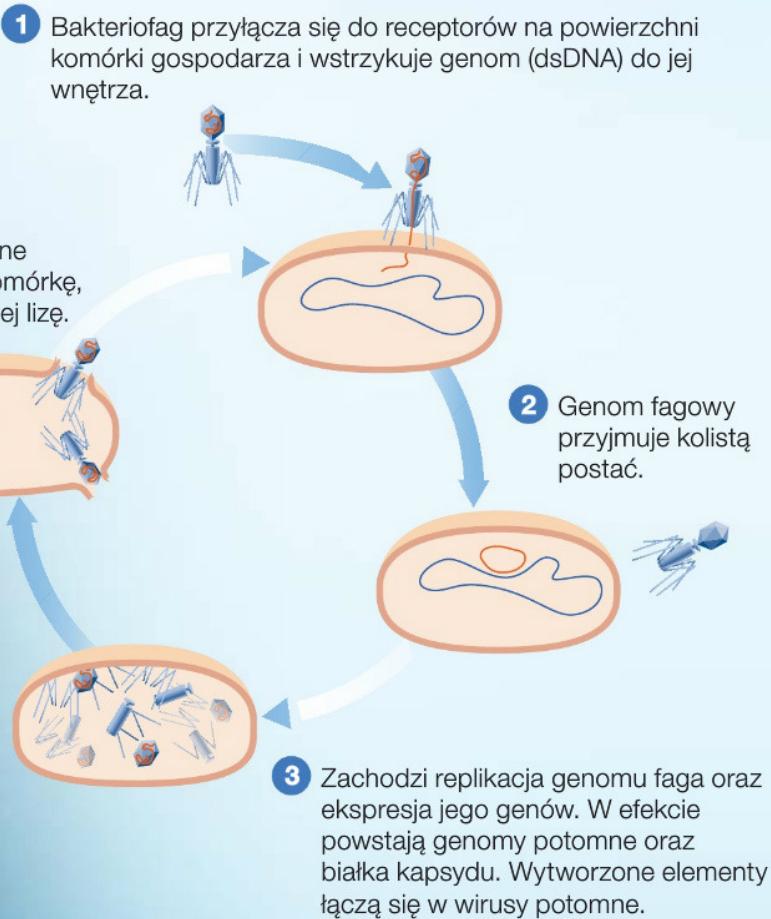
- ▶ Zachodzi synteza nowych genomów wirusa. Etap ten przebiega w różny sposób, w zależności od rodzaju wirusa. Jeśli jest to wirus DNA, synteza nowych genomów polega na **replikacji DNA** z udziałem komórkowego enzymu **polimerazy DNA**. W przypadku innych rodzajów wirusów powielanie materiału genetycznego 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

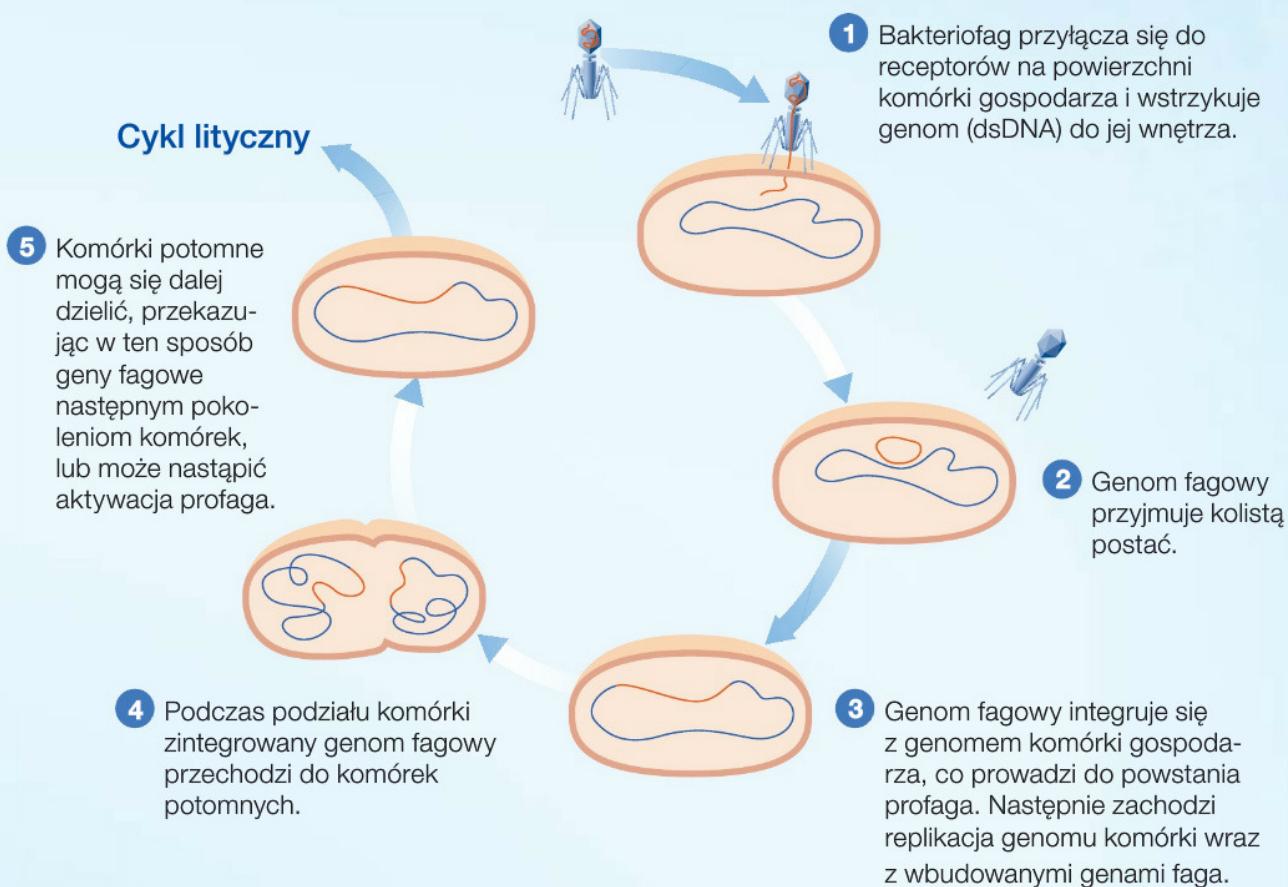
Zachodzi u bakteriofagów złośliwych, m.in. u bakteriofaga T4. W tym cyku geny wirusa przejmują kontrolę nad metabolizmem komórki gospodarza, co prowadzi do wytwarzania nowych wirionów. Opuszczają one komórkę, powodując jej lizę (rozpad).



- ▶ 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 syntezę 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 syntezę mRNA jest procesem bardziej skomplikowanym i często wymaga udziału specyficznych enzymów wirusowych.
- ▶ Zachodzi składanie genomów i białek wirusa w wirusy potomne, które opuszczają komórkę gospodarza, wypaczkowując 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, zwany **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 zmian warunków prowirusy mogą się jednak aktywować i wywoływać objawy choroby.

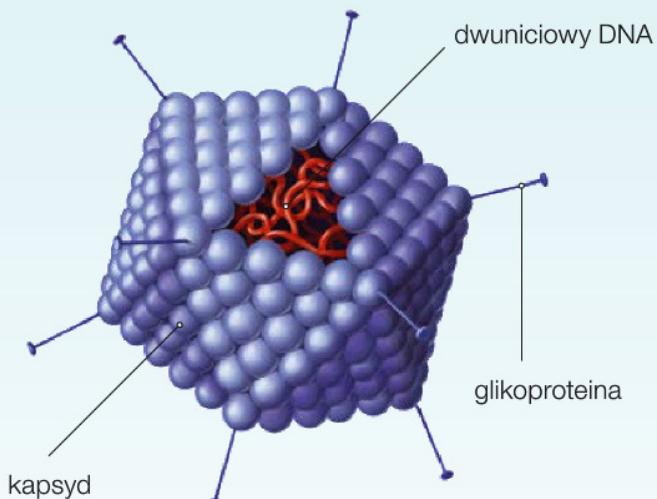
■ Cykl lizogeniczny

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 wniką do wnętrza komórki w całości.

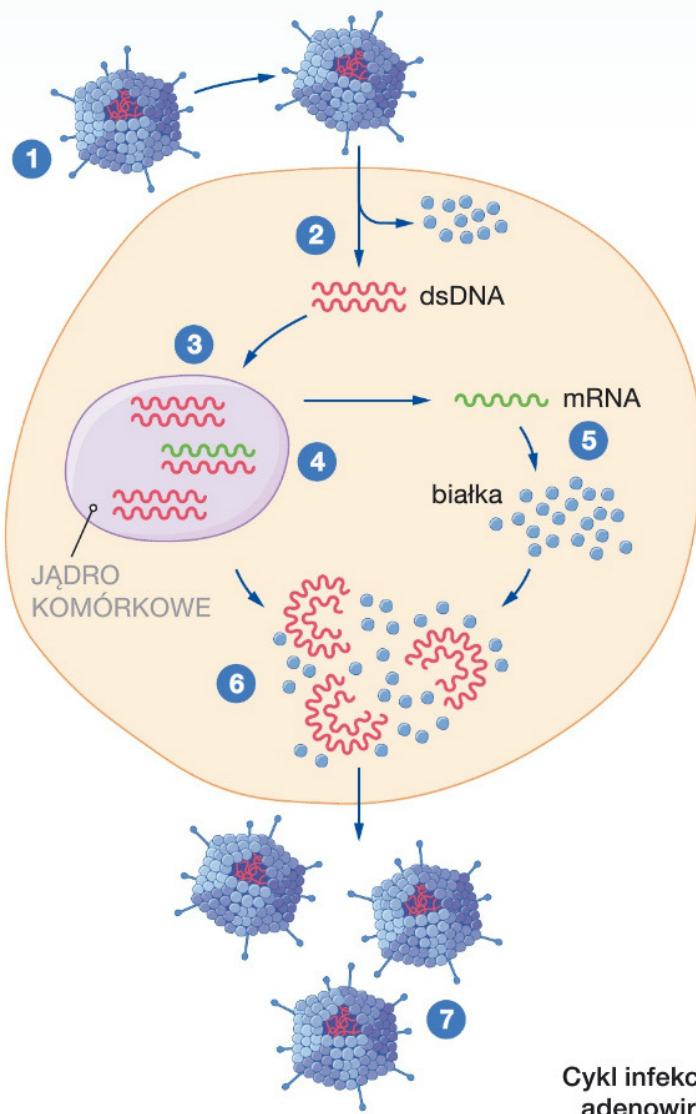


Budowa adenowirusa.

Cykł infekcyjny wirusa DNA

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

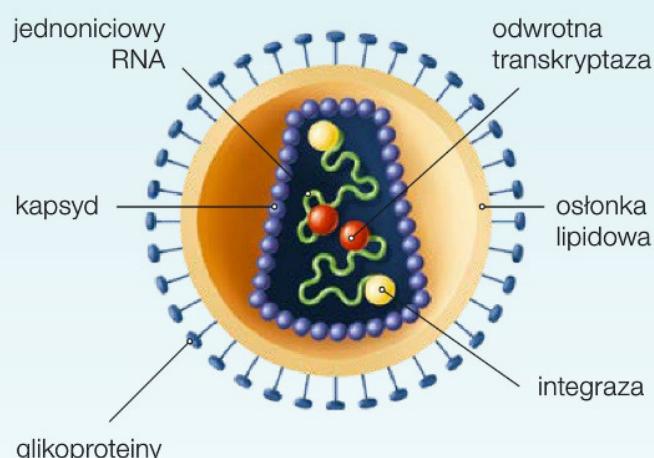
- 1 Adsorpcja** – glikoproteiny wirusa rozpoznają receptory znajdujące się na powierzchni infekowanej komórki i wiążą się z nimi.
- 2 Wnikanie** – kapsyd wirusa wraz z materiałem genetycznym przechodzi do cytoplazmy komórki. Kapsyd rozpada się, uwalniając materiał genetyczny wirusa.
- 3 Replikacja DNA** – 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.



Cykł 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 nabły 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.

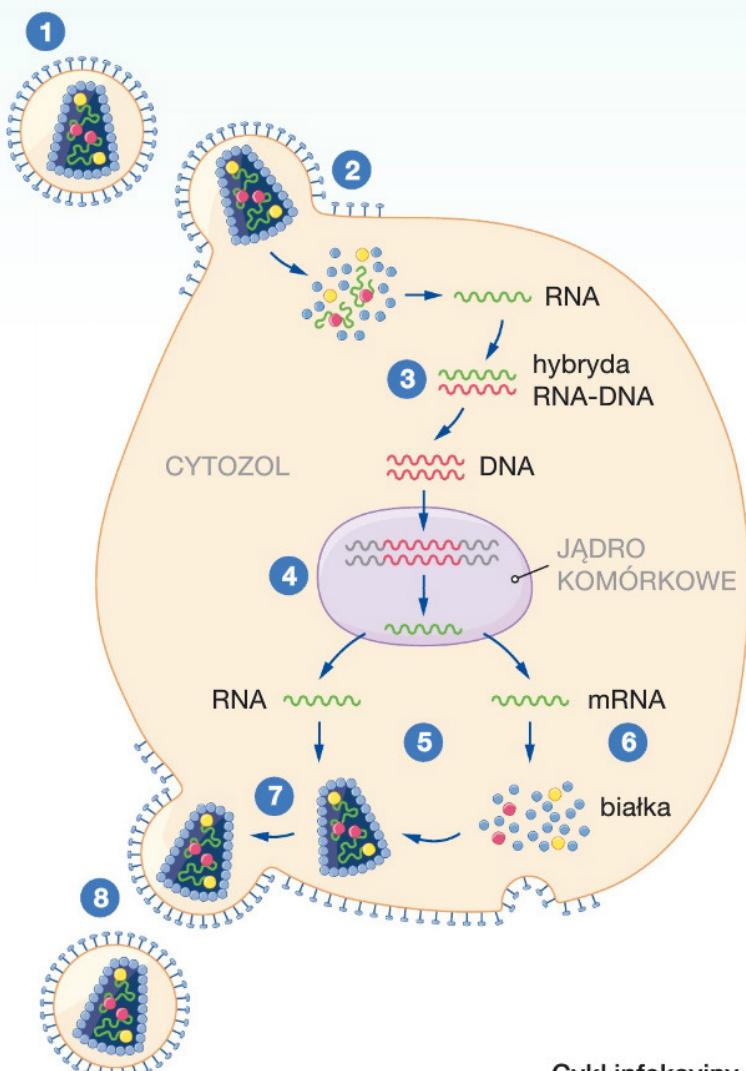
4 Integracja – zsyntetyzowany DNA zostaje wbudowany do DNA komórki gospodarza. W procesie tym uczestniczy enzym wirusowy – integraza. Wirus w stanie utajenia trwa w komórkach odpornościowych, nie wywołując objawów AIDS.

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.



Cykł 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

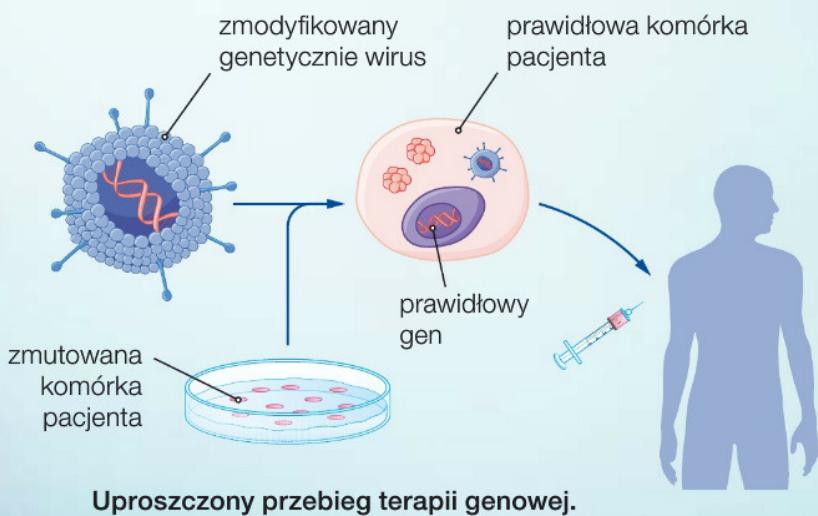
następuje w wyniku pogryzienia przez chore zwierzę lub poprzez kontakt z jego wydzielinami. Do głównych objawów wścieklizny należą: utrata wrodzonego lęku, agresja, niepokój, obniżone łaknienie, porażenie kończyn i innych części ciała;

- ▶ **wirus pryszczy cy** wywołujący pryszczyce – 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, wysiek z nosa i spojówek, biegunka, wymioty, zapalenie płuc, zaburzenia neurologiczne, np. porażenie kończyn.

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.



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	<ul style="list-style-type: none"> pogryzienie przez zakażone zwierzę lub kontakt z jego wydzielinami rzadziej w wyniku przeszczepu narządów 	<ul style="list-style-type: none"> przemycie rany wodą z mydłem przemycie rany surowicą zawierającą przeciwciała przeciw wirusowi wścieklizny domieszczone lub dożyłne podanie surowicy przeciw wirusowi wścieklizny szczepienia ochronne badanie dawców narządów
zespół nabytego niedoboru odporności (AIDS); ludzki wirus niedoboru odporności (HIV)	<ul style="list-style-type: none"> droga płciowa kontakt z krwią osoby zakażonej zakażenie dziecka przez chorą matkę w trakcie ciąży lub porodu 	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> droga pokarmowa kontakt z odchodami osób zakażonych 	<ul style="list-style-type: none"> szczepienia ochronne ochrona wód przed zanieczyszczeniem fekaliami przestrzeganie zasad higieny
brodawki lub rak szyjki macicy; wirus brodawczaka ludzkiego (HPV)	<ul style="list-style-type: none"> kontakt ze skórą osoby zakażonej lub z przedmiotami przez nią używanymi droga płciowa 	<ul style="list-style-type: none"> przestrzeganie zasad higieny szczepienia ochronne unikanie przypadkowych kontaktów seksualnych, stosowanie prezerwatyw
grypa; wirus grypy	<ul style="list-style-type: none"> droga kropelkowa (powietrzna) 	<ul style="list-style-type: none"> szczepienia ochronne
odra; wirus odry	<ul style="list-style-type: none"> droga kropelkowa 	<ul style="list-style-type: none"> szczepienia ochronne
ospa wietrzna; wirus ospy wietrznej (VZV)	<ul style="list-style-type: none"> droga kropelkowa 	<ul style="list-style-type: none"> szczepienia ochronne
różyczka; wirus różyczek	<ul style="list-style-type: none"> droga kropelkowa zakażenie dziecka przez chorą matkę w trakcie ciąży 	<ul style="list-style-type: none"> szczepienia ochronne
świnia; wirus świniki	<ul style="list-style-type: none"> droga kropelkowa 	<ul style="list-style-type: none"> szczepienia ochronne
wirusowe zapalenie wątroby typu A (WZW A); wirus zapalenia wątroby typu A (HAV)	<ul style="list-style-type: none"> droga pokarmowa kontakt z odchodami osób chorych 	<ul style="list-style-type: none"> przestrzeganie zasad higieny szczepienia ochronne
wirusowe zapalenie wątroby typu B (WZW B); wirus zapalenia wątroby typu B (HBV)	<ul style="list-style-type: none"> droga płciowa kontakt z krwią osoby zakażonej 	<ul style="list-style-type: none"> 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)	<ul style="list-style-type: none"> droga płciowa kontakt z krwią osoby zakażonej 	<ul style="list-style-type: none"> 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.

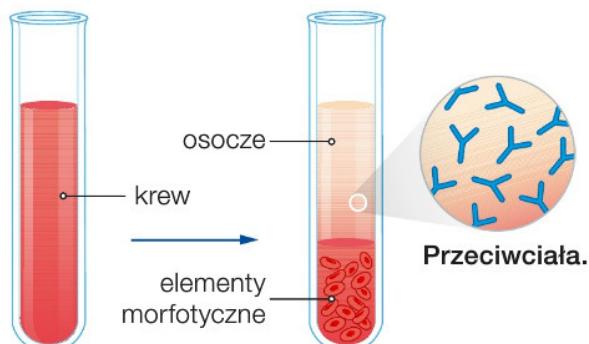
■ Profilaktyka i leczenie chorób wirusowych

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 osób 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 określona 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 wyrządżając 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 wewnętrz komórek gospodarza.
4. Omów cykl infekcyjny retrowirusa.

1.2.

Wiroidy i prony – swoiste czynniki infekcyjne

Zwróć uwagę na:

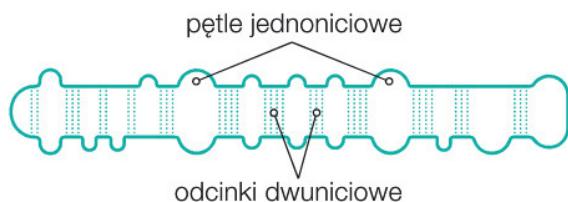
- budowę wiroidów i prionów,
- choroby wywoływane przez wiroidy i prony.

Wiroidy i prony 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.

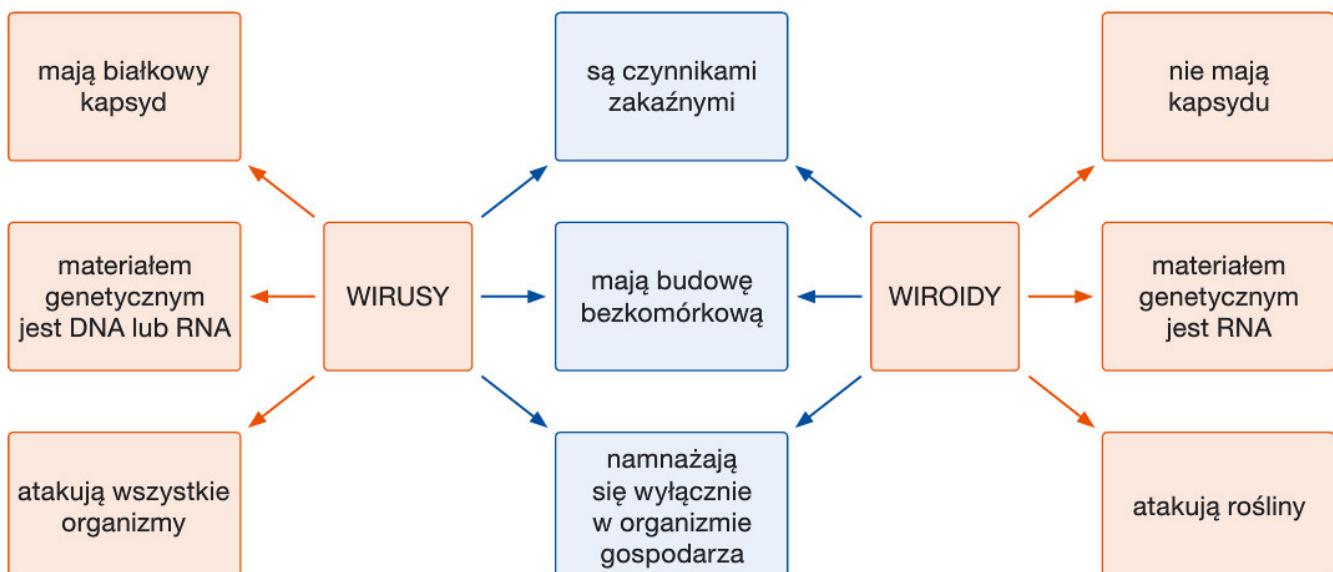


Struktura wiroidu.

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 oddziaływało 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

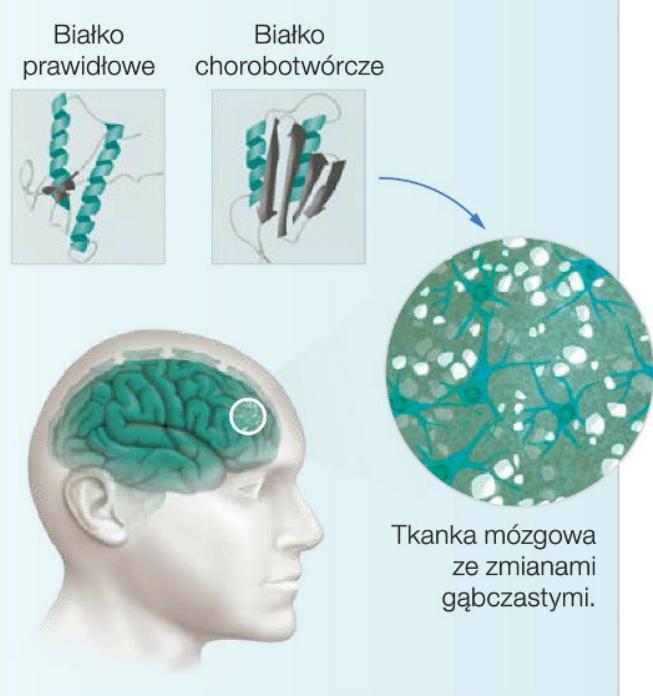
Priony (proteinowe cząsteczki infekcyjne) składają się **wyłącznie z białka**, są więc jedynymi czynnikami zakaźnymi, które nie mają w swojej strukturze kwasów nukleinowych. Białka prionowe, oznaczane symbolem **PrP^{sc}**, są chorobotwórczymi formami białka PrP, kodowanego przez gen *prp* (*prnp*). 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.

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.

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. skrapie], 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.



Polecenia kontrolne

- Podaj dwa podobieństwa i dwie różnice między wirusami a wiroidami.
- 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	-	-	+
Wewnętrzkomórkowe 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

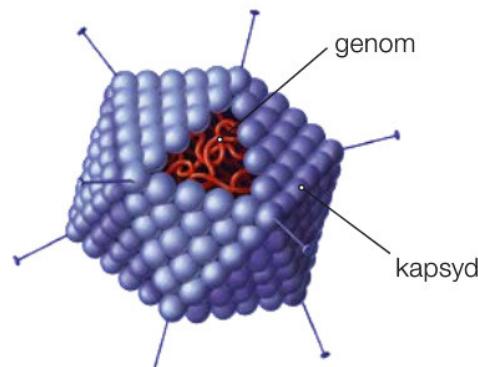
2 Wirusy

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 główka 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 aktywnie 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 nabity 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

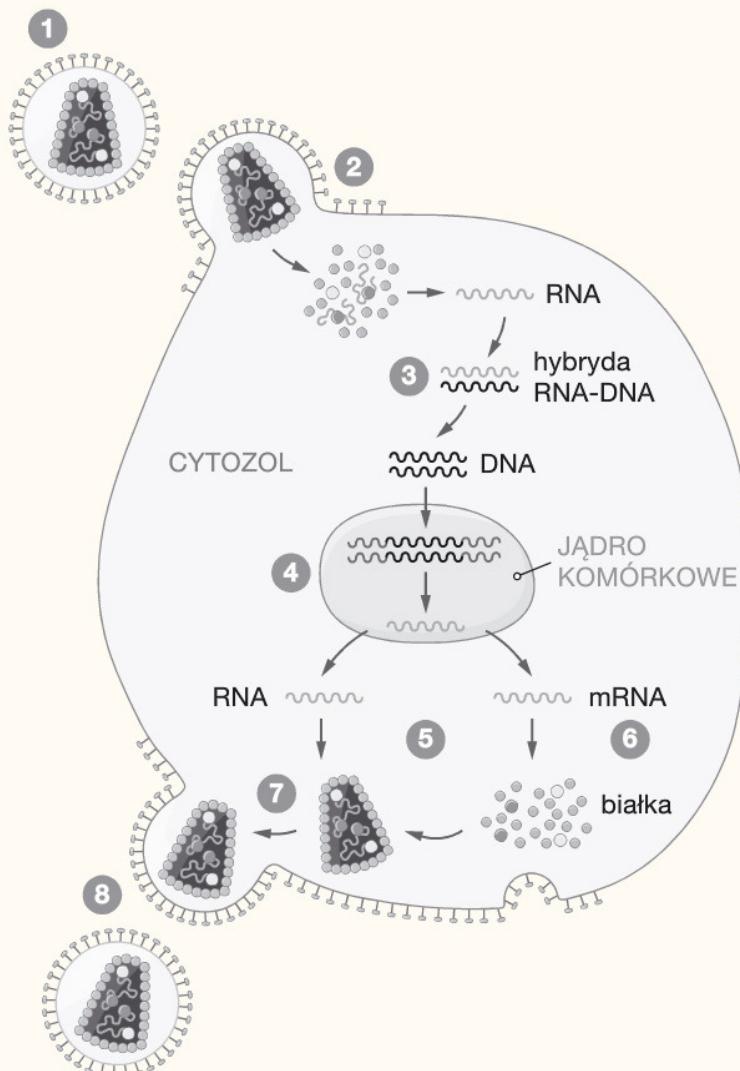
- Są wykorzystywane do produkcji szczepionek i surowic.
- Terapia genowa – wirusy zmodyfikowane genetycznie mogą przenosić i wprowadzać prawidłowe geny do komórek z uszkodzonymi genami.
- Bakteriofagi – eksperymentalnie są wykorzystywane do zwalczania groźnych szczepów bakterii, opornych na działanie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

Sposób na zadania

WYKONAJ W ZESZTYCIE



- 1 Schemat przedstawia cykl infekcyjny wirusa HIV.



- Wykaż związek między budową wirusa HIV a jego zdolnością do infekowania tylko określonych komórek ludzkiego organizmu.
- Oceń poprawność stwierdzenia: „Wirus HIV składa się wyłącznie z elementów kodowanych przez jego genom”. Odpowiedź uzasadnij.
- 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)

- Przypomnij sobie, jaki typ komórek infekuje wirus HIV. Informację na ten temat znajdziesz w podręczniku na s. 11.
- 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.
?	adsorpcaja	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.

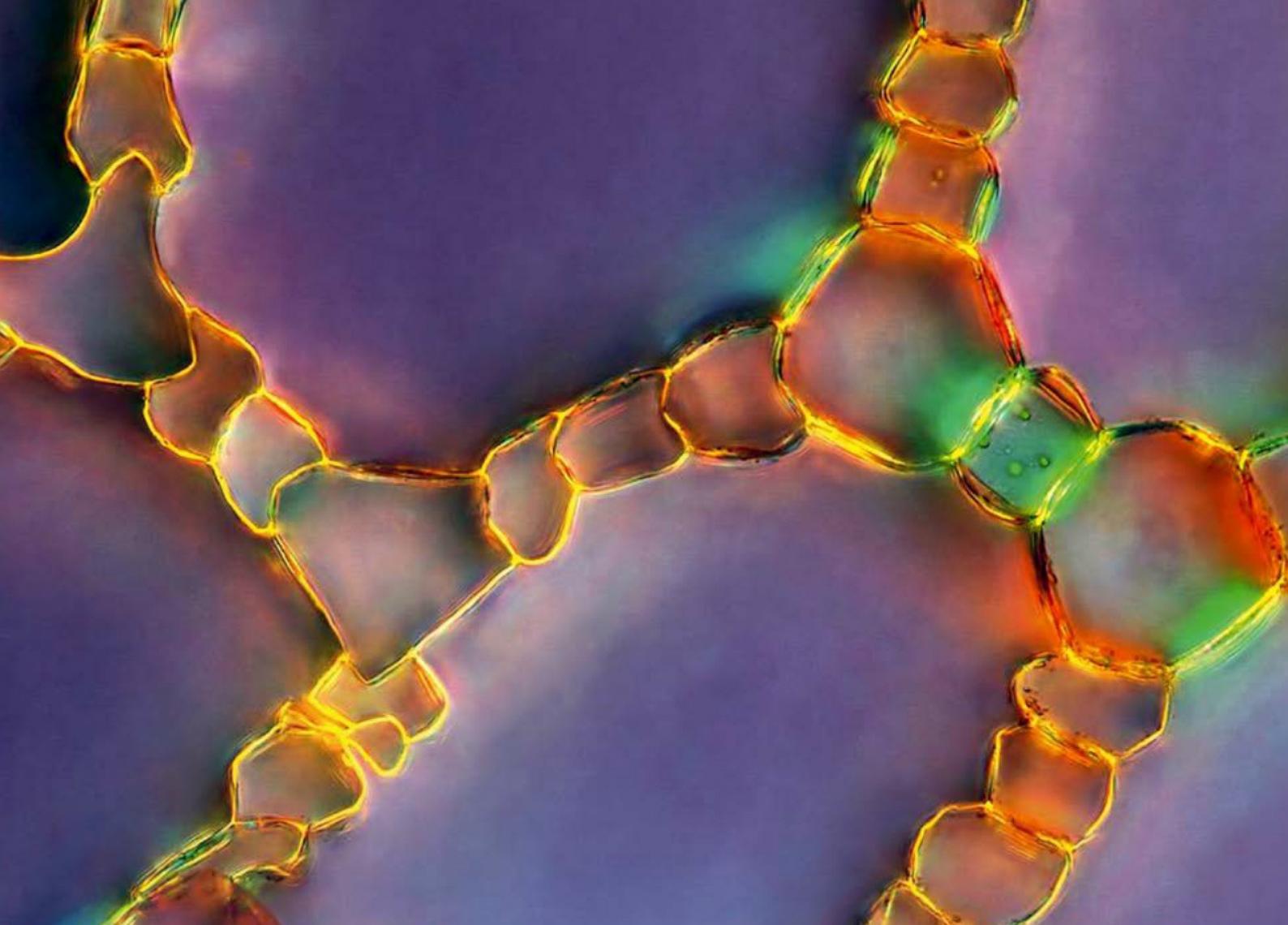
7 Wirusy to małe cząstki zakaźne uznawane za struktury z pogranicza materii ożywionej i nieożywionej.

Wybrane cechy wirusów:

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



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.

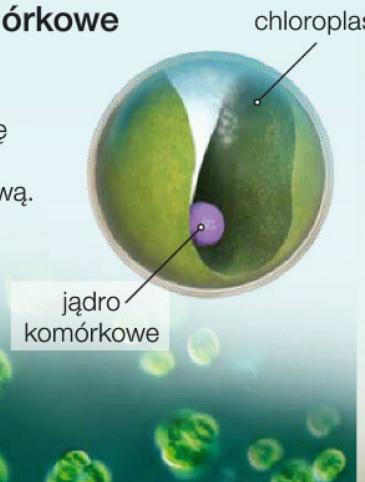
Do roślin pierwotnie wodnych należą **glaukocystofity, krasnorosty i zielenice**. Są one **organizmami autotroficznymi**, które prowadzą fotosyntezę oksygeniczną. Rośliny

Formy morfologiczne roślin pierwotnie wodnych

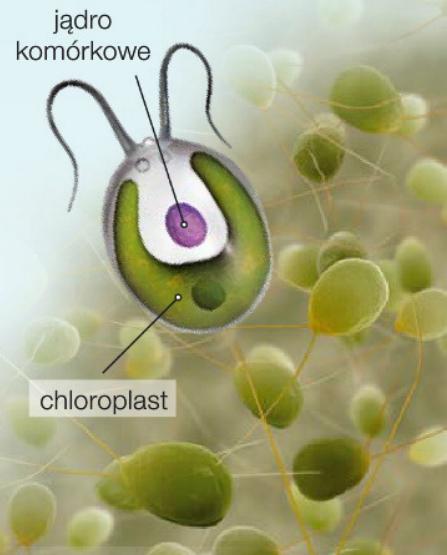
Do roślin pierwotnie wodnych należą organizmy jednokomórkowe, kolonijne lub wielokomórkowe o budowie plechowej. Wśród plech wyróżnia się plechy komórczakowe, nitkowate, nibytkankowe lub tkankowe. Niektóre z nich są podzielone na część łodygokształtną, część liściokształtną oraz chwytniki.

Formy jednokomórkowe

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

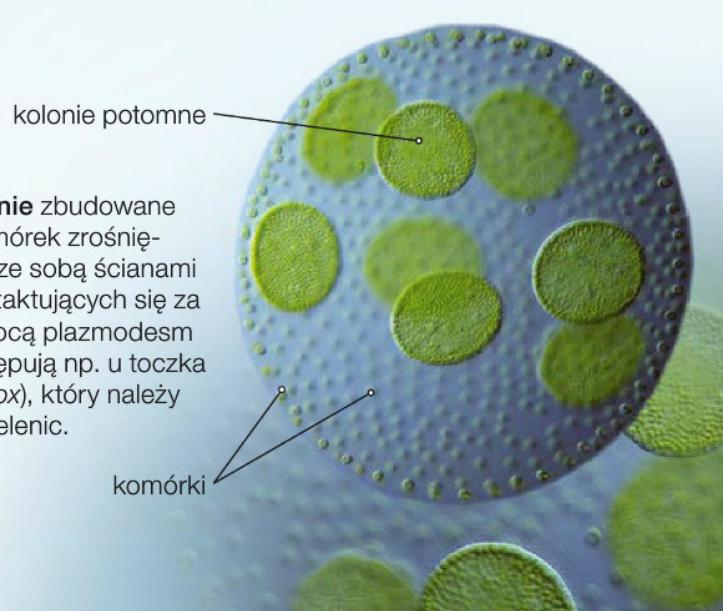


Formy jednokomórkowe wiciowcowe poruszają się za pomocą jednej lub dwóch wici. Są otoczone błoną komórkową, a niekiedy dodatkowo ścianą komórkową. Przykładem jest zawłotnia (*Chlamydomonas*), która należy do zielenic.



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

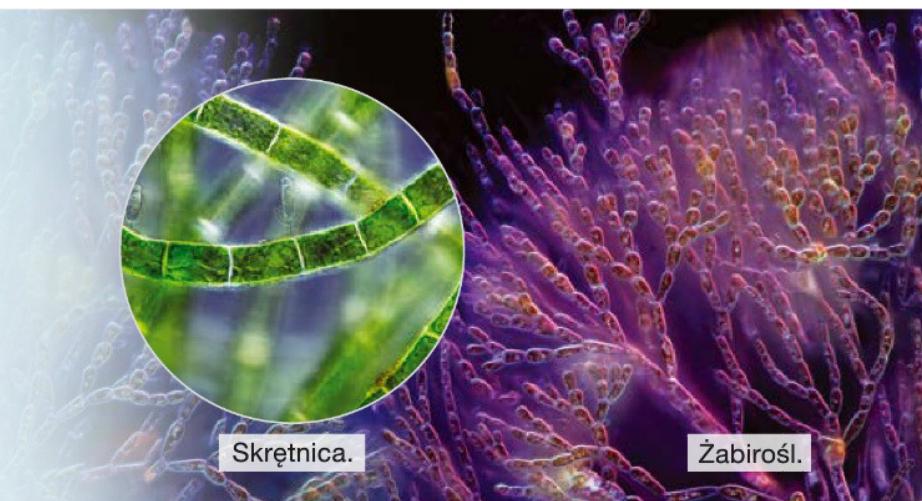
do królestwa roślin przemawia natomiast budowa ich komórek, a w szczególności chloroplastów. Organelle te, podobnie jak chloroplasty roślin lądowych, mają **dwie błony białko-lipidowe** i powstały prawdopodobnie w wyniku **endosymbiozy pierwotnej**.

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.



Skrętnica.

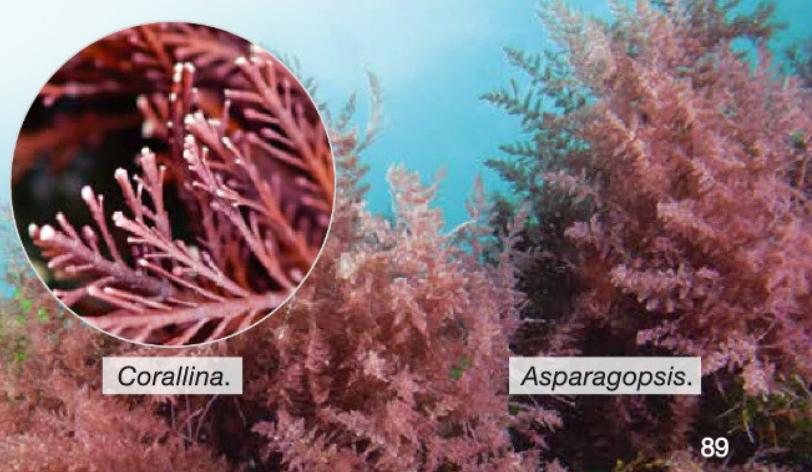
Żabirośl.

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.



Pełzatki.

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



Corallina.

Asparagopsis.

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 nibykankowe, 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

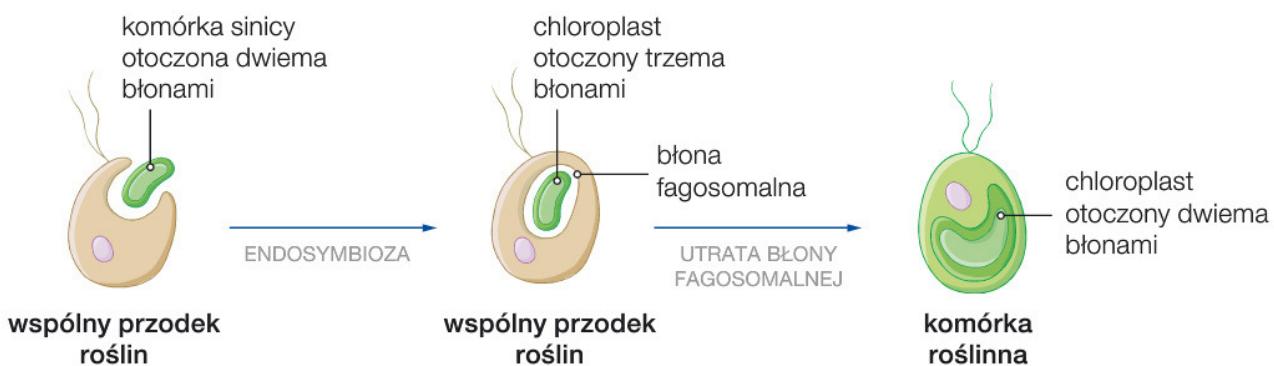
Zielenice zasiedlają głównie środowiska wodne, ale występują też na lądzie, m.in. na korze drzew, a nawet na śniegu i lodzie, gdzie ich masowe pojawy wywołują zjawisko barwnego śniegu. Liczne zielenice wchodzą w związki symbiotyczne z różnymi gatunkami grzybów, współtworząc porosty.

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 – **skrobiec**.

Endosymbioza pierwotna

Przypomnij sobie

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.

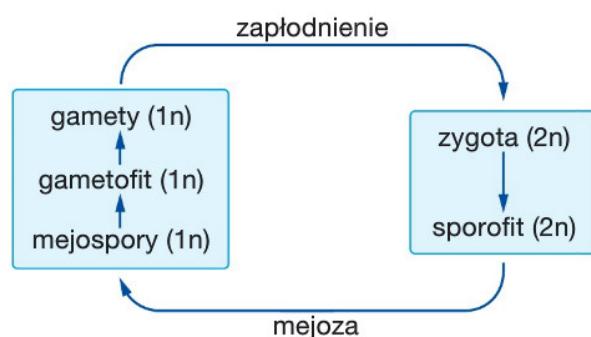


Początkowo chloroplasty roślin miały trzy błony białkowo-lipidowe. Dwie pochodziły z komórek sinic, a jedna – zewnętrzna – była błoną fagosomalną, powstałą w wyniku wpuklenia się błony komórkowej komórki gospodarza. Błona fagosomalna uległa z czasem strawieniu – w rezultacie współczesne chloroplasty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

■ Rozmnażanie się roślin pierwotnie wodnych

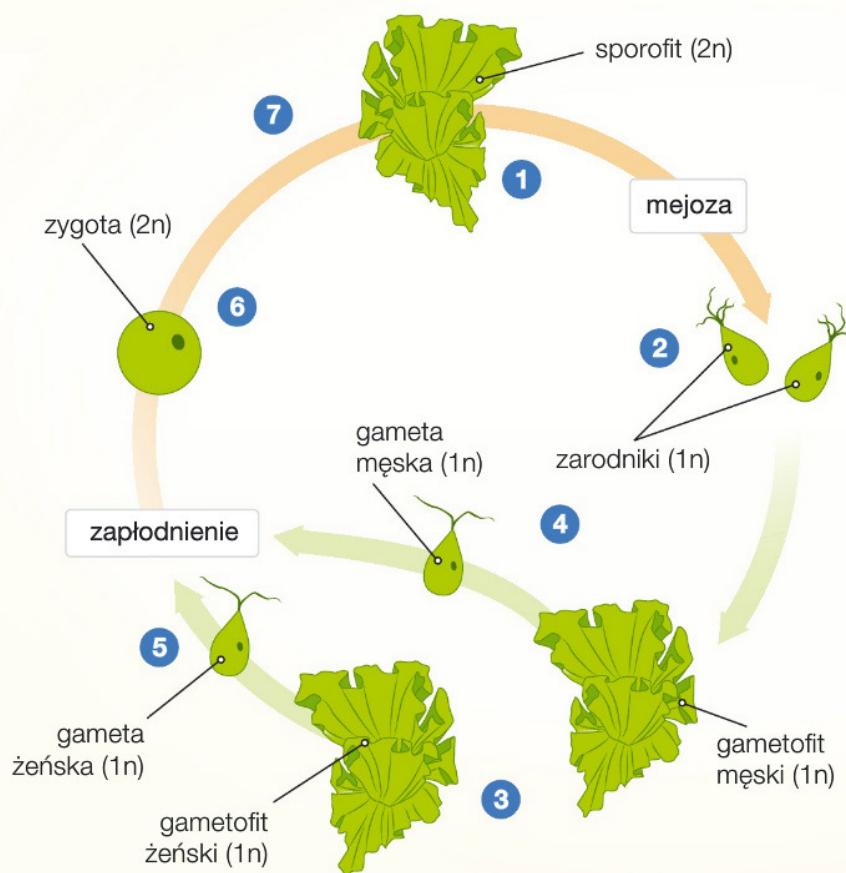
Większość roślin pierwotnie wodnych cechuje przemiana faz jądrowych połączona z przemianą pokoleń. Zjawisko to polega na regularnym następowaniu po sobie pokolenia rozmnażającego się za pomocą gamet – **gametofitu** ($1n$) – oraz pokolenia rozmnażającego się za pomocą zarodników – **sporofitu** ($2n$). 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. Mejosa, która prowadzi do powstania zarodników, jest **mejozą pośrednią**.



Cykł 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 tworzy zarodnie, w których zachodzi podział mejotyczny komórek macierzystych zarodników.
- 2 W wyniku mejozy powstają haploidne zarodniki – zoospory.
- 3 Zarodniki kiełkują w haploidne gametofity.
- 4 Gametofit męski wytwarza jedno-komórkowe plemnie, w których powstają małe, opatrzone wiciami gamety męskie – plemniki.
- 5 Gametofit żeński wytwarza jedno-komórkowe legnie, 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.

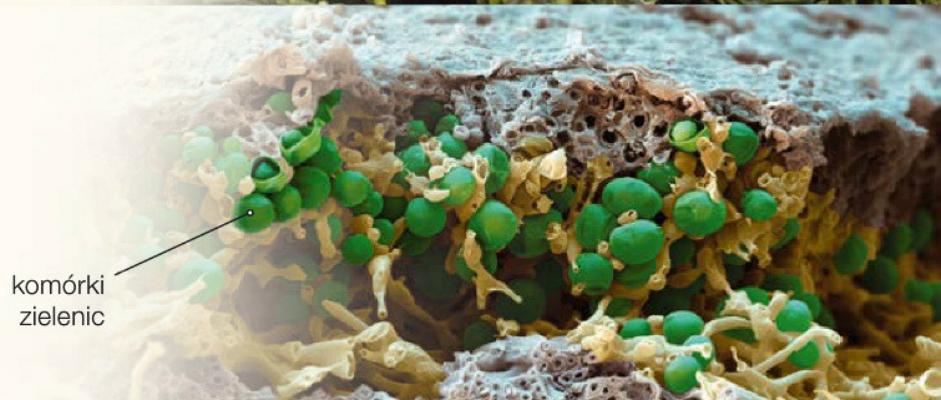
pławikonik australijski



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 (karagini 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 lązcie,
- 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 okryzozalążkowe**. Największym zróżnicowaniem budowy charakteryzują się rośliny okryzozalążkowe. Ze względu na doskonale 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**.

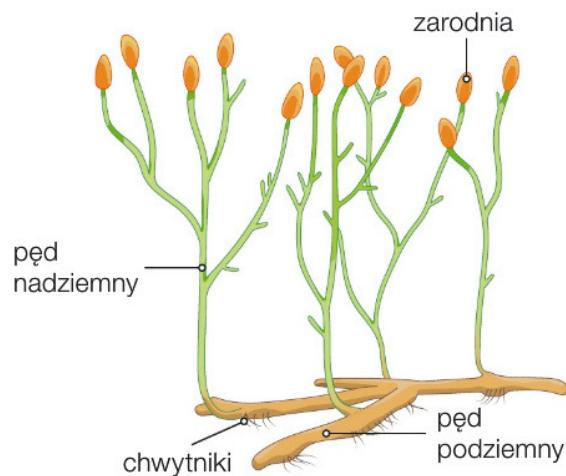
Pochodzenie roślin lądowych

Pierwsze rośliny pojawiły się na lązcie 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.

Cykł 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.

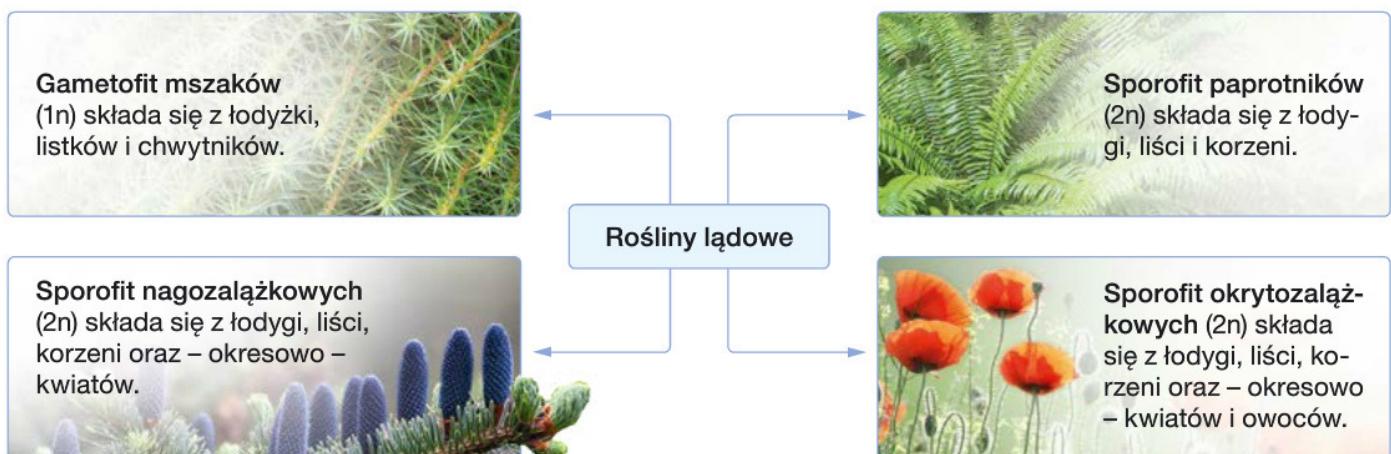


Według jednej z hipotez rośliny lądowe wywodzą się z grupy ramienicowych (Charophyceae), które należą do zielenic.

■ 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**.

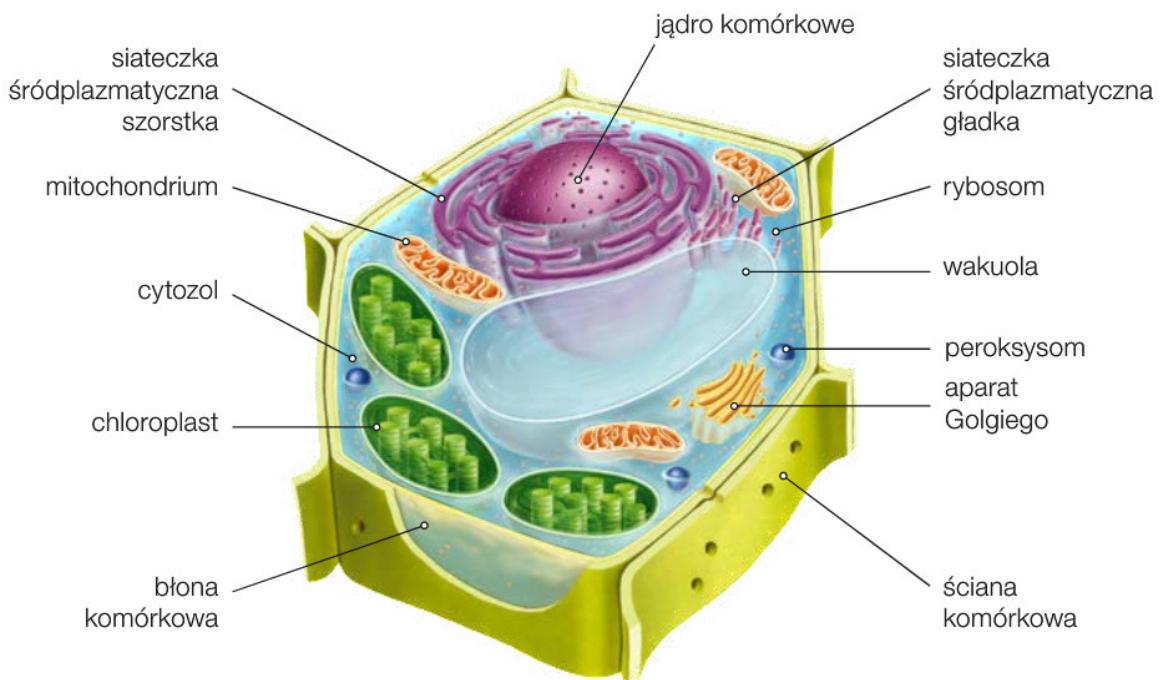


Grupy współczesnych roślin lądowych.

Komórki roślin lądowych

Przypomnij sobie

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 oddziaływanie 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. Wyodrębnili 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.

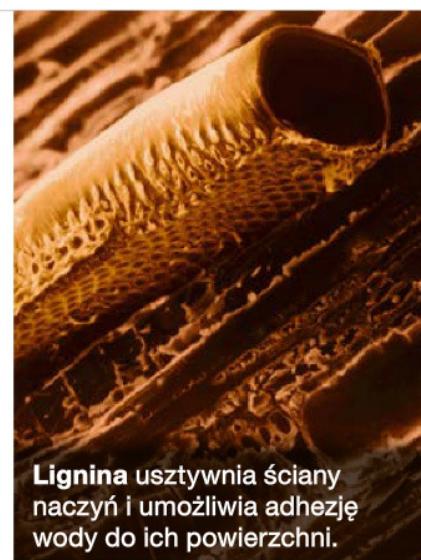
Ważne zmiany w związku z opanowaniem środowiska lądowego dotyczyły również procesów rozmnażania. Zapłodnienie u starszych ewolucyjnie roślin – mszaków i paprotników – odbywa się w obecności wody, tak jak u ich żyjących w wodzie przodków. Jednak **zarodniki mszaków i paprotników uzyskały charakter przetrwalnikowy** i dzięki zawartości w ścianach substancji lipidowej – sporopolleniny – 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. $0,0012 \text{ g/cm}^3$)
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 wzmacnienie mechaniczne organów roślinnych. Dzięki wytwarzaniu ligniny rośliny lądowe mogły powiększać swoje rozmiary, a co za tym idzie – efektywniej wykorzystywać energię światlną.



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.

■ Organy generatywne

Kwiaty odpowiadają za rozmnażanie się rośliny. Zawierają organy płciowe męskie – pręciki – i żeńskie – słupki. W obrębie kwiatów dochodzi do wytworzenia meiospor, 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.

■ Tkanki

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



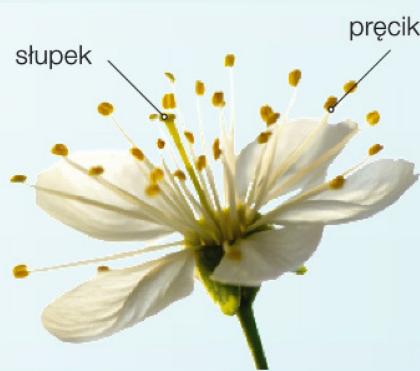
Drewno umożliwia pionowy transport wody w roślinie. Pełni również funkcję wzmacniającą.



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.



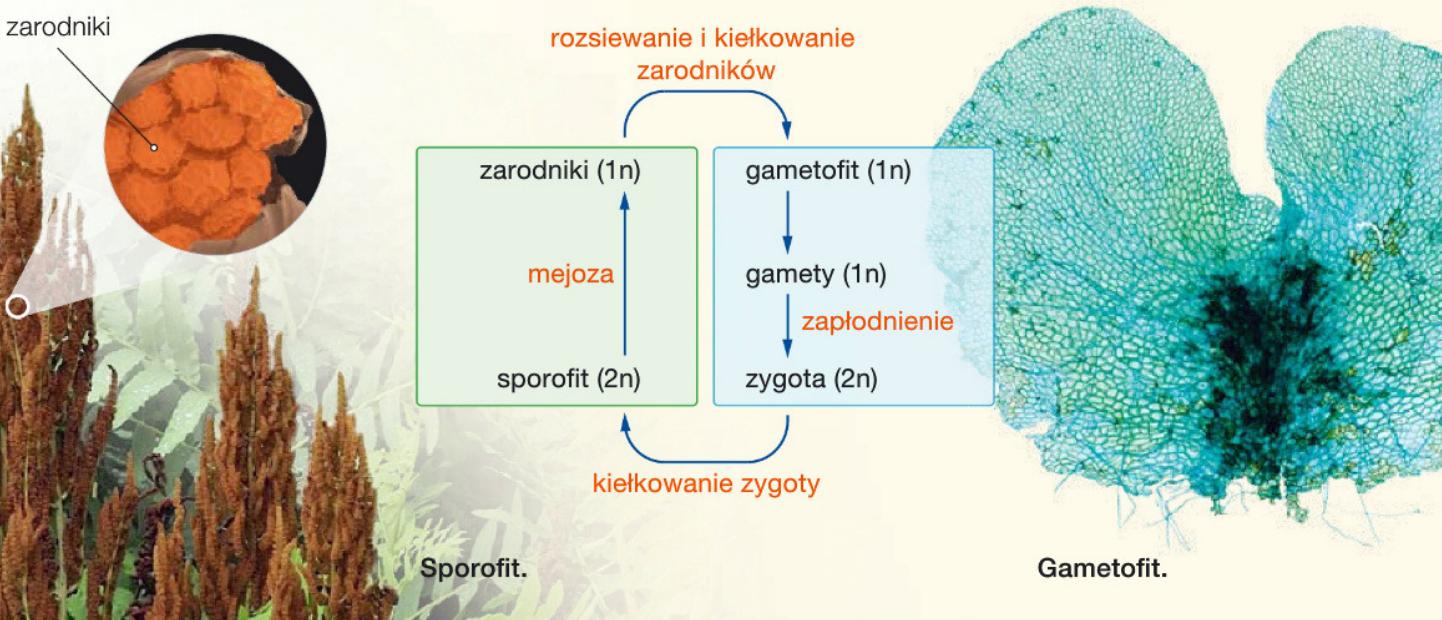
Rośliny zarodnikowe i nasienne

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

■ 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.

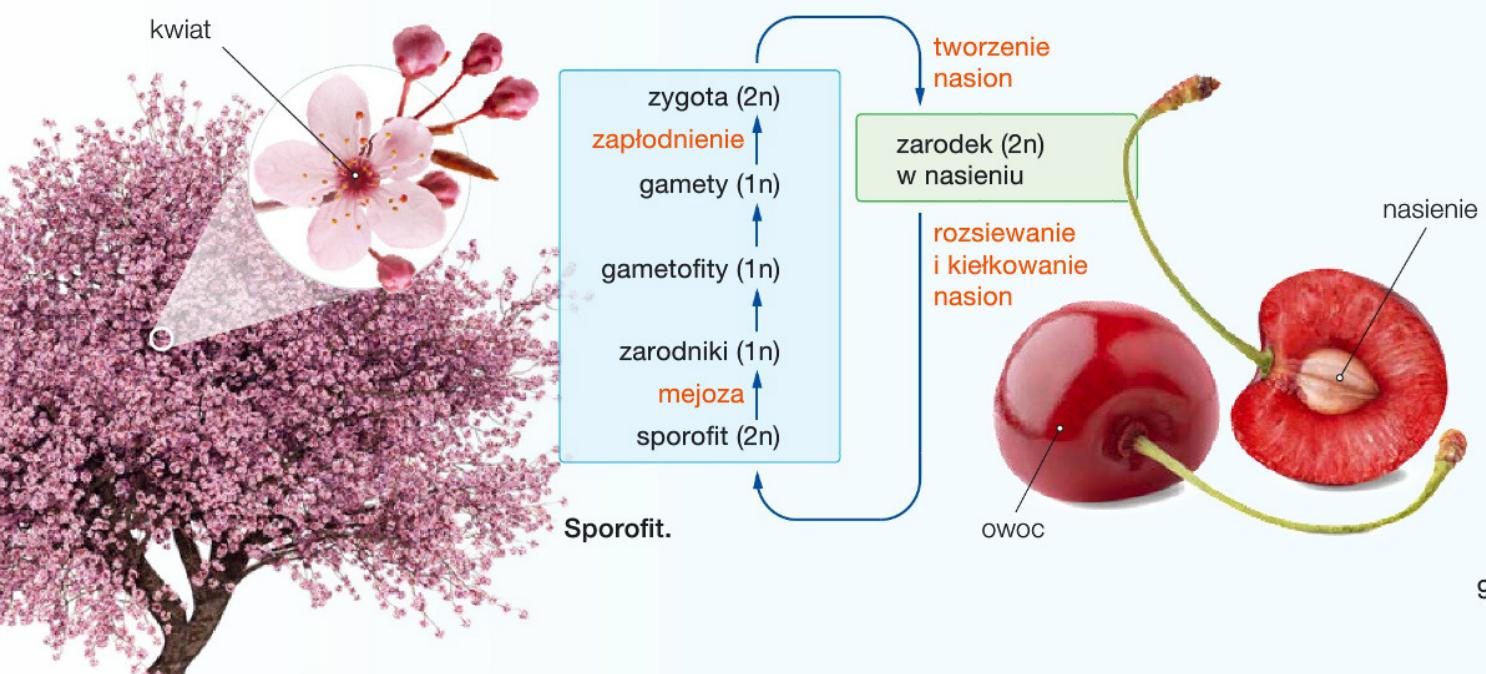
Cykl rozwojowy roślin zarodnikowych



■ Rośliny nasienne

Do roślin nasiennych należą rośliny nagozalażkowe i okrytozalażkowe. 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



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 **widłkowe**. Ze względu na różne pochodzenie ewolucyjne grupy te są obecnie klasyfikowane jako odrębne jednostki takonomiczne 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 samozwywny, 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



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

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 przetrwawnikowy i służą do rozprzestrzeniania się gatunku. Dlatego paprotniki są **roślinami zarodnikowymi**. Paprotniki jednakozarodnikowe tworzą jeden rodzaj zarodników, które kiełkują w jednopienne gametofity. Paprotniki różnorodnikowe tworzą dwa rodzaje zarodników: duże makrospory, które dają początek gametofitom żeńskim, i mniejsze mikrospory, które dają początek gametofitom męskim.

Gametofit (przedrośle) paprotników jest zwykle krótkotrwały, samozwywny 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 plemniami do rodni zawierającej komórkę jajową.



Paprocie epityczne 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.

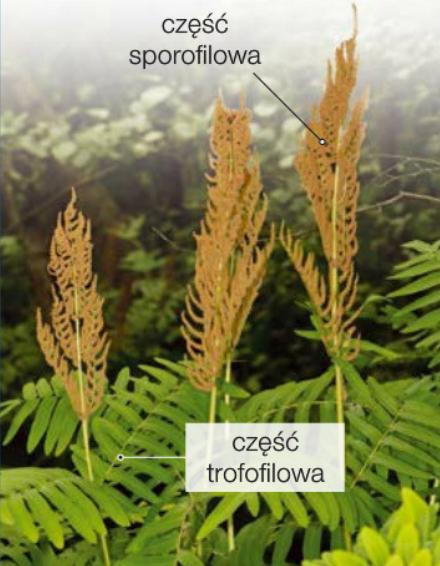
Jesienią liście paproci obumierają, natomiast roślina zimuje w postaci kłącza, z którego wiosną wyrastają nowe liście. **Gametofit** paproci



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

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

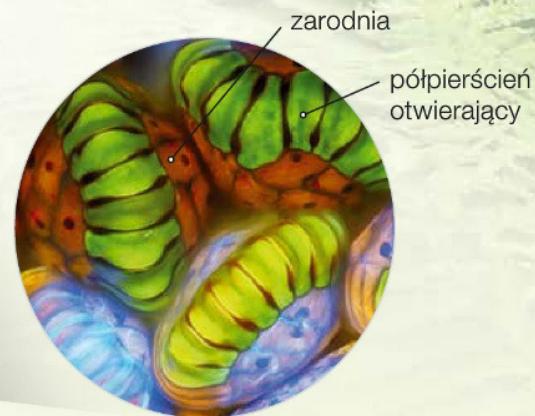
Rodzaje liści paproci

sporotrofore	sporofile i trofore
<p>Liście o charakterze sporotroforu ma paprotka zwyczajna (<i>Polypodium vulgare</i>). Pełnią one funkcję asymilacyjną oraz uczestniczą w rozmnażaniu się rośliny. Na ich spodniej stronie znajdują się kupki zarodni.</p> 	<p>Liście o charakterze sporotroforu ma długosz królewski (<i>Osmunda regalis</i>). Ich dolna – zielona – część pełni funkcję asymilacyjną, natomiast górna – brunatna – wytwarza zarodnie z zarodnikami.</p> 

Budowa nerecznicy samczej

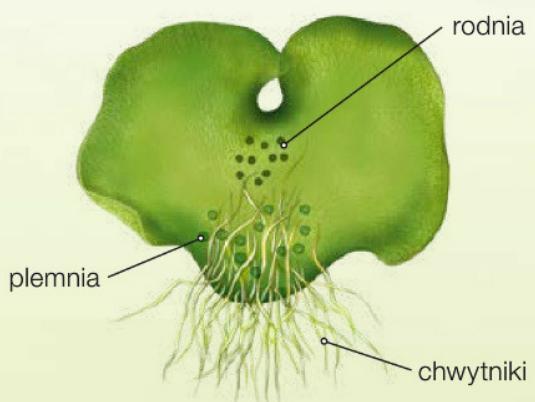
Nerecznica samcza (*Dryopteris filix-mas*) występuje w cienistych lasach na terenie całej Polski. Sporofit nerecznicy dorasta do ok. 1,5 m wysokości. Składa się z kłącza, korzeni przybyszowych oraz liści o charakterze sporotrofofili. Gametofit jest samożywowy, jednopienny, przytwierdzony do podłoża za pomocą chwytników.

Sporofit nerecznicy samczej



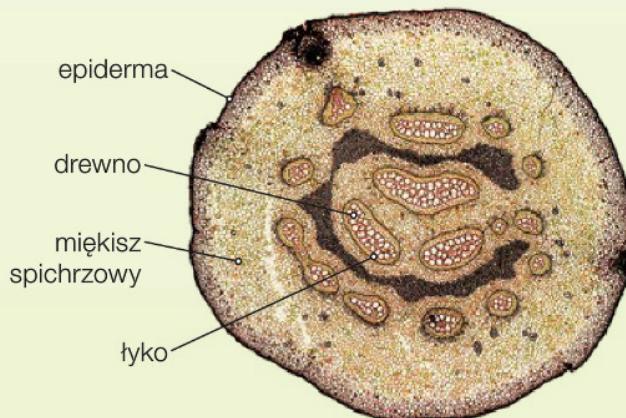
Zarodnie są wytwarzane w kupkach na spodniej stronie dojrzałych liści. Każda kupa jest otoczona błoną – zawijką. Zarodnie mają specjalny półpierścień otwierający, który umożliwia wysypywanie się zarodników.

Gametofit nerecznicy samczej



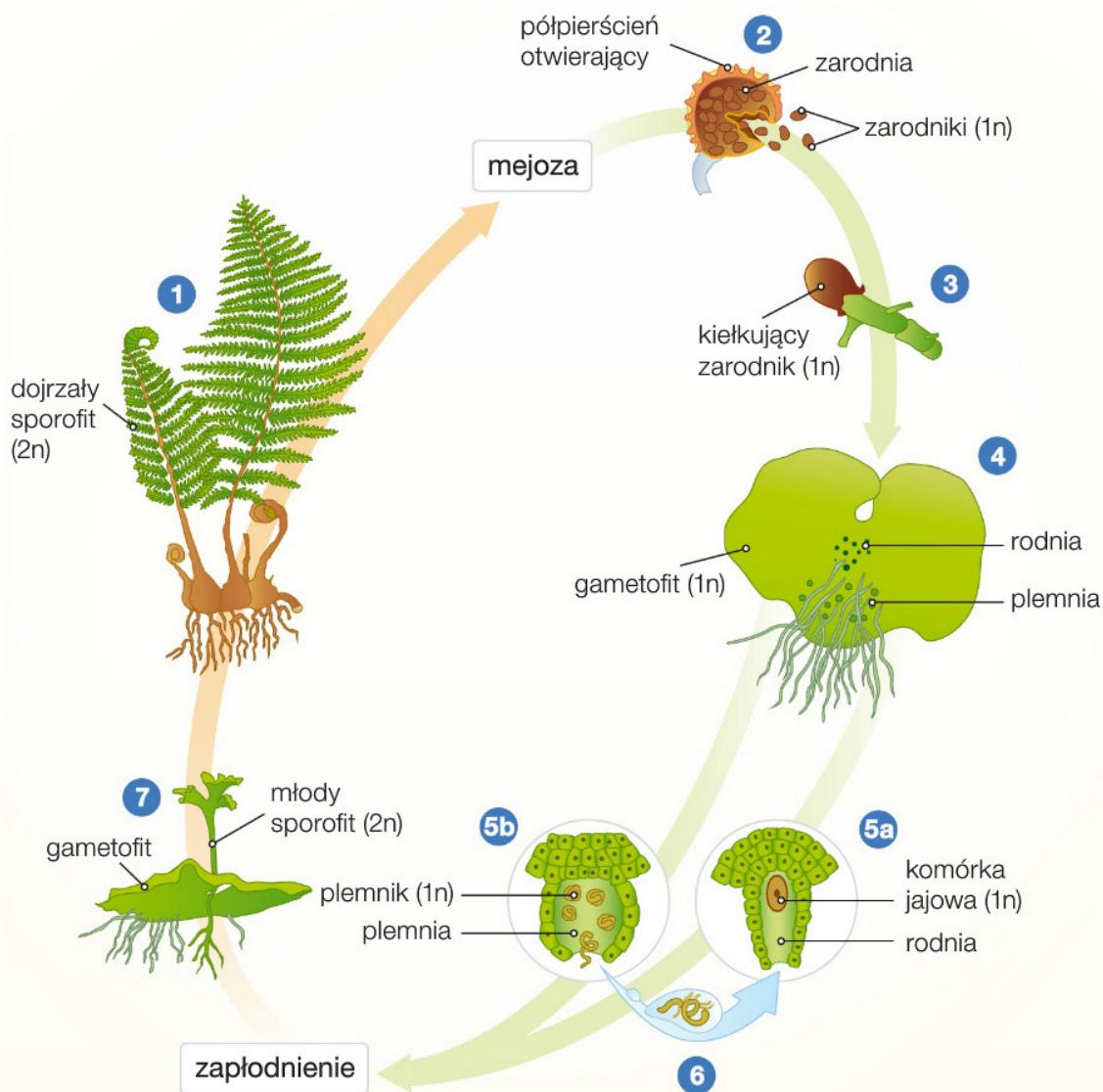
Budowa anatomiczna łodygi paproci

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 – tyko 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 meiotycznie, 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 – meiospory – kiełkują i wytwarzają gametofit – przedrośle.
- 4 Przedroście 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 przedroście obumiera.

Skrzypowe

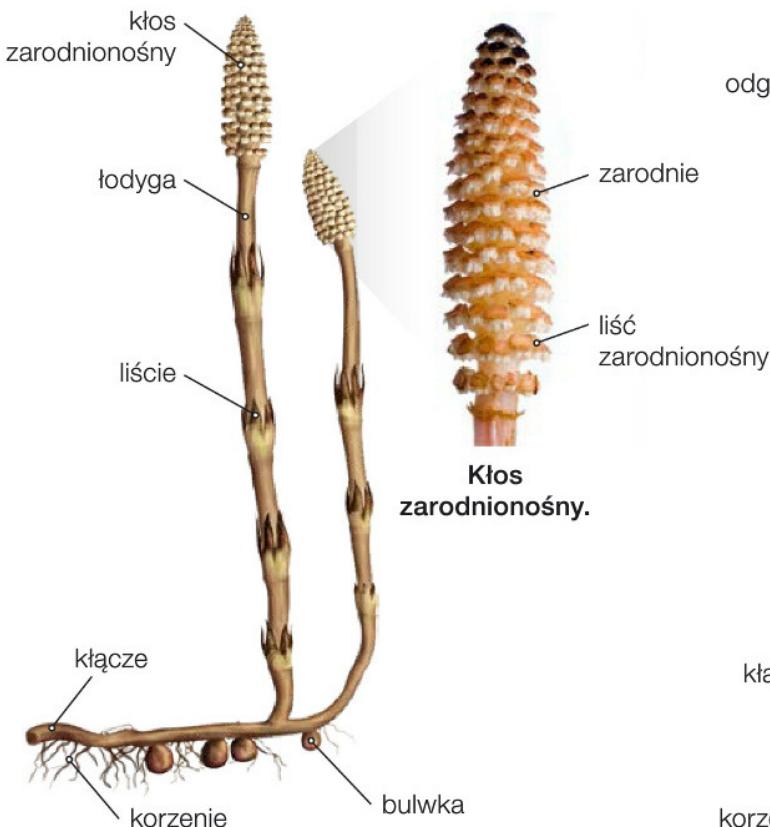
W paleozoiku skrzypowe były dużą, zróżnicowaną grupą roślin, a ich przedstawiciele – kalamity – osiągały wysokość ponad 30 m. Do współczesnych skrzypowych należy zaledwie 30 gatunków roślin, zaklasyfikowanych do jednego rodzaju – skrzyp (*Equisetum*).

Sporofity skrzypów są wieloletnimi roślinami zielnymi, osiągającymi wysokość kilkudziesięciu centymetrów. Ich charakterystyczną cechą jest członowana budowa łodyg nadziemnych oraz kłącza. Organy te są zróżnicowane na krótkie węzły i wydłużone międzywęzła. Z węzłów kłącza wyrastają korzenie przybyszowe, natomiast z węzłów łodygi nadziemnej – okółki odgałęzień bocznych oraz łusko-

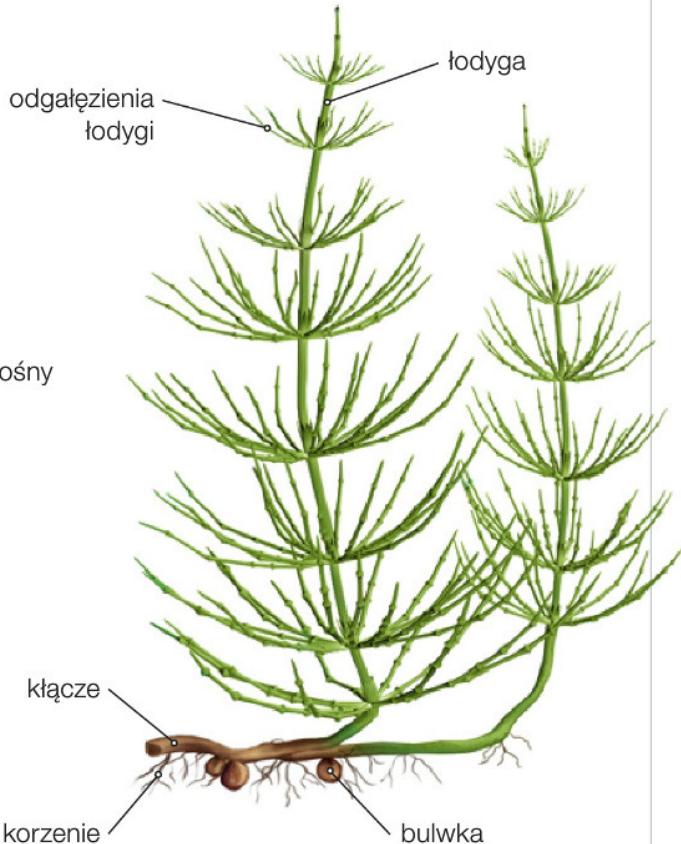
watych liści zrośniętych w pochewkę. Liście skrzypów nie przeprowadzają fotosyntezy, a funkcję organu asymilacyjnego całkowicie przejmuje łodyga. Na szczytach pędów asymilacyjnych niektórych gatunków skrzypów znajdują się **kłosy zarodnionośne** (sporofilstany). Są to skupienia liści zarodnionośnych (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.



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.



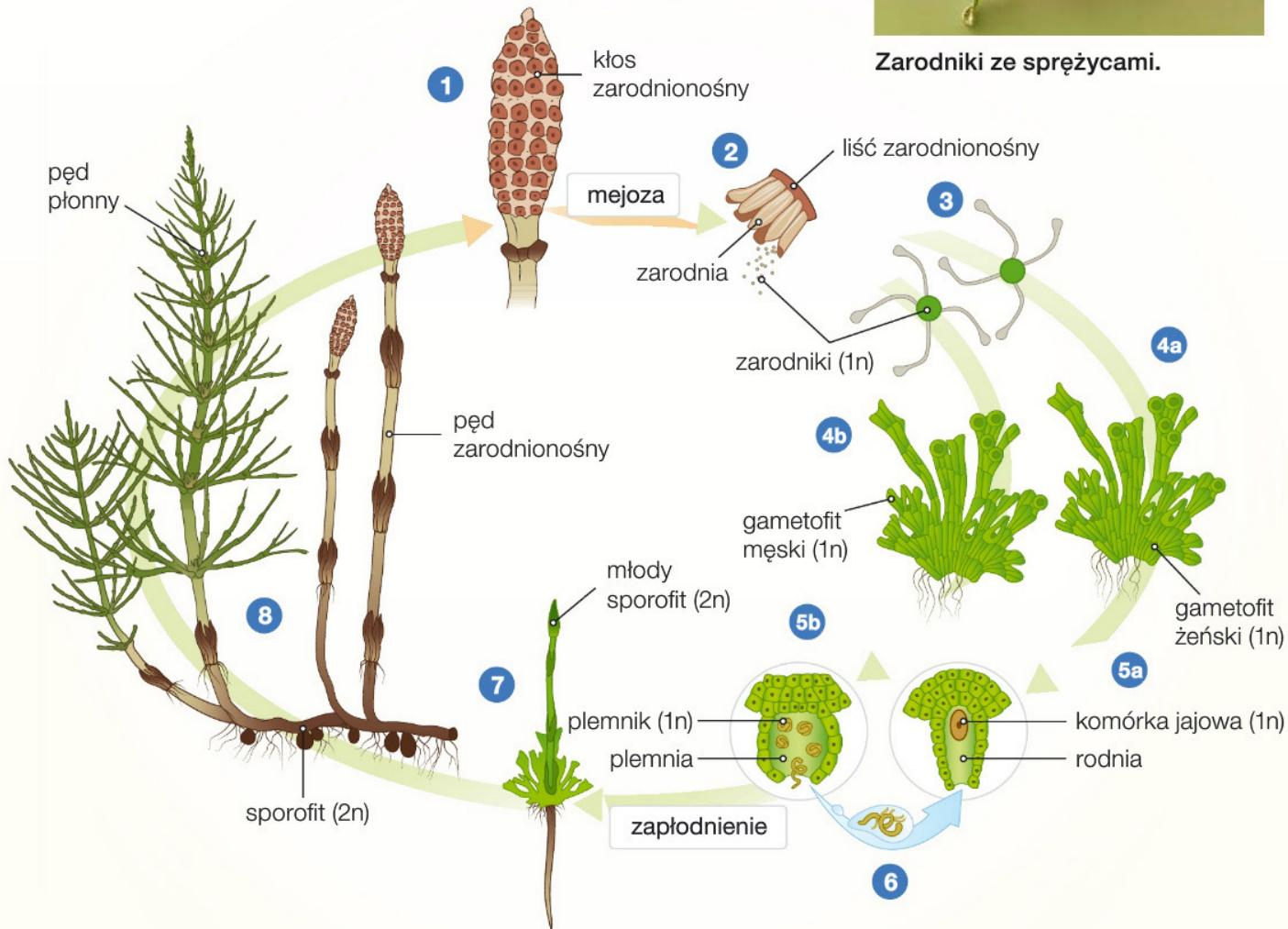
Pęd płonny żyje od wiosny do późnej jesieni. Przeprowadza fotosyntezę, a nadmiar wytworzonych asymilatów zostaje zmagazynowany w kłączu oraz w bulwkach. Roślina zimuje w postaci pędu podziemnego.

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 sprzązycami.



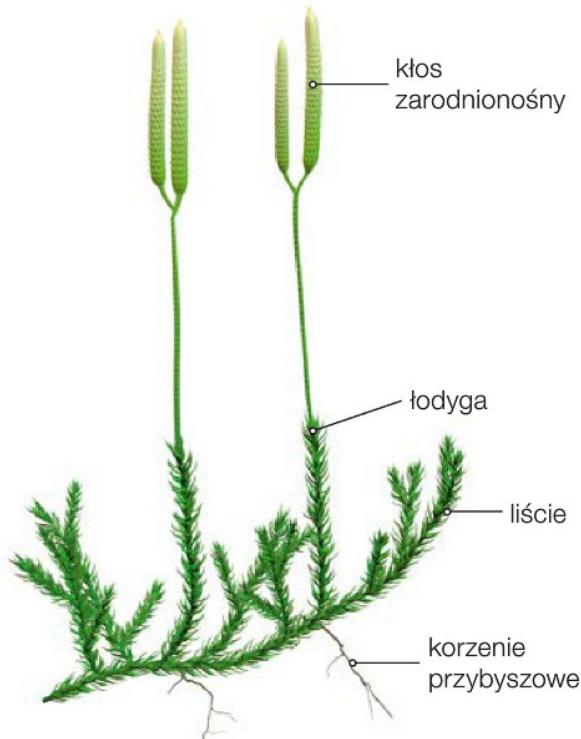
- 1 Na szczycie pędu zarodnionośnego powstaje kłos zarodnionośny, złożony z liści zarodnionośnych.
- 2 Na spodniej stronie liści zarodnionośnych tworzą się zarodnie z tkanką zarodnikotwórczą. Jej komórki, dzieląc się mejotycznie, wytwarzają zarodniki. Zarodniki są niezróżnicowane morfologicznie, ale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

- 4a Zarodnik kiełkuje w przedroście żeńskie wytwarzające rodnię.
- 4b Zarodnik kiełkuje w przedroście męskie wytwarzające plemniki.
- 5a W każdej rodni powstaje komórka jajowa.
- 5b W plemnach powstają opatrzone wiciami plemniki.
- 6 Plemniki w kropli wody przepływają do rodni. W rodni jeden z plemnów łączy się z komórką jajową. Zachodzi zapłodnienie.
- 7 Z zigoty rozwija się sporofit w postaci pędu płonnego. Pęd ten wytwarza kłącze i bulwki, a następnie – jesienią – obumiera.
- 8 Wiosną z kłącza wyrasta pęd zarodnionośny.

■ Widłakowe

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 bezzielony, 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*).

Różnorodność widłakowych

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

Dowiedz się więcej



■ 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.

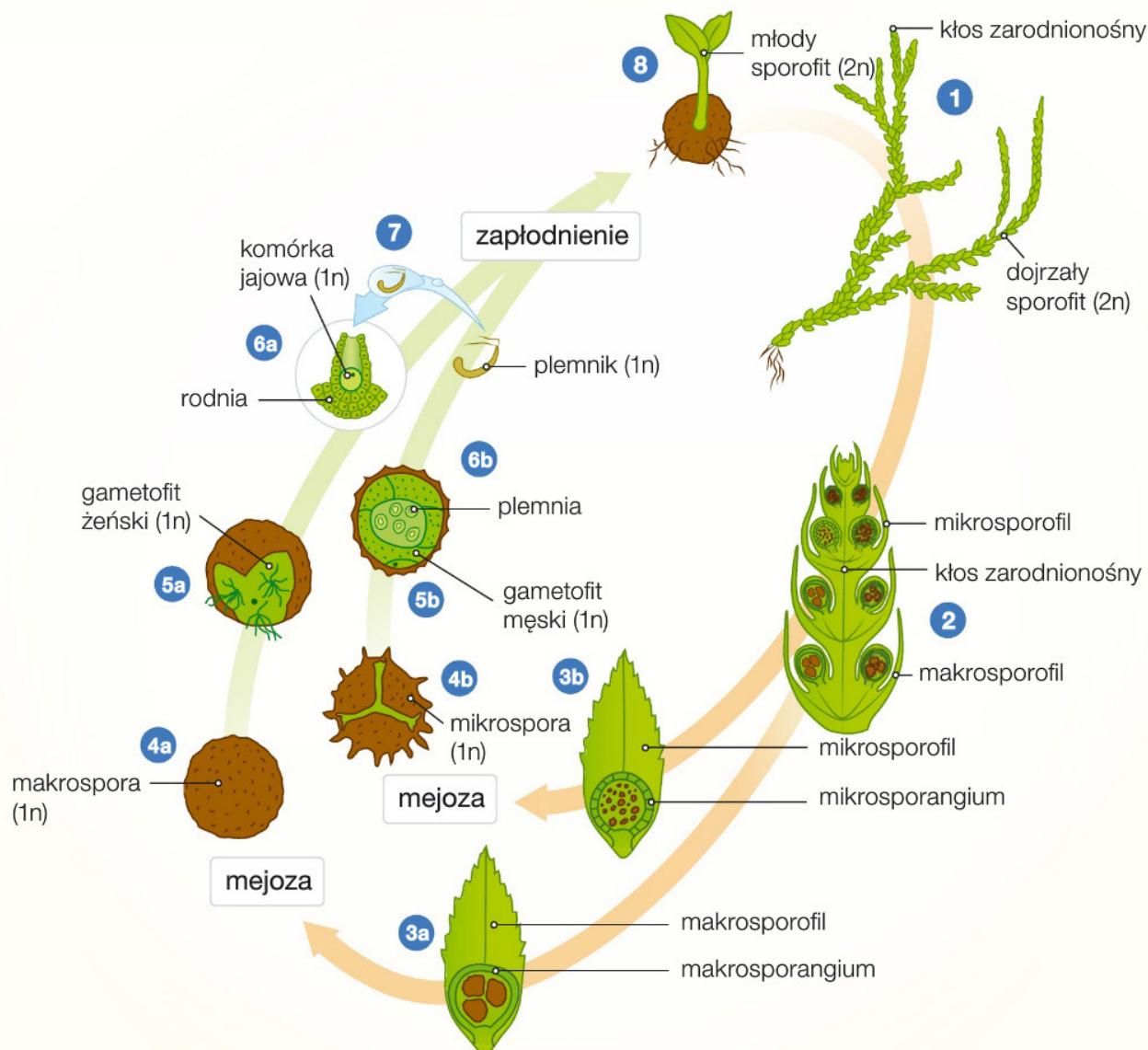
■ Widliczki

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
- 6a W każdej rodni powstaje komórka jajowa.
- 6b W plemnach powstają opatrzone wiciami plemniki.
- 7 Plemniki z kroplami deszczu lub rosą 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.

odbywa się w obrębie zarodni w kłosie zarodnionośnym.

5b Mikrospory kiełkują w przedrośla męskie, na których rozwijają się plemnia. Kiełkowanie odbywa się w obrębie zarodni w kłosie zarodnionośnym.

6a W każdej rodni powstaje komórka jajowa.

6b W plemnach powstają opatrzone wiciami plemniki.

7 Plemniki z kroplami deszczu lub rosą 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 paproników w przyrodzie i dla człowieka

Tworzenie siedlisk

Paprotniki stanowią środowisko życia dla wielu zwierząt bezkręgowych oraz kręgowych.

- Niektóre gatunki pajków opłatają 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 naczelnego.



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 wzmacnienia włosów i paznokci.



Węgiel kamienny

Do największego rozwoju paproników doszło w drugiej połowie ery paleozoicznej. Na Ziemi występowały wówczas liczne gatunki paproników 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 paproników utworzyły złożo węgla kamiennego. Do paproników 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.



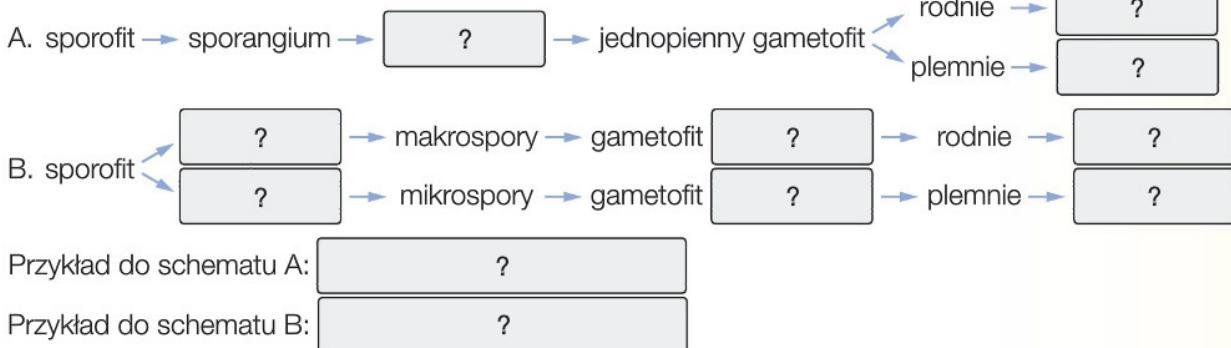
Węgiel kamienny jest jednym z podstawowych surowców energetycznych. Należy do nieodnawialnych źródeł energii.



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

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.



3.11. Rośliny okrytozalążkowe

Zwróć uwagę na:

- cechy charakterystyczne okrytozalążkowych,
- budowę okrytozalążkowych,
- rozmnażanie się okrytozalążkowych.

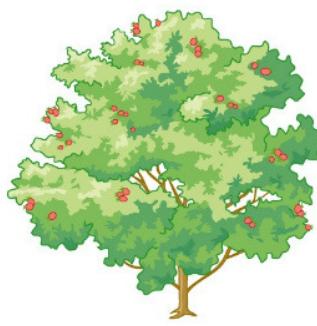
Rośliny okrytozalążkowe występują powszechnie w środowisku lądowym, a wtórnie zasiedlają także zbiorniki wód słodkich i słonych. Zdecydowanie dominują wśród roślin większości stref klimatycznych, a niezwykle bogactwo ich form jest przejawem adaptacji do życia w różnorodnych warunkach środowiska. Do roślin 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.  Dąb.	Mają krótką łodygę, która rozgałęzia się nisko nad ziemią.  Głów.	Przypominają budowę krzewu, ale są od nich znacznie mniejsze.  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 prećków zawiera **słupek** – strukturę powstającą 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

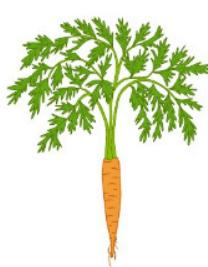
Ich pędy nadziemne obumierają pod koniec każdego sezonu wegetacyjnego, a rośliny zimują w postaci pędów podziemnych.



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.

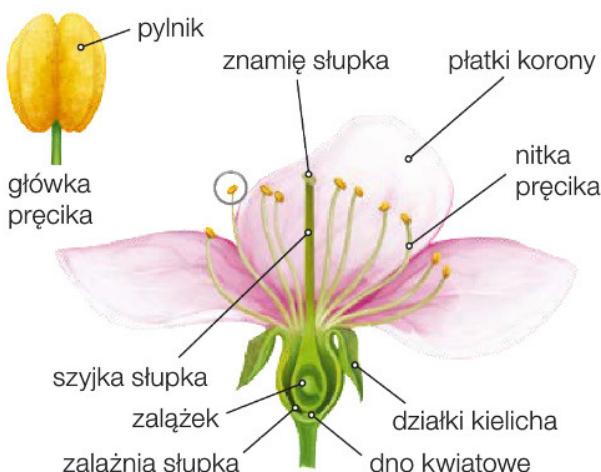
Budowa kwiatu obupłciowego

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 działa 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 główką, w której wyróżnia się dwa pylniki połączone łącznikiem. Każdy pylnik składa się z dwóch woreczków pyłkowych.



Budowa kwiatu obupłciowego.

Rodzaje kwiatów

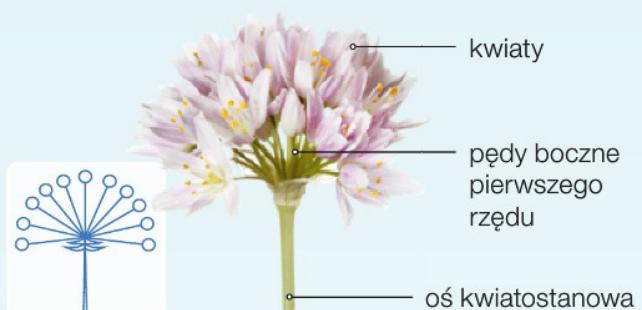
rozdzielnopłciowe		obupłciowe
Roślina dwupienna kwiaty żeńskie – słupkowe (♀) – i męskie – pręcikowe (♂) – znajdują się na różnych osobnikach. Wierzba.	Roślina jednopienna kwiaty żeńskie – słupkowe (♀) – i męskie – pręcikowe (♂) – znajdują się na jednym osobniku. Olsza.	Roślina jednopienna pojedynczy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

Kwiatostany

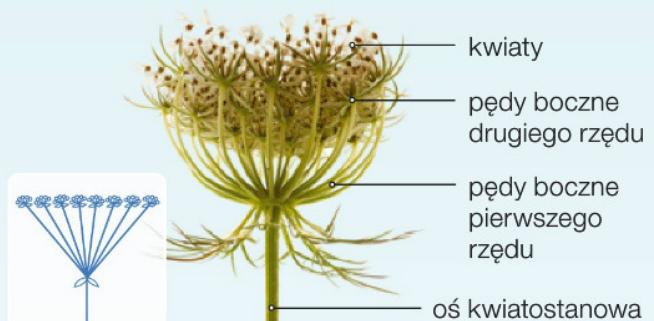
Kwiaty roślin okrytozałapkowych występują często w skupieniach zwanych kwiatostanami. W kwiatostanach wyróżnia się oś kwiatostanową oraz odchodzące od niej pędy boczne zakończone kwiatami. Występowanie kwiatów w skupieniach ułatwia ich zapylanie.

■ 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 wierzchotkowe

W kwiatostanach wierzchotkowych rozgałęzienia pędów bocznych odchodzą od wielu osi kwiatostanowych.



Wierzchotka jednoramienna (np. niezapominajka).



Wierzchotka dwuramienna (np. lepnica).

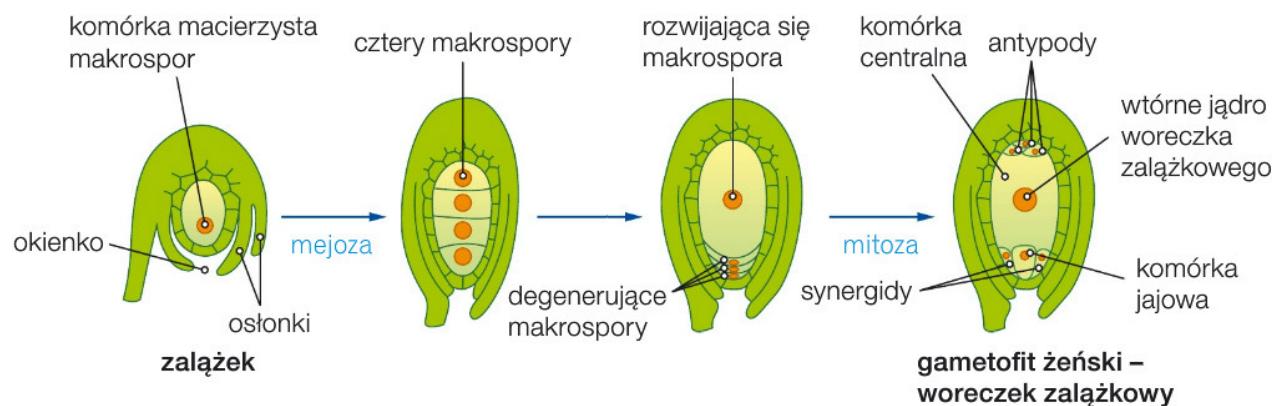
Rozmnażanie płciowe okrytozalążkowych

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.

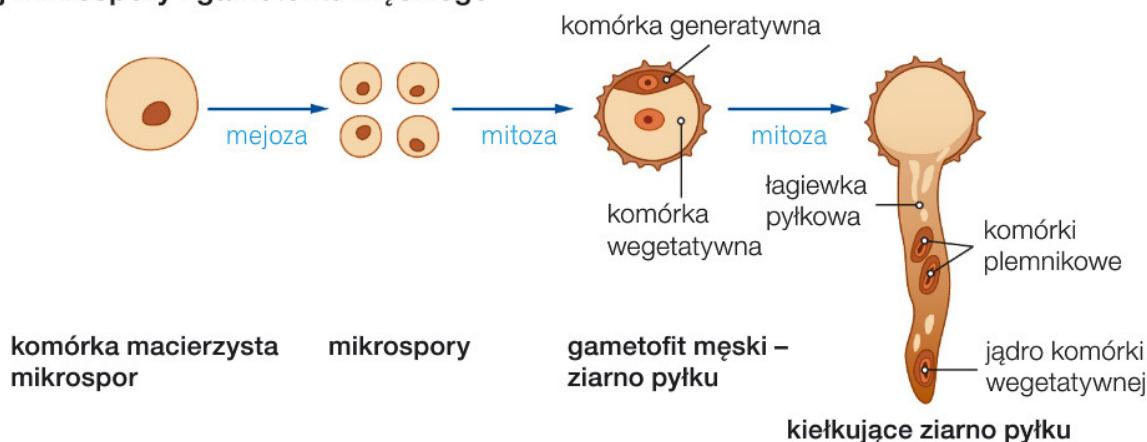
Rozwój makrospory i gametofitu żeńskiego zachodzi w kwiatach żeńskich. W ośrodku zalążka wyodrębnia się diploidalna komórka macierzysta makrospor, która dzieli się meiotycznie na cztery haploidalne **makrospory**. Trzy z nich obumierają, a jedna rozwija się w gametofit żeński – **woreczek zalążkowy**. 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 przeciwnym biegunie trzy kolejne jądra uczestniczą w formowaniu komórek zwanych **antypodami**. Pozostałe dwa jądra układają się w środkowej części gametofitu i łączą się, tworząc **diploidne 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 meiotycznie 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

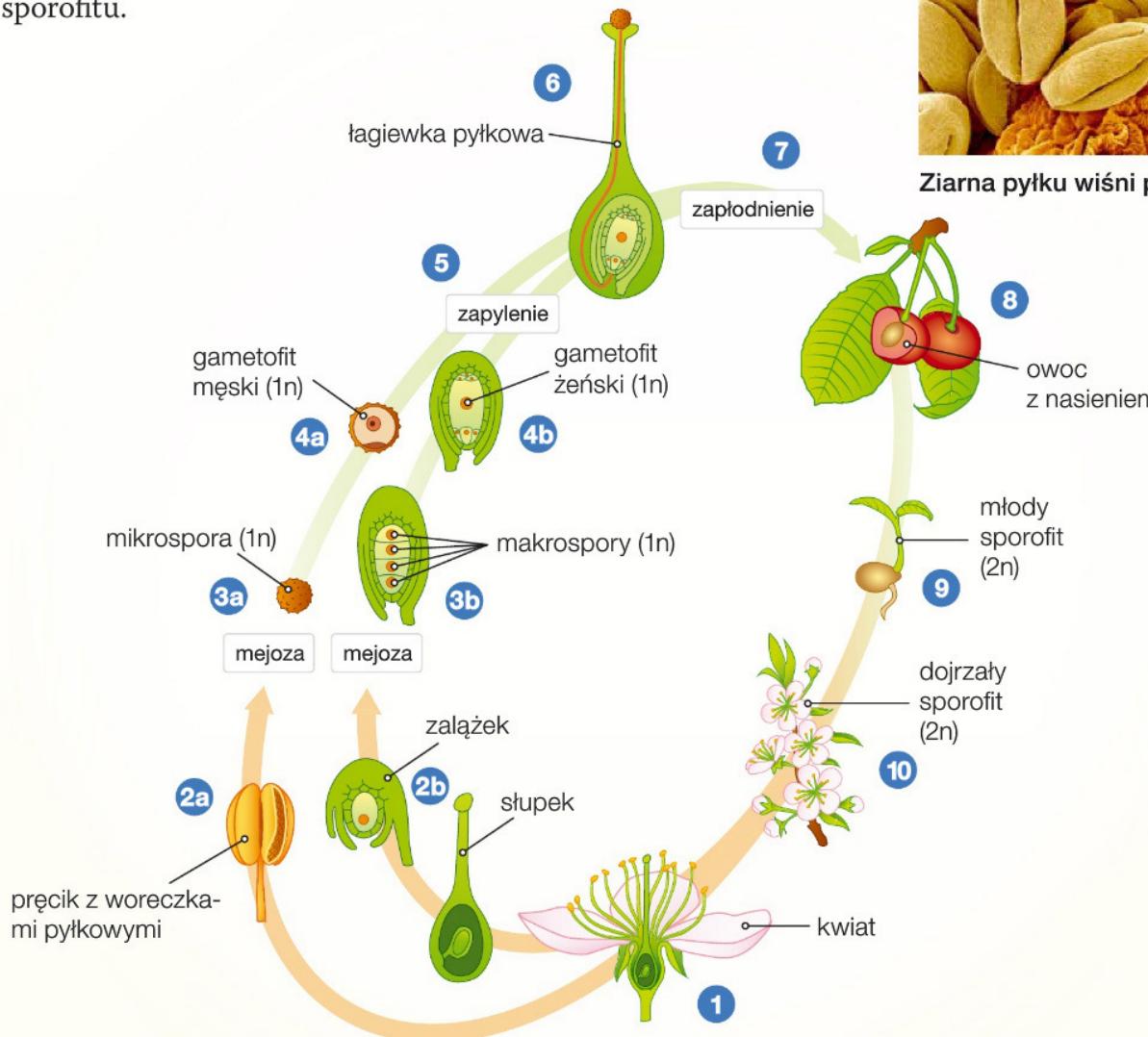


Rozwój mikrospory i gametofitu męskiego



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.



- 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 mikrosropy.
- 3b** Z komórki macierzystej makrospor powstają cztery makrospory. Jedna z nich rozwija się dalej.
- 4a** Z mikrosropy 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 zakwitą; rozpoczyna się kolejny cykl rozwojowy.

Sposoby zapylenia

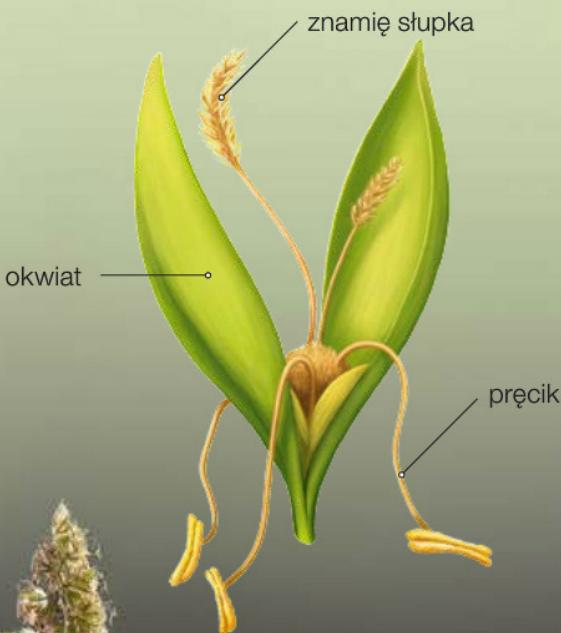
Zapylenie, czyli przeniesienie ziaren pyłku na znamię słupka, odbywa się za pośrednictwem wiatru, zwierząt lub bardzo rzadko – wody.

■ 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.



pierzaste znamiona słupka
wiotkie pręciki

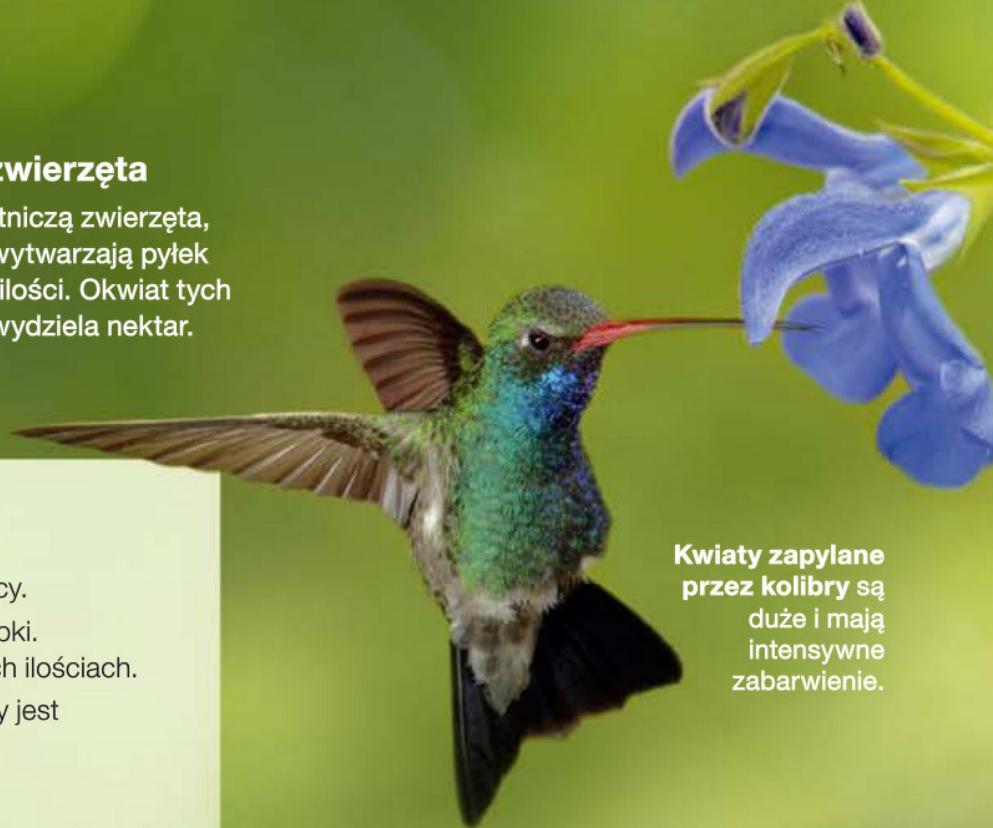
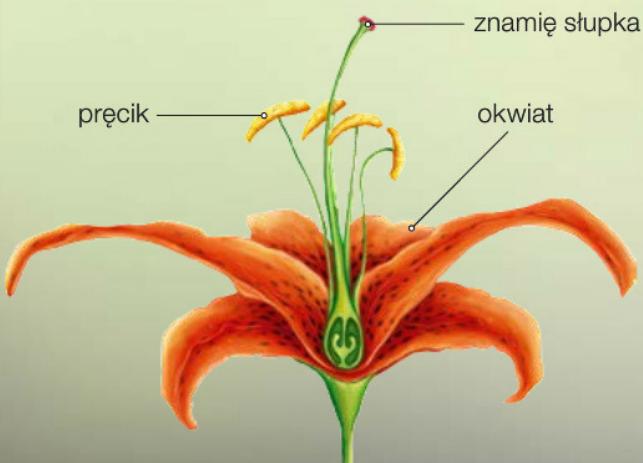
Kwiaty traw mają pręciki zaopatrzone w długie i wiotkie nitki. Dzięki temu podmuchy wiatru łatwo wytrząsają z nich pyłek. Natomiast słupki mają pierzaste znamiona, wychwytyujące pyłek z powietrza.

■ Rośliny zapylane przez zwierzęta

Rośliny, w których zapylaniu 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.

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.



Kwiaty zapylane przez kolibry są duże i mają intensywne zabarwienie.



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



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



Przebieg i efekty podwójnego zapłodnienia

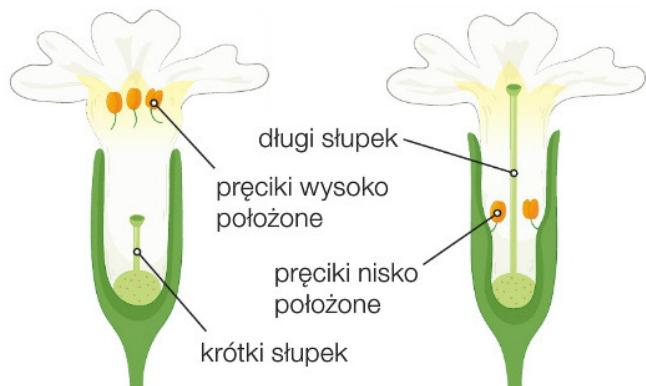
Nasienie	Owoc
komórka plemnikowa (1n) + komórka jajowa (1n) → zygota (2n) → zarodek sporofitu (2n)	
komórka plemnikowa (1n) + komórka centralna (2n) → komórka triploidalna (3n) → triploidalne bielmo (3n)	
osłonki załączka (2n) → łupina nasienna (2n)	
ściana załączni (2n) → owocnia (2n)	

■ Samozapylenie a zapylenie krzyżowe

Kwiaty większości roślin okrytozałączkowych 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 rosliny. Zapylenie własnym pyłkiem jest zjawiskiem niekorzystnym, ponieważ ogranicza możliwości rekombinacji genów. Z tego powodu u wielu roślin występują mechanizmy, które zabezpieczają przed samozapylaniem, ułatwiając **zapylenie krzyżowe**, czyli **obcopylność**. Odbiera się ono poprzez przeniesienie ziaren pyłku z pręcików kwiatu jednej rośliny na słupek kwiatu innej rośliny tego samego gatunku. Do mechanizmów ochrony roślin przed samozapylaniem 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 przedsłużnością, 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 pierwiosnika.

Polecenia kontrolne

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



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.

Odżywianie się roślin. 4.3. 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. Paszczątują 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 – **dwtlenku węgla i wody** – z udziałem **energii światlnej**.

Sumarycznie proces fotosyntezy oksygenicznej można przedstawić następującym równaniem reakcji chemicznej:



Fotosynteza składa się z dwóch faz:

- fazy zależnej od światła (jasnej), która polega na wytworzeniu siły asymilacyjnej, czyli ATP i NADPH, potrzebnej do redukcji CO₂,
- fazy niezależnej od światła (ciemnej), która polega na asymilacji CO₂, 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 ustawa 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 **dwtlenek 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** (HCO₃⁻) 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 miękkim asymilacyjnym, którego komórki zawierają liczne **chloroplasty**. To w nich odbywają się ciągi reakcji chemicznych, które składają się na proces fotosyntezy.

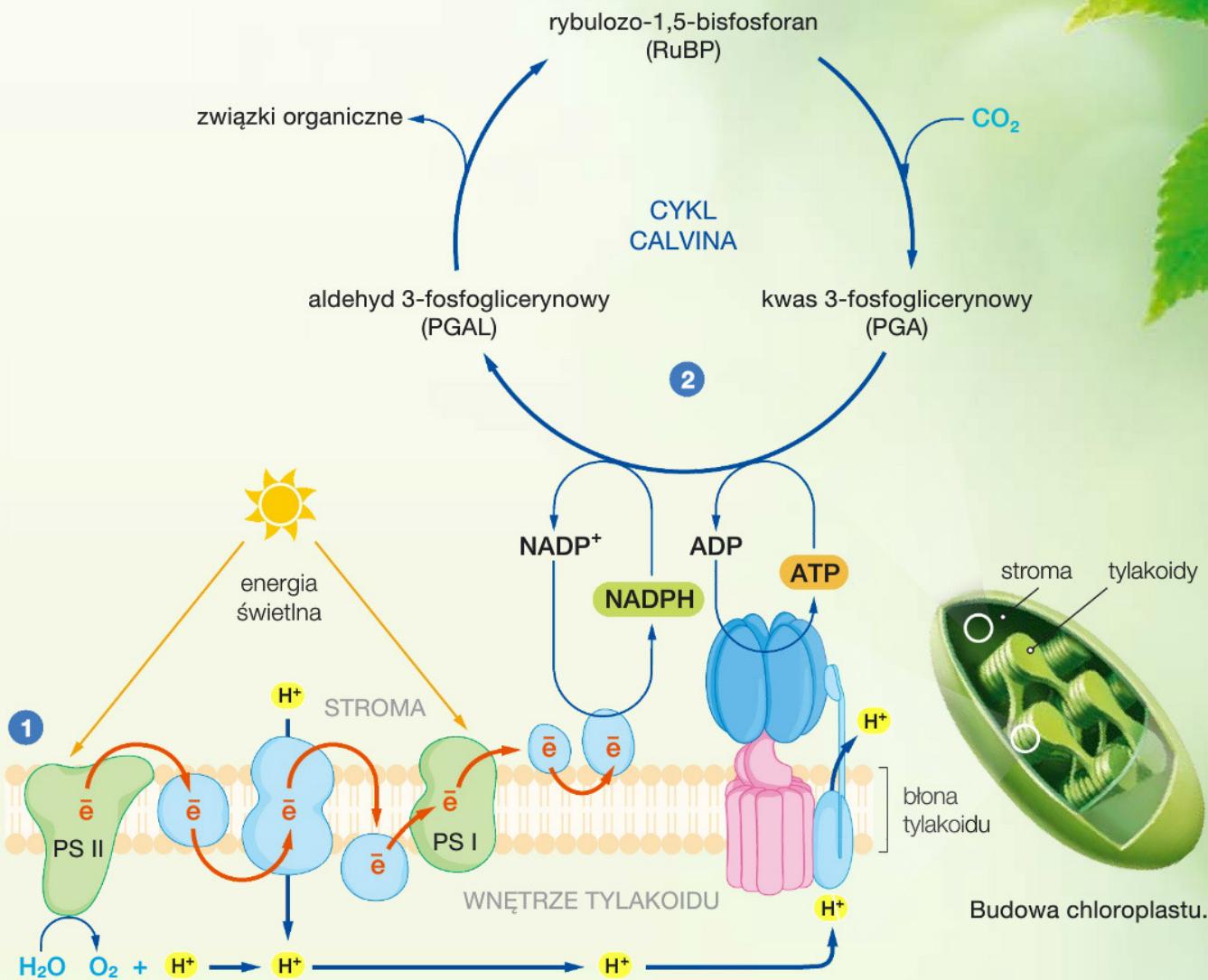
W tylakoidach chloroplastów zachodzi **faza fotosyntezy zależna od światła**, która wymaga obecności wody i dopływu energii światlnej. Energia światlna jest pochłaniana przez barwniki fotosyntetyczne zlokalizowane w błonach tylakoidów. Produktami tej fazy są ATP i NADPH, które tworzą siłę asymilacyjną, oraz tlen.

W stromie chloroplastów odbywa się **faza niezależna od światła**, która wymaga obecności dwutlenku węgla oraz siły asymilacyjnej, wytworzony 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.



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 gradienctu protonowego w poprzek błony tylakoidu powstaje ATP. NADPH i ATP są nazwywane siłą asymilacyjną.
- 2 W stromie chloroplastów odbywa się faza niezależna od światła (cykl Calvin), 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 dwutlenkiem węgla.

■ Rośliny typu C₃, C₄ i CAM

Większość roślin to rośliny typu C₃, u których wiązanie CO₂ zachodzi jednoetapowo – tylko w cyklu Calvinia. U niektórych gatunków, określanych jako rośliny typu C₄ i CAM, powstał dwuetapowy mechanizm wiązania CO₂.

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 CO₂ niezbędny do przeprowadzenia cyklu Calvinia jest dostarczany z atmosfery w tym samym czasie, w którym zachodzi faza zależna od światła fotosyntezy. Akceptorem CO₂ 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 CO₂ do wnętrza liścia jest słaby. Przystosowaniem roślin C₄ do małego stężenia CO₂ jest dwuetapowy mechanizm jego wiązania przebiegający w dwóch różnych typach komórek.



Budowa anatomiczna liścia rośliny typu C₃. U roślin typu C₃ miękisz asymilacyjny jest zróżnicowany na miękisz palisadowy i miękisz gąbczasty.

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 CO₂ do **fosfoenolopirogronianu** (PEP), katalizowane przez **karboksylazę fosfoenolopirogronianową** (karboksylazę PEP). Enzym ten ma znacznie większe powinowactwo do CO₂ niż rubisco, dlatego przeprowadza karboksylację już przy niewielkim stężeniu CO₂. 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 CO₂, który jest wykorzystywany w cyklu Calvinia.

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 CO₂ 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 CO₂ podlega przemianom w cyklu Calvinia.

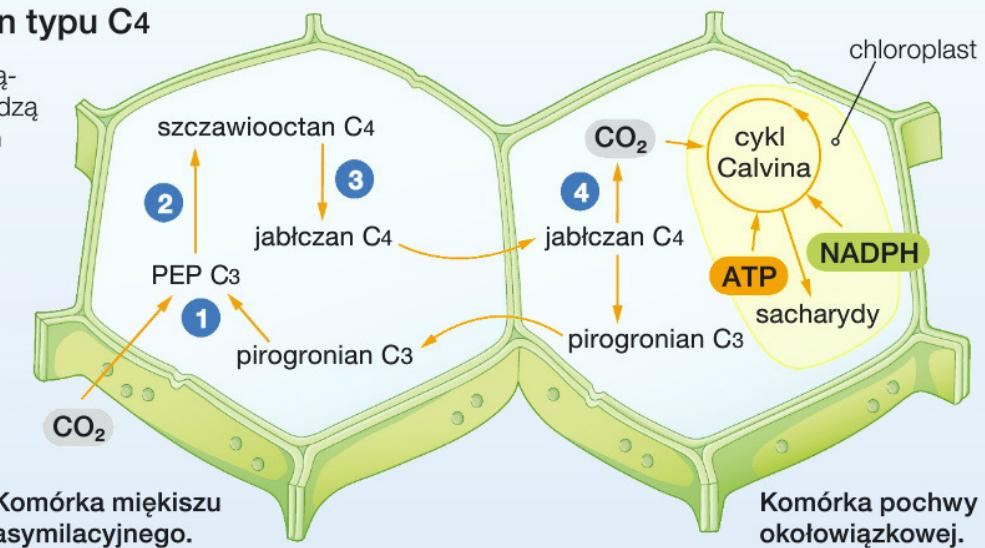
Budowa anatomiczna liścia rośliny typu C₄. U roślin typu C₄ miękisz asymilacyjny nie jest zróżnicowany, a wokół wiązek przewodzących występuje pochwa okołowiązkowa.

Rośliny typu C4 i CAM

U roślin typu 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.

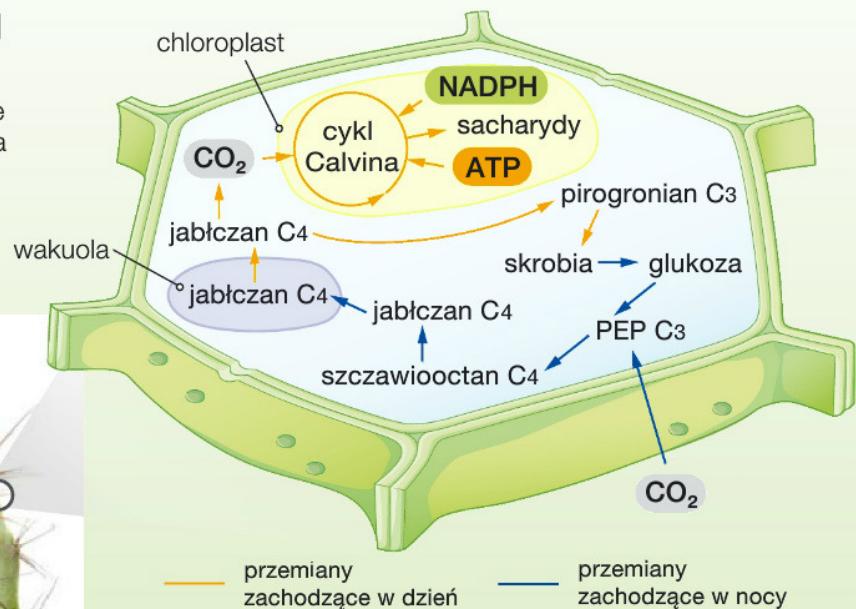


1 W komórkach miękiszu asymilacyjnego fosfoenolopirogronian ulega karboksylacji z udziałem karboksyazy fosfoenolopirogronianowej. Enzym ten ma znacznie większe powinowactwo do CO_2 niż rubisco, dlatego przeprowadza karboksylację już przy niewielkim stężeniu CO_2 .

- 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 Calviniego.

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 zamknięciu aparatów zparkowych w dzień, prowadzą bardzo szczególną gospodarkę wodną. Rezultatem jest jednak ich bardzo powolny wzrost.



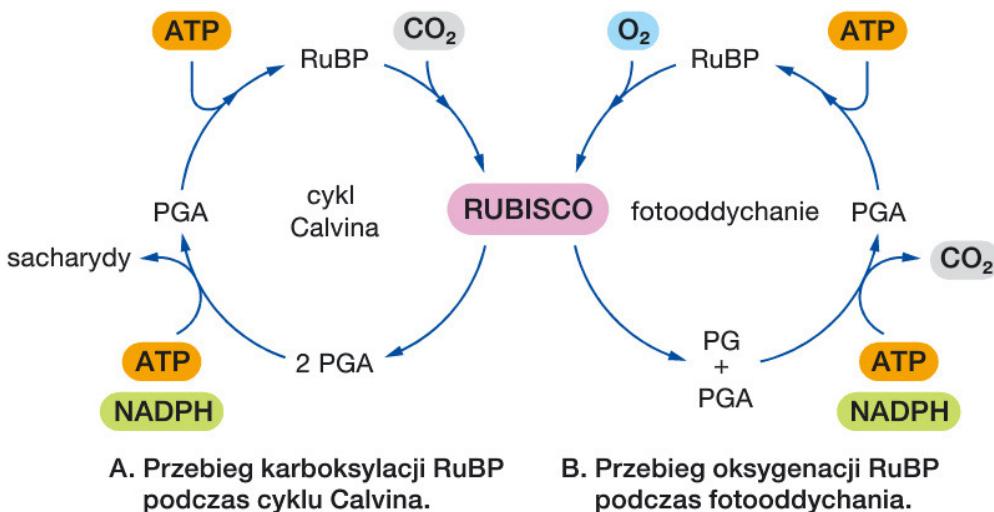
Dowiedz się więcej

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 kolejnym etapie cyklu Calvinia 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 miękkiszku asymilacyjnym liścia. Gazy te współzawodniczą ze sobą, ponieważ oba wiążą się z centrum aktywnym rubisco. Jeśli na skutek intensywnej fotosyntezy stężenie O_2 w miękkiszku znacznie przewyższa stężenie CO_2 , zachodzi stymulowane światłem wydzielanie CO_2 , zwane **fotooddychaniem** (fotorespiracją). W wyniku oksigenacji RuBP ulega rozkładowi do jednej cząsteczki 3-fosfoglicerynianu (PGA) i jednej cząsteczki 2-fosfoglikolanu (PG). 3-fosfoglicerynian podlega przemianom w cyklu Calvinia, 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 .



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 fotooddychania 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 . Oksigenacja 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 fotooddychanie 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		
	C ₃	C ₄	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 pozyskaniu 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 ogólną rolę odgrywają wolno żyjące organizmy glebowe. Niektóre bakterie i grzyby glebowe rozkładają martwą materię organiczną do prostych

związków nieorganicznych, m.in. do amoniaku – NH₃. 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 – NH₄⁺, a część zostaje utleniona do NO₃⁻ przez chemosyntetyzujące bakterie nitryfikacyjne z rodzajów *Nitrosomonas* i *Nitrobacter*. Jony NO₃⁻ 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

- Omów fazę fotosyntezy zależną od światła.
- Wymień etapy cyku Calvinia oraz przedstaw znaczenie każdego z nich.
- 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 CO₂ jest nocą magazynowany w postaci jabłczanu w wakuolach komórek mezofilu. W ciągu dnia zachodzi dekarboksylacja jabłczanu, a odkłączony CO₂ zostaje zużyty w chloroplastach w cyku Calvinia.

- 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 zwiększą 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.

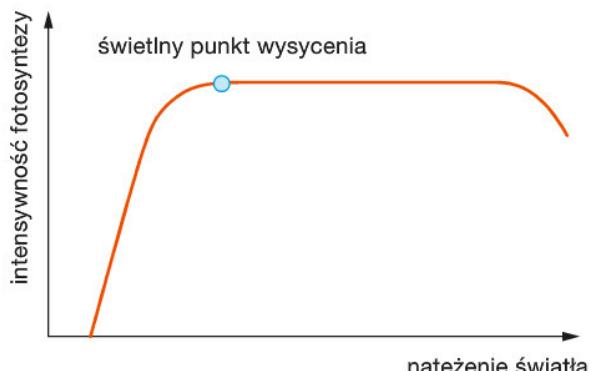
Czynniki zewnętrzne wpływające na intensywność fotosyntezy

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 określona wartość (zależną od gatunku rośliny), jego wpływ na intensywność fotosyntezy staje się coraz mniejszy. Następnie intensywność fotosyntezy uzyskuje wartość maksymalną, nazywaną **świetlnym punktem wysycenia**. Zwiększenie natężenia światła powyżej tej wartości powoduje zahamowanie wzrostu intensywności fotosyntezy, a następnie jej spadek. Przyczyniają się do tego dwa procesy:

- ▶ **fotooksydacja chlorofilu**, czyli wzbudzenie zbyt wielu cząsteczek chlorofilu, które sprawia, że barwnik ulega inaktywacji i przestaje spełniać swoją funkcję,
- ▶ **intensywna transpiracja**, która powoduje spadek turgoru, zamknięcie aparatów szparkowych, a w efekcie brak dopływu dwutlenku węgla.



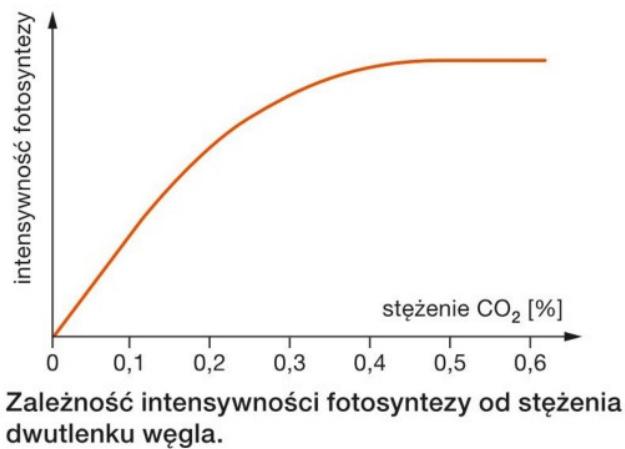
Zależność intensywności fotosyntezy od natężenia światła.

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 rośliny 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.



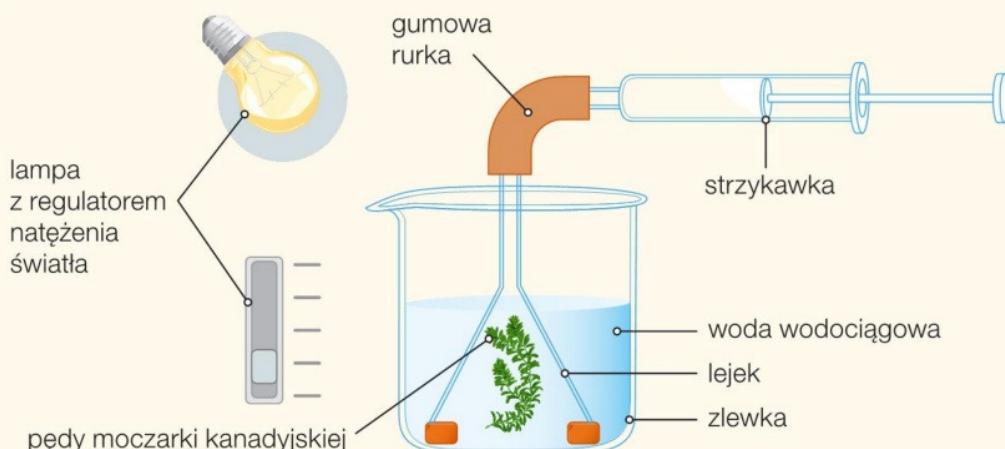
Badanie wpływu natężenia światła na intensywność fotosyntezy

- **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. Wyłoty 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.

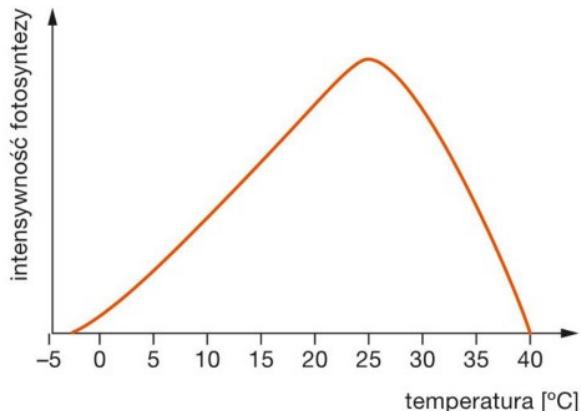


- **Wynik doświadczenia:** Obserwuj wydzielanie się pęcherzyków gazu z liści moczarki kanadyjskiej umieszczonej w obu zlewkach oraz objętość gazu w strzykawce.
- **Wniosek:** Sformułuj wniosek.
- **Wyjaśnienie:** Rośliny przeprowadzają fotosyntezę oksygeniczną, dlatego parametrami, które świadczą o intensywności 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 reakcję 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.



Badanie wpływu stężenia dwutlenku węgla na intensywność fotosyntezy

■ **Problem badawczy:** Wpływ stężenia dwutlenku węgla na intensywność fotosyntezy u moczarki kanadyjskiej.

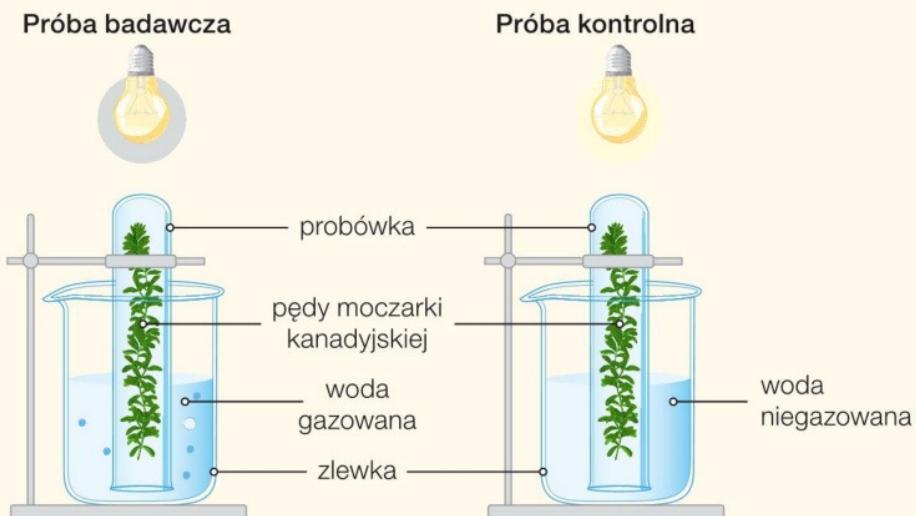
■ **Hipoteza:** Podwyższone stężenie dwutlenku węgla powoduje wzrost intensywności fotosyntezy u moczarki kanadyjskiej.

■ **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 zlewkę: 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 próbówki miarowe i umieść w nich podobnej wielkości pędy moczarki kanadyjskiej. Probówki włożyć do odpowiednich zlewek i ustawić 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 próbówkach miarowych.
- **Wniosek:** Sformułuj wniosek.



Badanie wpływu temperatury na intensywność fotosyntezy

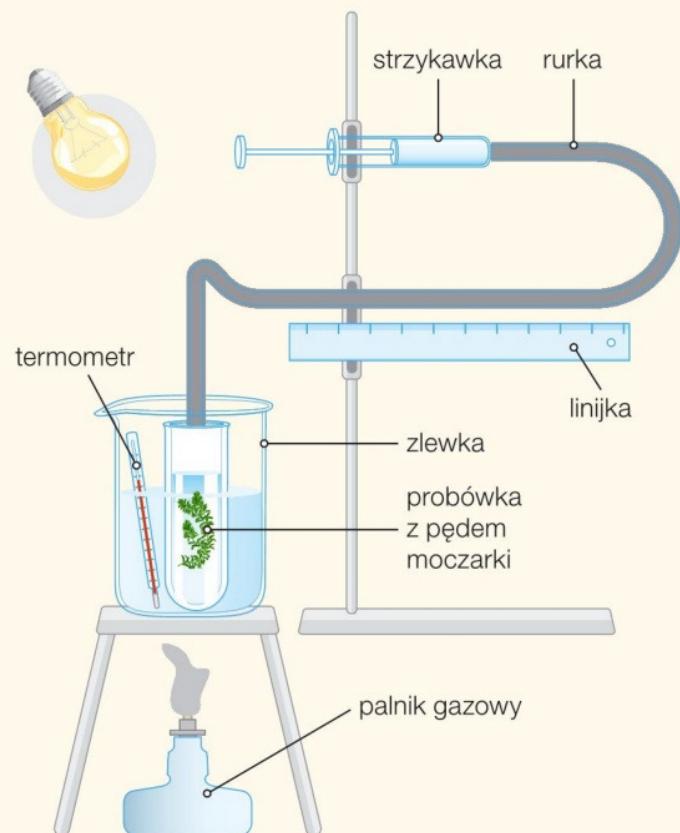
- **Problem badawczy:** Wpływ temperatury na intensywność fotosyntezy u moczarki kanadyjskiej.
- **Hipoteza:** Wraz ze wzrostem temperatury rośnie intensywność fotosyntezy u moczarki kanadyjskiej.
- **Przebieg doświadczenia:**

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 włożyć 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 zlewek 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

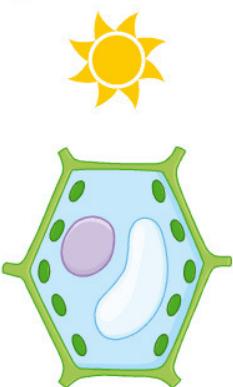
Czynniki wewnętrzne wpływające na intensywność fotosyntezy to przystosowania morfologiczne, anatomiczne i metaboliczne organizmów fotosyntetyzujących do określonych warunków środowiska. Do czynników wewnętrznych należą:

▶ wielkość blaszki liściowej,

- ▶ stosunek powierzchni liścia do jego objętości,
- ▶ liczba i rozmieszczenie aparatów szparkowych w skórze liścia,
- ▶ grubość kutykuli na powierzchni liścia,
- ▶ wielkość przestrzeni międzykomórkowych w miękkiszu asymilacyjnym,
- ▶ rozmieszczenie chloroplastów w komórkach miękkiszu asymilacyjnego,
- ▶ zawartość chlorofili w chloroplastach.

Rozmieszczenie chloroplastów w zależności od warunków świetlnych

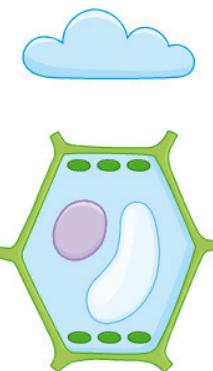
Dla organizmów fotosyntetyzujących niekorzystny jest zarówno niedobór, jak i nadmiar światła. Dlatego w komórkach wielu z nich, np. niektórych roślin i protistów roślinopodobnych, chloroplasty mogą się przemieszczać. Dzięki temu ustawiają się one w sposób zwiększający lub zmniejszający powierzchnię kontaktu 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.



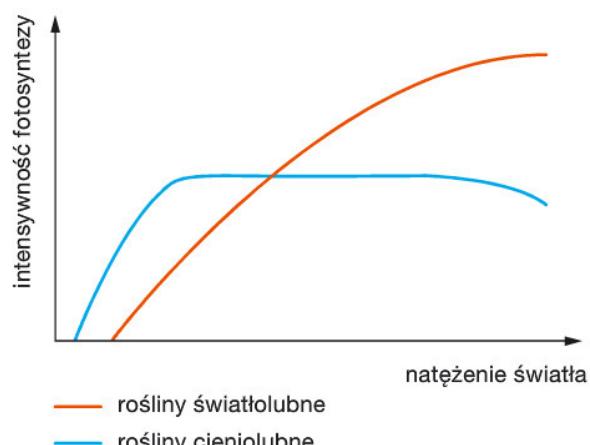
Słabe natężenie światła powoduje, że chloroplasty ustawiają się przy ścianach komórkowych prostopadłych do kierunku padania promieni świetlnych.

■ 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 miękkisz oraz struktura aparatu fotosyntetycznego¹.

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. Miękkisz paliadowy tych roślin jest silnie rozwinięty i często wielowarstwowy, a w miękkisz 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



Zależność intensywności fotosyntezy od natężenia światła u roślin światłolubnych i cieniolubnych.

miękkisz palisadowego są stosunkowo krótkie. Aparat fotosyntetyczny roślin cieniolubnych charakteryzuje się większą niż u roślin światłolubnych zawartością barwników antenowych, głównie chlorofili b. Różnice w budowie aparatu fotosyntetycznego mogą występować też w obrębie tej samej rośliny, jeśli jej liście znajdują się w różnych warunkach świetlnych.



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 miękkiszu 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 miękkiszu 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.

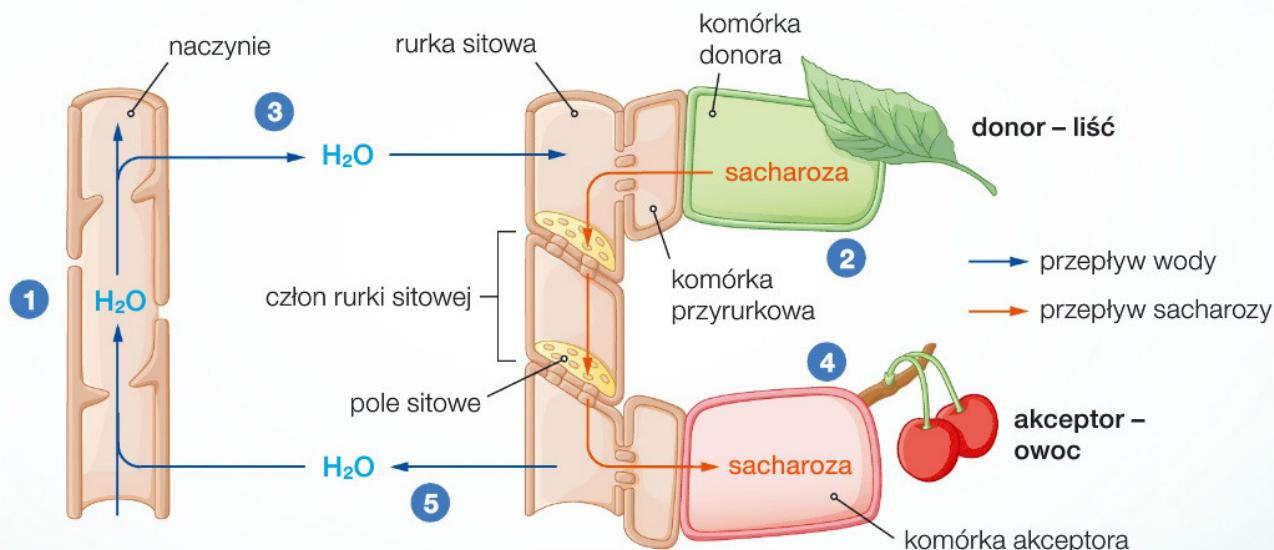
Etap 3. Rozładunek łyka

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

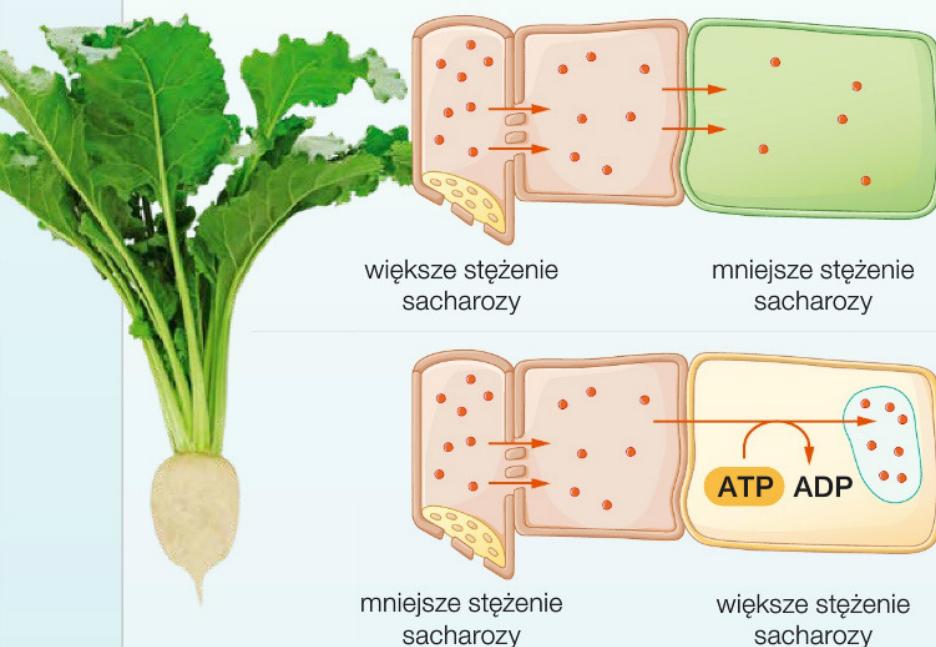
Transport sacharozy w roślinie zachodzi od donorów, poprzez komórki przewodzące łyka, do akceptorów. Uczestniczy w nim woda, która przepływa do rurek sitowych z sąsiadujących naczyń.



- 1 Transpiracja powoduje podciąganie wody w naczyniach wiązki przewodzącej.
- 2 Odbywa się załadunek łyka. Sacharoza wyprodukowana w donorach – liściach – zostaje przetransportowana 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 tloczy 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.



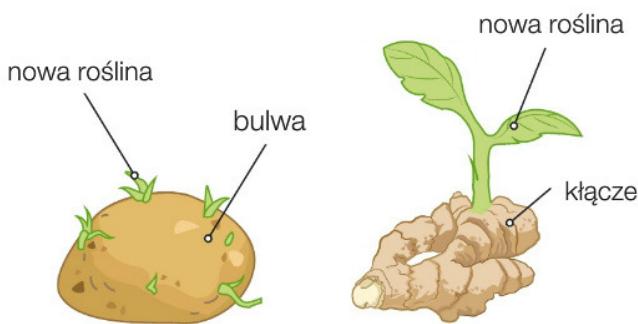
W przypadku, gdy akceptorami sacharozy są młode, rosnące liście, rozładunek łyka nie wymaga nakładu energii. Stężenie sacharozy w komórkach miękkiego liści jest małe, dlatego jej transport z komórek łyka odbywa się zgodnie z gradientem stężeń.

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



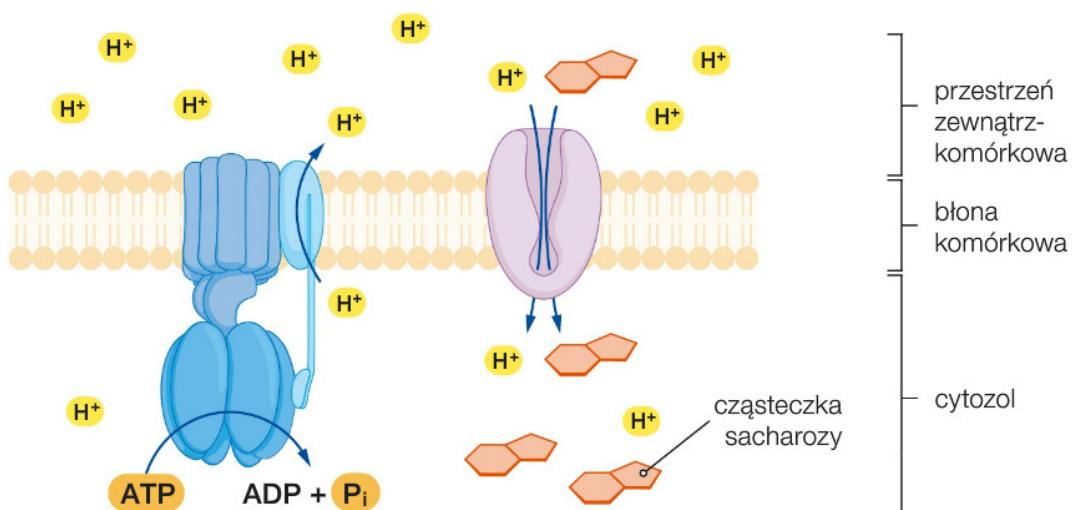
Bulwa ziemniaka oraz kłącze imbiru są zarówno akceptorami, jak i donorami asymilatów. Funkcję akceptorów pełnią wtedy, gdy magazynują substancje zapasowe dopływające z liści, a funkcję donora – wtedy, gdy wyrastają z nich nowe rośliny.

przez roślinę do wytwarzania nowych pędów, organy spichrzowe pełnią funkcję donorów, a nowe pędy – funkcję akceptorów.

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.



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 grzebieniowo-brzusznie
- 5.8. Wrotki – zwierzęta z aparatem rzęskowym

- 5.9. Nicienie – zwierzęta o obły, nieczlonowanym ciele
- 5.10. Pierścienice – bezkręgowce o wyraźnej metameriei
- 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:

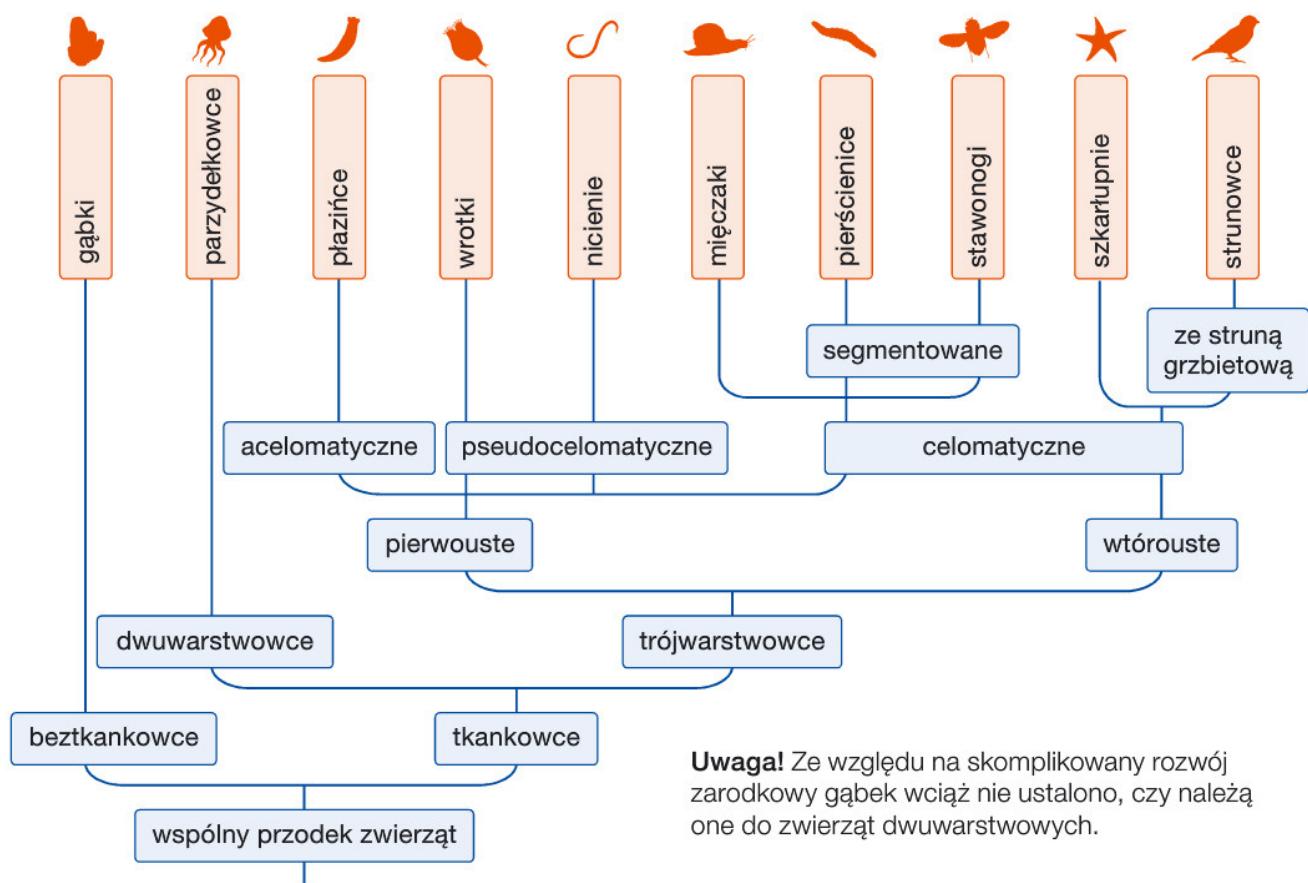
- zwierzęta tkankowe i beztkankowe, dwuwarstwowe i trójwarstwowe, pierwouste i wtórouste,
- zwierzęta amonoteliczne, ureoteliczne i urikoteliczne,
- związek trybu życia zwierząt z symetrią ich ciała.

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 wewnętrzkomórkowego.

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 względu 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 – celomu.



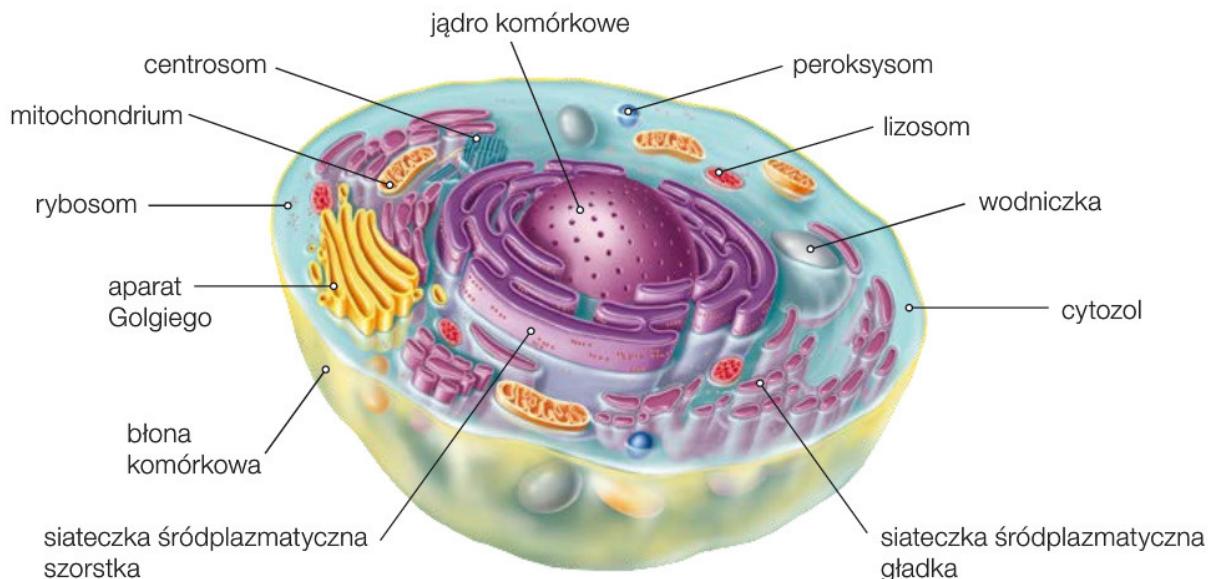
Podział zwierząt ze względu na przebieg rozwoju zarodkowego i budowę ciała.

Uwaga! Ze względu na skomplikowany rozwój zarodkowy gąbki wciąż nie ustalono, czy należą one do zwierząt dwuwarstwowych.

Budowa komórki zwierzęcej

Przypomnij sobie

Komórki zwierzęce są oddzielone od środowiska wyłącznie błoną komórkową. We wnętrzu tych komórek znajdują się lisosomy, a ich 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 meiotycznego 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 **blastocołem**. 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 **dwuwarstwówców**. 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 **trójwarstwówców**.

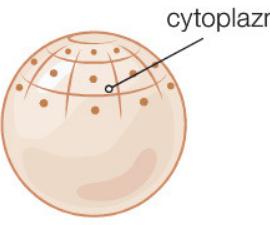
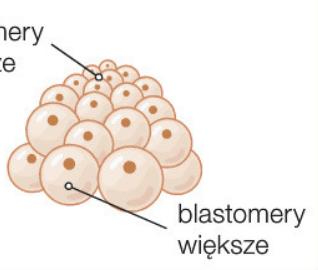
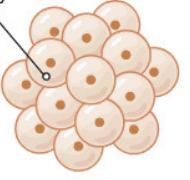
Podczas gastrulacji, wskutek wyodrębnienia się endodermy, powstaje ograniczona przez nią przestrzeń zwana **prajelitem**. Stanowi ona związek przyszłego przewodu pokarmowego. Do prajelita prowadzi otwór zwany **pragębą**. U zwierząt pierwoustych pragęba daje początek otworowi gębowemu, natomiast odbyt powstaje na przeciwnym 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 zmysłowe. 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 rozmioczenia 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 **jajożyworođnych**, u których zarodek rozwija się w organizmie matki, ale w obrębie osłon jajowych. Natomiast zwierzęta **żyworođne**, u których zarodek otrzymuje wszystkie substancje odżywcze z ciała matki, produkują jaja skąpożółtkowe.

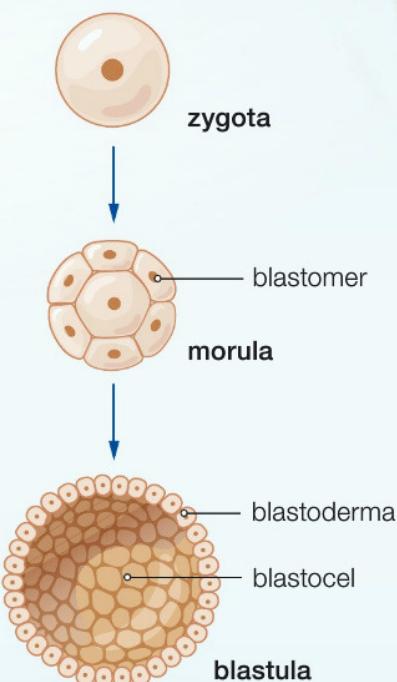
Rodzaje bruzdkowania		
częściowe	całkowite nierównomierne	całkowite równomierne
<ul style="list-style-type: none"> zachodzi w jajach bogatożółtkowych (polilecytalnych) podziałem ulega tarczka cytoplazmy umiejscowiona na biegunie niezawierającym żółtka występuje m.in. u ptaków i wielu ryb 	<ul style="list-style-type: none"> zachodzi w jajach średniożółtkowych (mezolecytalnych) podziałem ulega cała komórka – blastomery różnią się wielkością występuje m.in. u płazów, których rozwój zachodzi częściowo w obrębie jaja, a częściowo w środowisku zewnętrznym 	<ul style="list-style-type: none"> zachodzi w jajach skąpożółtkowych (oligolecytalnych) podziałem ulega cała komórka – blastomery nie różnią się wielkością występuje głównie u ssaków lądowych – 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.



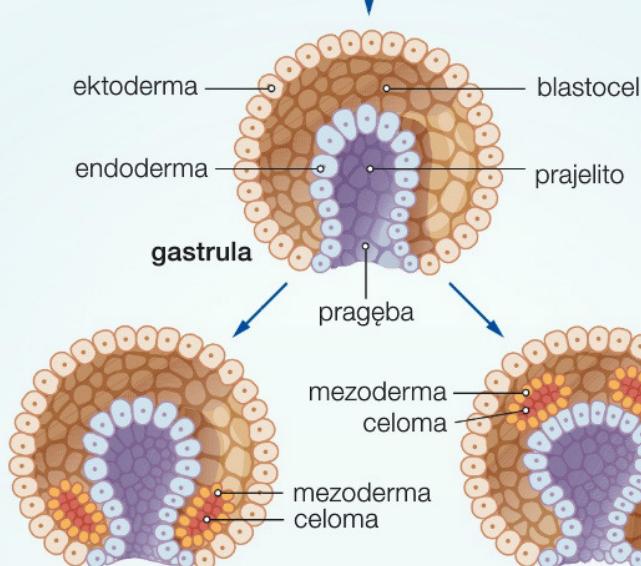
Bruzdkowanie u żaby (obraz spod mikroskopu optycznego).



BRUZDKOWANIE

Zwierzęta pierwouste

Mezoderma powstaje z komórek ektodermy, które przedostają się do blastocelu i namażają, tworząc pęcherzyki. Wnętrze pęcherzyków to wtórna jama ciała – celoma.

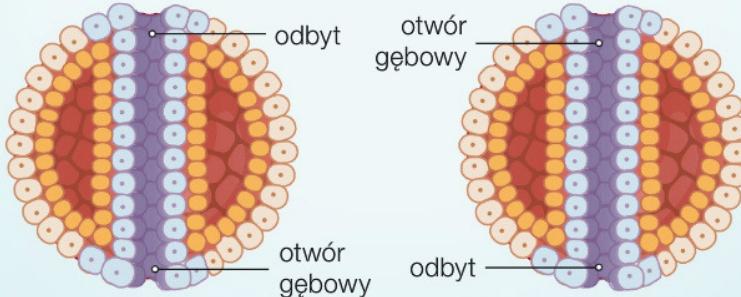


Zwierzęta wtórouste

Mezoderma powstaje z endodermy, a dokładniej z bocznych wypukleń ściany prajelita, które oddzielają się jako dwa pęcherzyki. Wnętrze pęcherzyków to wtórna jama ciała – celoma.

GASTRULACJA

Pragęba rozwija się w otwór gębowy, a odbyt powstaje na przeciwnym biegunie zarodka.



Pragęba przekształca się w odbyt, a otwór gębowy powstaje na przeciwnym biegunie zarodka.

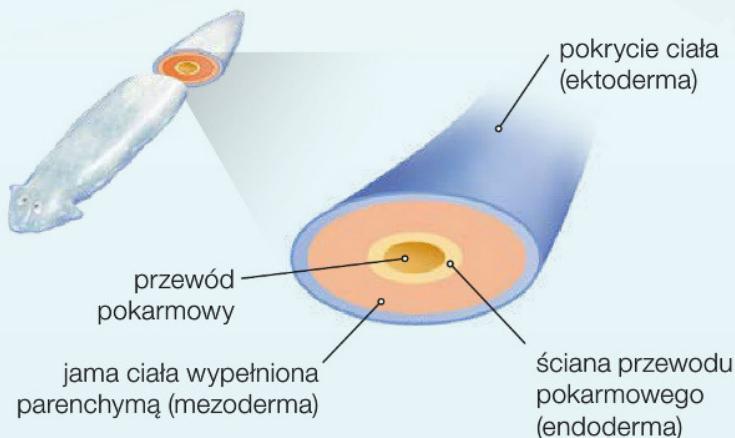
Jama ciała zwierząt

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 płaznic
Prostheceraeus giesbrechti.

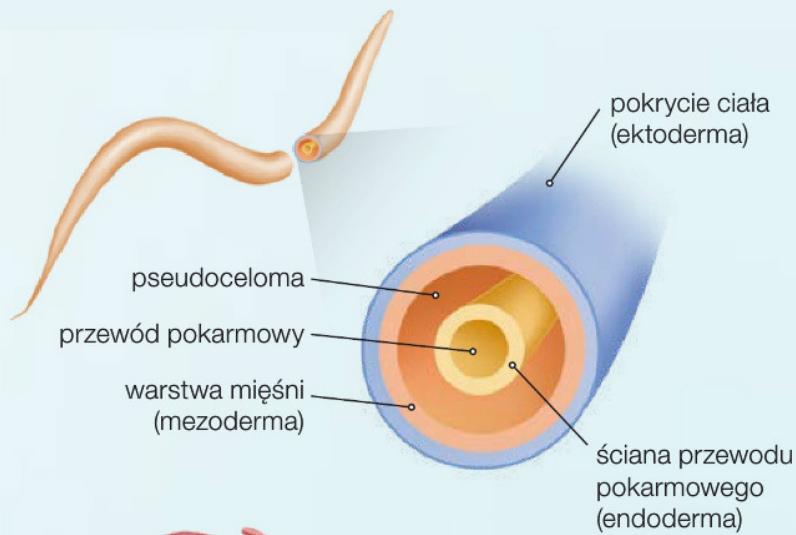
Zwierzęta acelomatyczne

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.



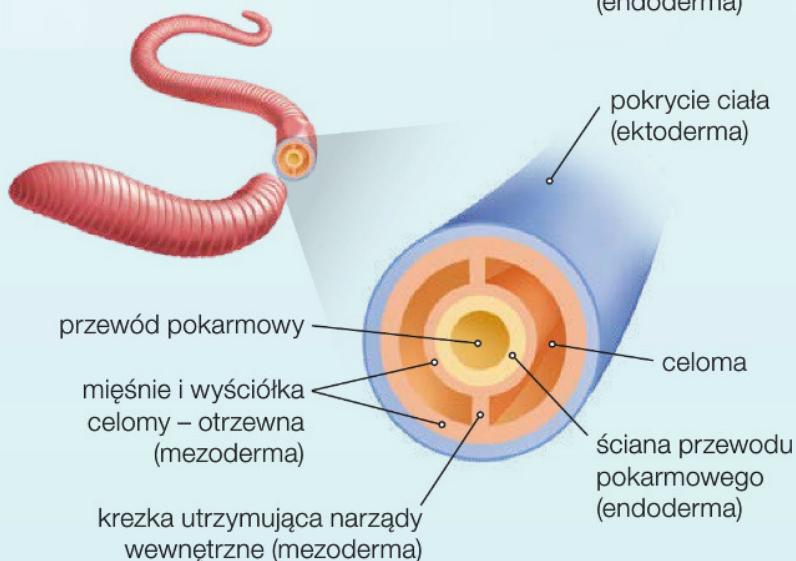
Zwierzęta pseudocelomatyczne

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: amoniotyczne, ureoteliczne i urikoteliczne.

- ▶ Do zwierząt **amoniotycznych** 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.

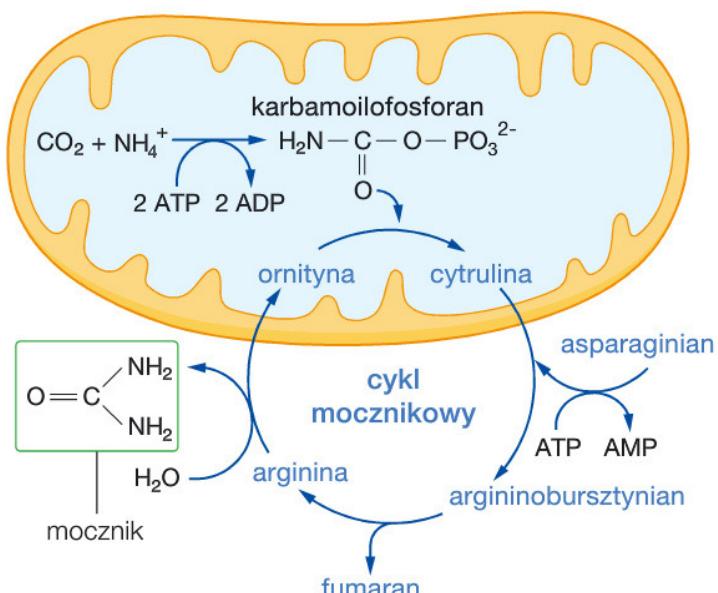
Część zwierząt, głównie płazy, zmienia rodzaj wydalanego azotowego produktu przemiany materii w zależności od aktualnego środowiska życia. Na przykład kijanki żab, które rozwijają się w środowisku wodnym, wydalają amoniak, a dorosłe żaby występujące w środowisku lądowym wydalają mocznik.

- ▶ 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.

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.

Przypomnij sobie



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.

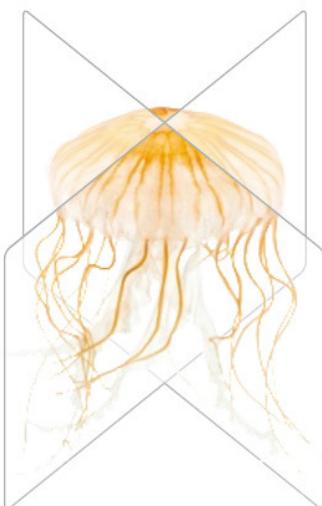
Do zmiany symetrii ciała z promienistej na **dwuboczną** doszło w wyniku wykształcenia się mezodermy, z której tworzą się mięśnie oraz szkielet. Wraz z pojawieniem się mięśni zwierzęta stały się ruchliwe. Początkowo przemieszczały się po podłożu ruchem pełzającym. Z tego powodu po stronie przylegającej do podłoża nastąpiła koncentracja mięśni. Wykształciła się

strona brzuszna, która przejęła funkcje loko-motoryczne (znajdują się tam np. odnóża i kończyny), oraz strona grzbietowa, która pełni funkcję ochronną.

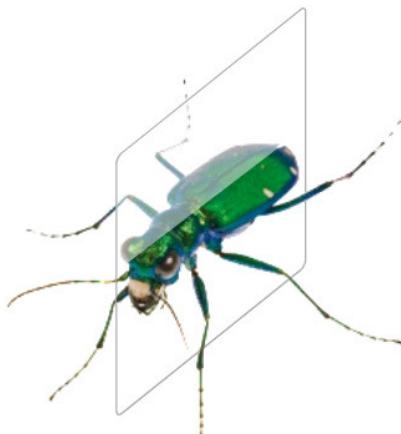
Zwierzęta badają otoczenie najpierw przednią stroną ciała, z tego względu to na niej skupiła się większość narządów zmysłowych. W tej części występuje również otwór gębowy. Ponadto w przednim odcinku ciała stopniowo wykształcił się scentralizowany układ nerwowy, służący do oceny i przetwarzania informacji 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 dwuboczną występuje m.in. u owadów.



Brakiem symetrii cechują się m.in. gąbki.

Polecenia kontrolne

1. Podaj nazwę grupy zwierząt zaliczanych do dwuwarstwówców.
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.



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.

6.3.

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 **zmienno-cieplnych**. 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 wrzecionowy**. 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 wyznacza 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.

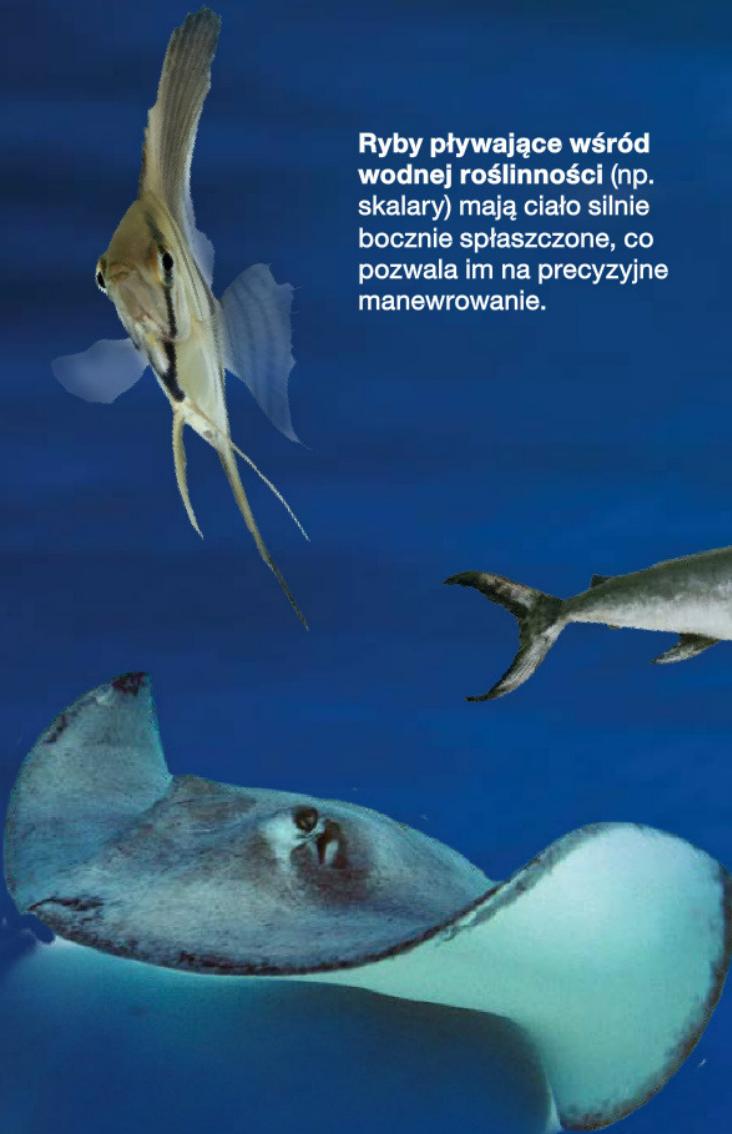
■ Pokrycie ciała ryb

Ciało ryb jest pokryte **skórą** zbudowaną z wielowarstwowego naskórka (nabłonka) i skóry właściwej. W naskórku znajdują się liczne jednokomórkowe **gruczoły śluzowe**, których wydzielnina 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 specyficzemu ułożeniu włókien kolagenowych. U większości ryb wytwarzami 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 płytka zagębionej w skórze;
- ▶ **Łuski ganoidalne** – występują rzadko, m.in. u niszczuki i jesiotra. Są rombowate, kostne, pokryte warstwą ganoiny – twardzej substancji podobnej do szkliwa;
- ▶ **Łuski cykloidalne** – występują m.in. u łososia i dorsza. Są owalne, płaskie, ułożone dachówkowo. Należą do łusek elastycznych, niezawierających ganoiny;
- ▶ **Łuski ktenoidalne** – występują np. u okonia i sandacza. Są płaskie, zakończone grzebikiem, ułożone dachówkowo. Podobnie jak łuski cykloidalne należą do łusek elastycznych.

Kształt ciała ryb

Kształt ciała ryb zależy przede wszystkim od trybu życia i warunków środowiska.



Ryby żyjące w pobliżu dna (np. płaszczki) mają ciało silnie grzbieto-brzusznie spłaszczone. Poruszają się za pomocą rozłożystych płetw piersiowych.



Ryby żerujące w mule dennym (np. węgorze) przypominają węże. Ich narządami ruchu są płetwy: grzbietowa i odbytowa.

Ryby pływające wśród wodnej roślinności (np. skalary) mają ciało silnie bocznie spłaszczone, co pozwala im na precyzyjne manewrowanie.



Wydłużone ciało ryb szybko pływających (np. miecznika) umożliwia im rozwijanie dużych prędkości na krótkim odcinku.

Najeżki mają kuliste, pokryte kolcami ciało i słabo wykształcone płetwy. W sytuacji zagrożenia pobierają wodę (lub powietrze) do rozciągliwego żołądka i w ten sposób zwiększą rozmiary ciała.



Różnorodność ryb

Wszystkie współcześnie żyjące gatunki ryb dzieli się na trzy gromady: chrzęstnoszkieletowe, promieniopłetwe oraz mięśniopłetwe.

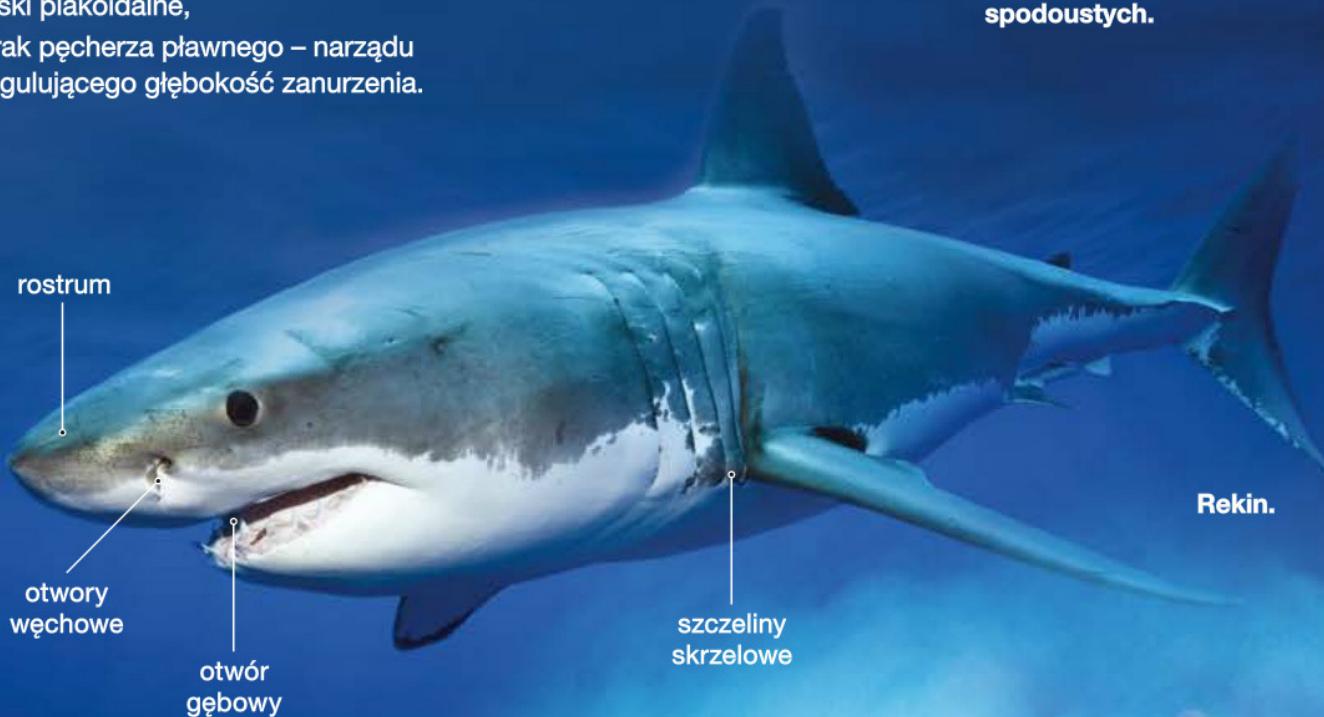
Ryby chrzęstnoszkieletowe

Do chrzęstnoszkieletowych (Chondrichthyes) należą spodouste oraz zrosłogłów. 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.



Do zrosłogłów należą przede wszystkim chimerokształtne, m.in. chimera zwyczajna (*Chimaera monstrosa*). Ryba ta cechuje się silnie wydłużonym ciałem, biczowatym ogonem oraz dwiema płetwami grzbietowymi.

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 spłaszczone. Natomiast płaszczki – zwierzęta przydenne – są silnie grzbieto-brzusznie spłaszczone.

Płaszczka.



■ Ryby promieniopłetwe

Do promieniopłetwych (Actinopterygii) należą niemal wszystkie współczesne ryby o kostnym szkieletie. Ich cechami charakterystycznymi są:

- ▶ szkielet zbudowany głównie z tkanki kostnej,
- ▶ pływy wsparcie na długich, kostnych promieniach,
- ▶ szczeliny skrzelowe przykryte od zewnętrz pokrywami skrzelowymi,
- ▶ łuski zwykle cykloidalne lub ktenoidalne,
- ▶ u większości gatunków występuje pęcherz pławny.



Łuski cykloidalne pstrąga.



Pstrąg.

Łuski ktenoidalne okonia.

■ Ryby mięśniopłetwe

Do mięśniopłetwych (Sarcopterygii) należy osiem gatunków współczesnych ryb o kostnym szkieletie. Sześć z nich to ryby dwudyszne, a dwa – latimerie. Ich cechą charakterystyczną są pływy wsparcie 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 sztywnie 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.

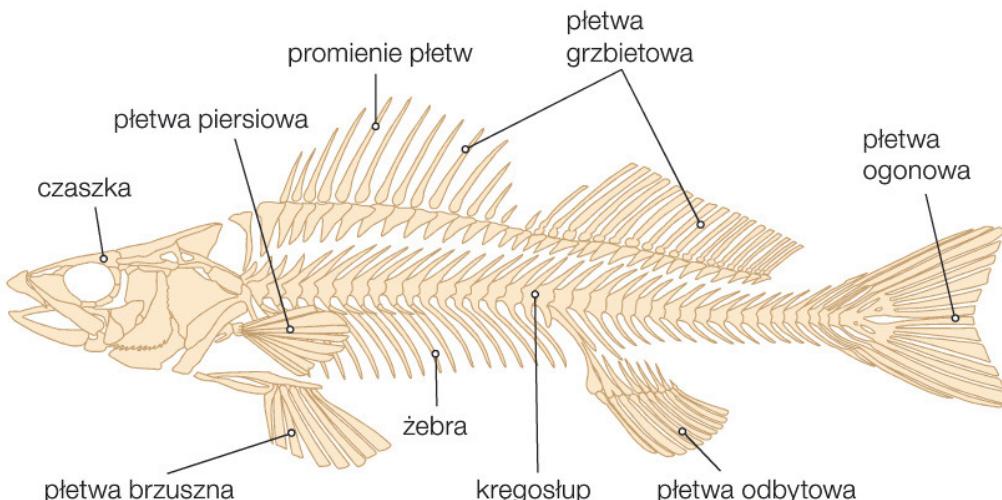
Kręgosłup, w zależności od gatunku, składa się z różnej liczby kręgów (od 14 do 400). Powstaje on **wokół struny grzbietowej**, która ulega redukcji – pewne jej partie zachowują się tylko między kręgami i wewnętrz ich trzonów. W obrębie kręgosłupa wyróżnia się dwa odcinki: tułowiovy, od którego odchodzą **żebra**, oraz ogonowy – pozbawiony żeber. W mięśniach wielu gatunków występują również **ości**, czyli drobne, skostniałe ścięgna. Zwiększą 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 wszyskożercy (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 chrzestoszkieletowych 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.

■ Układ oddechowy ryb

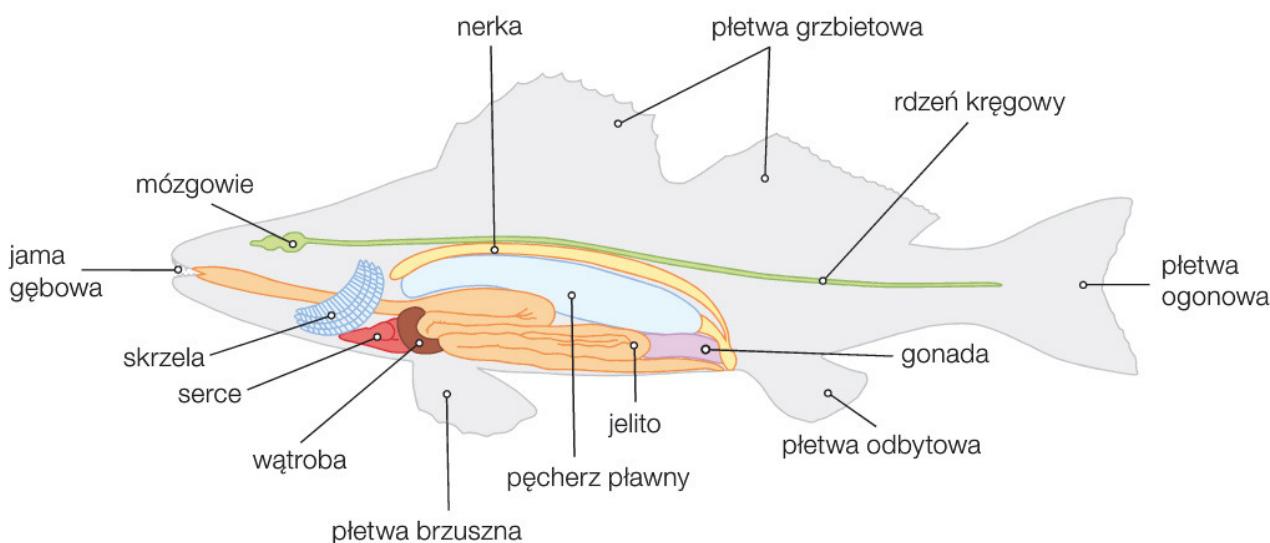
U ryb wymiana gazowa między wnętrzem organizmu a środowiskiem zewnętrznym odbywa się za pomocą **skrzeli** zlokalizowanych w komorach (jamach) skrzelowych. Pojedyncze skrzesły składają się z łuku skrzelowego i osadzonych na nim listków skrzelowych mających postać wąskich, silnie unaczynionych taśm. Na 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 chrzestnoszkieletowych mają one odrębne ujścia. Natomiast u ryb o kostnym szkielecie są okryte pokrywami skrzelowymi.



Skrzela (obraz spod SEM) są zbudowane z łuków skrzelowych i osadzonych na nich listków skrzelowych. Poprzeczne fałdy listków skrzelowych nazywa się blaszkami skrzelowymi.

Niektóre dorosłe ryby chrzestnoszkieletowe, 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.



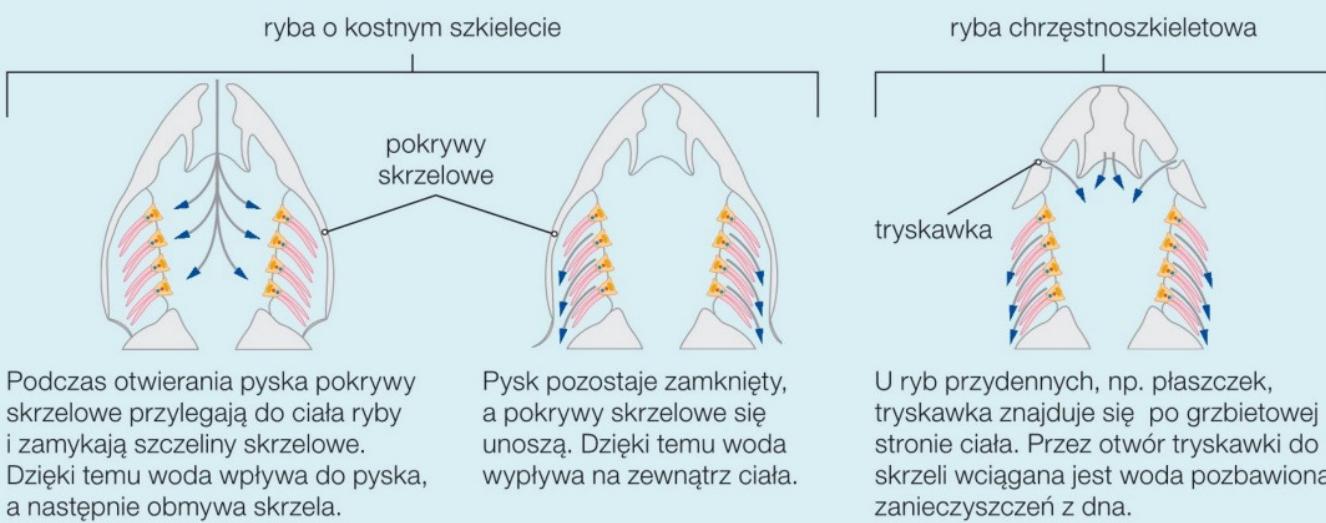
Budowa wewnętrzna ryby promieniopłetwej.

Mechanizmy wspomagające wymianę gazową

Spośród wszystkich zwierząt wodnych wymiana gazowa najefektywniejsza zachodzi u ryb. Wspomagają ją liczne przystosowania fizjologiczne, m.in. ruchy pokryw skrzelowych, działanie tryskawki i przeciwproudowy 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.

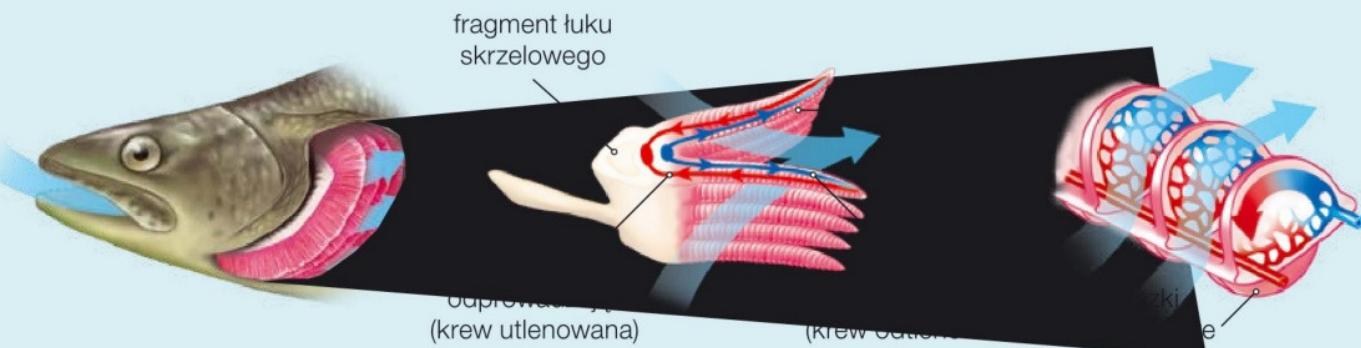


Mechanizm przeciwproudów

W mechanizmie przeciwproudów krew przepływa przez blaszkę skrzelową w odwrotnym kierunku niż obmywająca tę blaszkę woda. W rezultacie ciśnienie parcjalne¹ 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** (częstkowe) – 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 nieciśnliwym 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 chrzestnoszkieletowe oraz niektóre promieniopłetwe nie mają pęcherza pławnego. Aby nie opaść na dno, muszą pozostać w ciągłym ruchu.

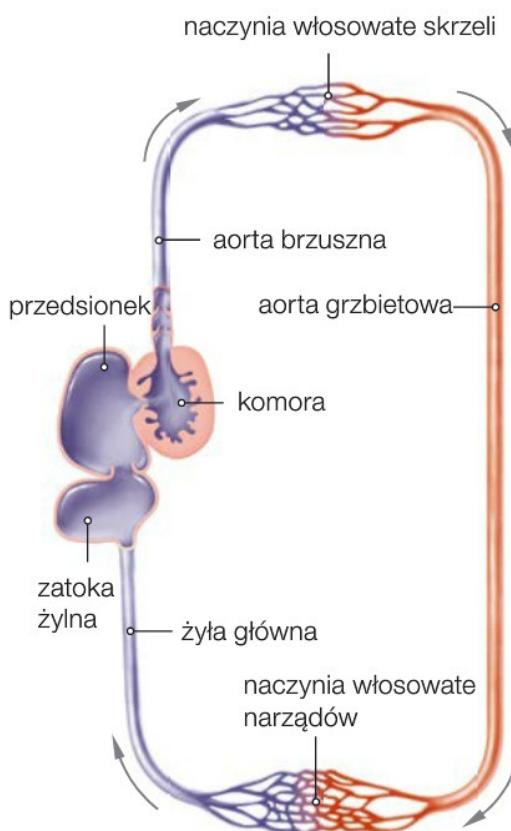
■ Układ krwionośny ryb

U ryb występuje **układ krwionośny zamknięty, jednoobiegowy**. Serce jest stosunkowo małe i zbudowane z kilku pęcherzyków połączonych szeregowo. Najważniejszymi elementami budującymi serce są **przedselektronik** i **komora**. Przed przedselektonikiem znajduje się **zatoka żylna**, a za komorą – **stożek tętniczy**. U chrzestnoszkieletowych stożek tętniczy jest dobrze widoczny, natomiast u promieniopłetwych i mięśniopłetwych jest ukryty wewnętrz 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 przedselektronik, komorę oraz stożek tętniczy, a następnie systemem tętnic do skrzeli. Utlenowana

w skrzeliach 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.

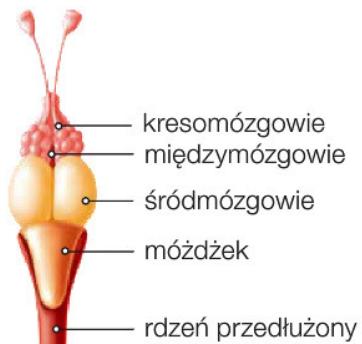


Układ krwionośny ryby.

■ 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.

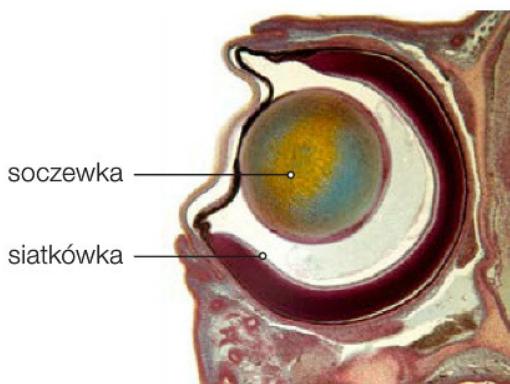
Gatunki, dla których duże znaczenie ma wzrok, cechują się znacznym rozwojem śródmiędzgówia. U ryb szybko i długo pływających szczególnie dobrze wykształcił się mózg, który odpowiada za koordynację ruchów. Z kolei ryby posługujące się głównie skórnymi narządami zmysłów mają silnie rozwinięty rdzeń przedłużony. Rdzeń przedłużony przechodzi następnie w **rdzeń kręgowy**, od którego odchodzą nerwy rdzeniowe, łączące poszczególne segmenty ciała.



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 biegących wzdłuż całego ciała i rozgałęziających się po obu stronach głowy. Dzięki linii bocznej ryby odczuwają nawet najslabsze ruchy wody wywoływanie przez inne zwierzęta czy fale odbijające się od przeszkód.

Ocza ryb są dobrze rozwinięte – ich akomodacja zachodzi poprzez przemieszczanie się prawie kulistej soczewki względem siatkówki.

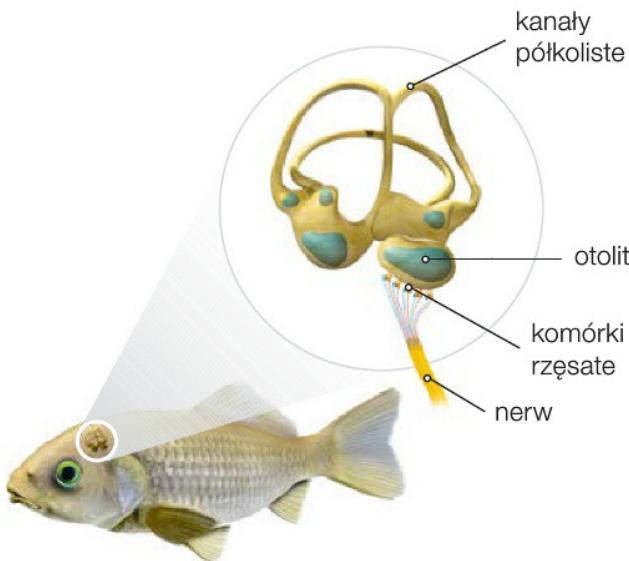


U ryb i pozostałych kręgowców występują oczy pęcherzykowe zaopatrzone w soczewkę. Umożliwiają one tworzenie ostrego obrazu.

W siatkówce oka występują dwa rodzaje komórek receptorowych:

- ▶ przekiki, 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 błędniak błoniasty. Zawiera on receptory wrażliwe na bodźce słuchowe oraz receptory odbierające informacje o położeniu ciała. Błędniak błoniasty tworzą przedsiónek i trzy kanały półkoliste. Przedsiónek 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 błędniak. Wówczas otolity przesuwają się i naciśkają na rzęski. Dzięki temu powstaje impuls nerwowy, przesyłany do mózgów.



Błędniak 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 błędniakiem błoniastym za pomocą szeregu kości, tworzących **aparat Webera** [wym. ʃebera]. Organy pęcherza pławnego powstające w wyniku percepji 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 elektrorecepcaja.



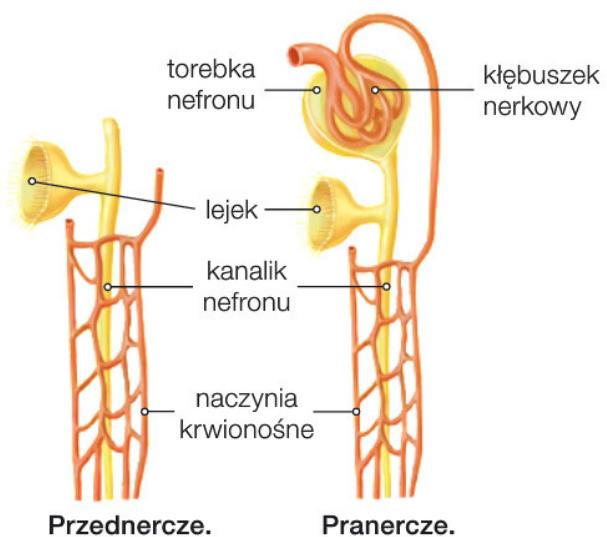
Narządy elektryczne są zazwyczaj silnie zmodyfikowanymi mięśniami, których komórki mają zdolność do generowania wyładowań elektrycznych. U płaszczki z rodzaju drętwa (*Torpedo*) elektroreceptory występują w obrębie pletw piersiowych.

■ 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 wychwytyjących zbędne substancje z płynu celomatycznego. Większość dorosłych ryb ma nerki typu **pranercza**, których nefrony są zbudowane z kanalików, orzęsionych lejków oraz ciałek nefronu. Każde ciało nefronu składa się z kłębuszka nerkowego, utworzonego przez naczynia krwionośne, oraz torebki nefronu. Lejki wychwytyują zbędne produkty przemiany materii z płynu wypełniającego wtórną jamę ciała. Z kolei w ciałach 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 **mocz 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 chrzestnoszkieletowych mocz jest wydalany na zewnątrz przez kloakę, natomiast u ryb o kostnym szkieletie – 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 chrzestnoszkieletowych – **mocznik**.

Typy nerek u ryb



Podstawową funkcją nerek ryb jest **osmoregulacja**, czyli ogólny proces pozwalający 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 wylegają się z jaj w wodzie słonej, następnie nawet na kilka lat migrują do słodkich wód rzecznych, aby pod koniec życia powrócić do środowiska słono-wodnego w celu odbycia tarła.

Osmoregulacja u ryb

Ryby żyją w środowiskach hipotonicznych (wodach słodkich) oraz hypertonicznych (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 hypertonicznym.

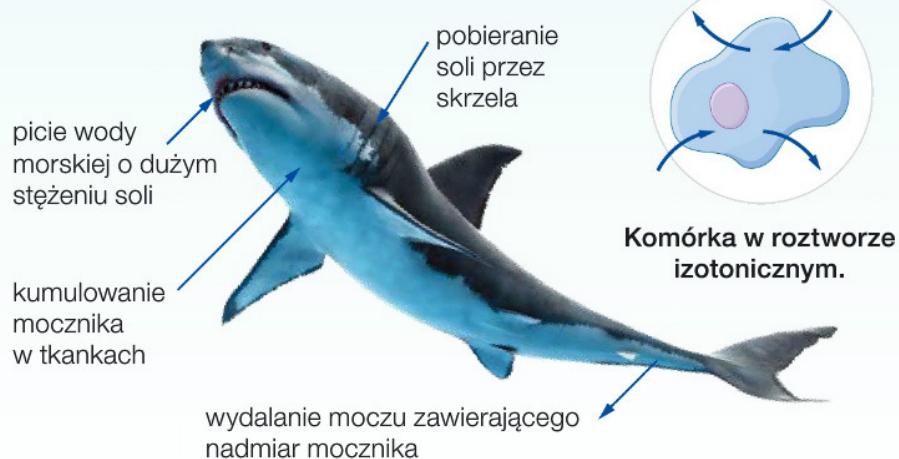
Promieniopłetwe

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.



Chrzęstnoszkieletowe

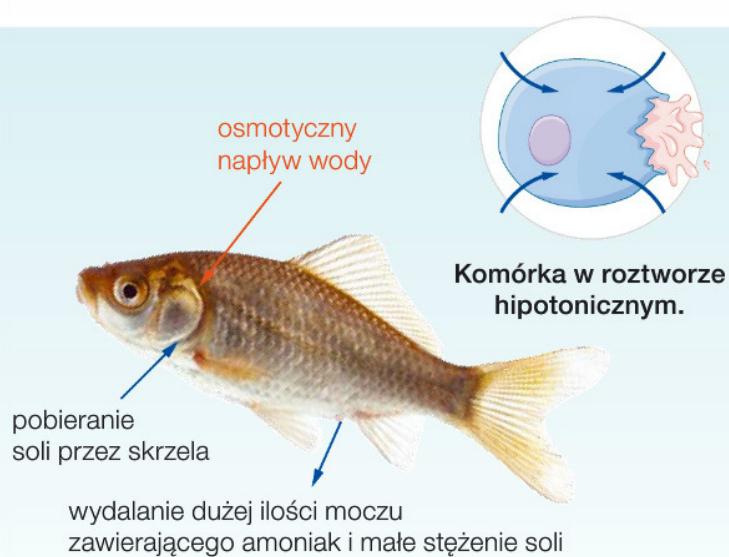
Ryby chrzęstnoszkieletowe utrzymują w organizmie wysokie stężenie substancji osmotycznie czynnych, głównie mocznika. Z tego powodu ich płyny ustrojowe są praktycznie izotoniczne w stosunku do środowiska, a osmotyczna utrata wody jest ograniczona.



Ryby słodkowodne

Główny problem osmoregulacyjny: **osmotyczny napływ wody** w środowisku hipotonicznym.

Płyny ustrojowe ryb słodkowodnych (promieniopłetwych) są hypertoniczne 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.



■ Rozmnażanie się i rozwój ryb

Większość gatunków ryb jest **rozdzielno-płciowa**, 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



Dymorfizm płciowy u bojownika wspaniałego (*Betta splendens*).

godowe samców mają zwrócić uwagę samic i zwiększyć szansę na kopulację.

U większości ryb o kostnym szkielecie występują **zapłodnienie zewnętrzne i jajorodność**. Samica składa ikrę – jaja otoczone galaretową 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, wylegają 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 cierńników budują gniazda, w których rozwija się zapłodniona ikra i narybek.

U ryb chrzestnoszkieletowych oraz niektórych o kostnym szkielecie występuje **zapłodnienie wewnętrzne**. Ryby te są zazwyczaj **jajożyworodne lub żywiorodne**.

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 rozrodu, 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

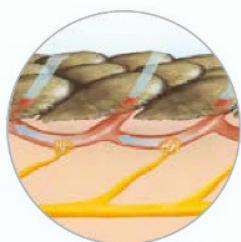
Do cech, które pozwalają rybom funkcjonować w środowisku wodnym, należą:

- ▶ opływową 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.

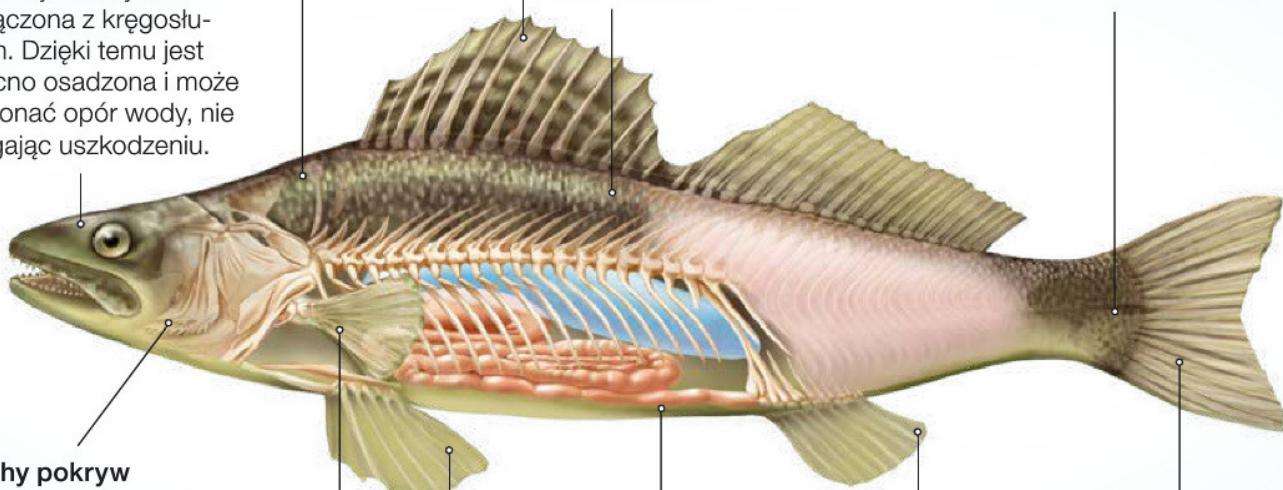
Płetwa grzbietowa zapewnia utrzymanie równowagi.



Dzięki linii bocznej ryby wyczuwają ruchy wody i doskonale orientują się w środowisku.

Głowa jest sztywno połączona z kręgosłupem. Dzięki temu jest mocno osadzona i może pokonać opór wody, nie ulegając uszkodzeniu.

Ryby mają zwykle ciemny grzbiet, przez co są mniej widoczne z góry, na tle dna.



Ruchy pokryw skrzewowych 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 pлавnego 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 nad powierzchnią 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

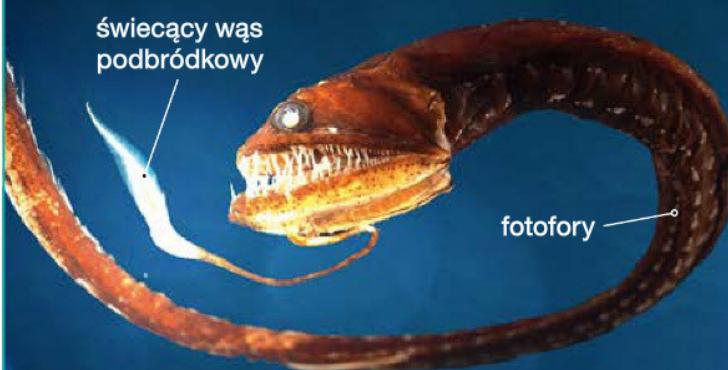
Ryby głębinowe

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 zapłodniania jaj partnerki.

Z powodu niewielkiej ilości pokarmu oraz braku możliwości jego regularnego pobierania ryby z rodziny węzorowatych (Stomiidae) wykształciły nieproporcjonalnie duży otwór gębowy zaopatrzony w długie ostre zęby. Dzięki temu mogą chwytać ofiary nawet większe od siebie.



Węzorowate 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 tłuszczyowych (NNKT), witamin oraz składników mineralnych.



Bioindykatory

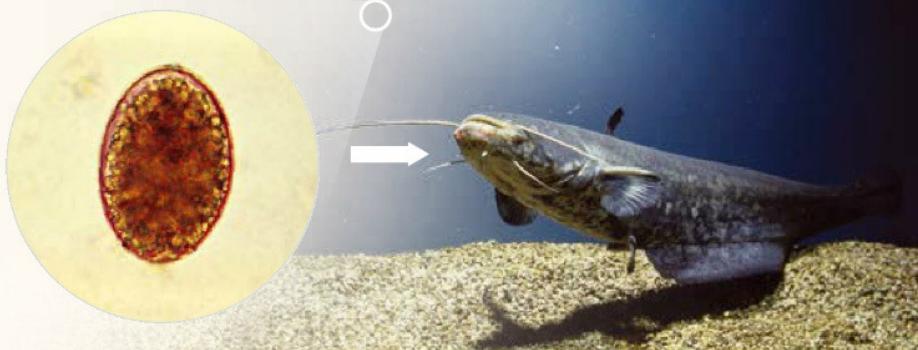
Występowanie niektórych gatunków ryb jest często związane z określonym typem wód, np. pstrąg potokowy (*Salmo trutta fario*) jest notowany w rzekach o warkkim prądzie i zimnej, natlenionej wodzie.



Żywiciele groźnych pasożytów

Wiele gatunków ryb to żywiciele pośredni groźnych pasożytów, m.in. bruzdogłówca szerokiego (*Diphyllobothrium latum*).

Jajo bruzdogłówca 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 przeciwpräądów w skrzewach ryb zwiększa efektywność wymiany gazowej.