

Biologia



2

Beata Jakubik
Renata Szymańska

Biologia

Podręcznik dla **szkół ponadpodstawowych**

2

ZAKRES ROZSZERZONY

 **OPERON**
Edukacja jest podróżą

2023

Konsultacja naukowa: dr Sławomir Nowak
Projekt okładki: Paweł Kwacz
Redaktor prowadzący: Izabela Kulaszewicz
Redakcja językowa: Monika Turała, Marlena Dobrowolska
Redakcja graficzna i skład: Andrzej Puzyński, Roman Osiński
Fotoedycja: Marta Jasińska
Korekta techniczna: Izabela Skolmowska

Zdjęcia: aquabounty.com, BE&W, Shutterstock, Wikipedia/ CC

OPERON oświadcza, że z należytą starannością podjął wszelkie działania zmierzające do powiadomienia podmiotów majątkowych praw autorskich do utworów słownych i fotograficznych wykorzystanych w podręczniku o zamiarach publikacji celem uzyskania od twórców lub ich następców prawnych wymaganej zgody za przysługującym wynagrodzeniem w stosownej wysokości. Osoby, których prawa w sposób niezawiniony przez wydawnictwo zostały naruszone, prosimy o bezpośredni kontakt z wydawcą.

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 w zakresie rozszerzonym na poziomie szkoły ponadpodstawowej, na podstawie opinii rzeczoznawców: prof. dr. hab. Jacka Bieleckiego, dr Marii Pedryc-Wrony, dr Henryki Kaczorowskiej.

Etap edukacyjny: III

Typ szkoły: szkoła ponadpodstawowa

Rok dopuszczenia:

Numer dopuszczenia: 1056/2/2020

© Copyright by OPERON Sp. z o.o. & Beata Jakubik i Renata Szymańska

Gdynia 2020

Wszelkie prawa zastrzeżone. Kopiowanie w całości lub we fragmentach bez zgody wydawcy zabronione.

N7144

Wydawca:

OPERON Sp. z o.o.

81-212 Gdynia, ul. Hutnicza 3

tel. centrali 58 679 00 00

e-mail: info@operon.pl

www.operon.pl

ISBN 978-83-7879-970-2

06/23/V/AH80

Zgodnie z decyzją MEN od września 2024 r. obowiązuje zmieniona, uszczuplona o ok. 20% podstawa programowa. W związku z tym w podręczniku znalazły się stosowne oznaczenia.



Takim symbolem oznaczono treści usunięte z podstawy programowej.



Takim symbolem oznaczono treści, które zostały zmienione. Nauczyciel przedstawi uczniowi zmiany i wyjaśni, czego powinien się nauczyć.

Spis treści

I. Klasyfikowanie organizmów

1. Zakres zadań systematyki	8
2. Oznaczanie organizmów – klucze do oznaczania	12
3. Trzy domeny i pięć królestw świata ożywionego	14
4. Systematyka filogenetyczna	17

II. Wirusy – najprostsze formy materii nieożywionej

1. Budowa wirusów	28
2. Namnażanie się wirusów	31
3. Klasyfikacja i pochodzenie wirusów	36

III. Bakterie – jednokomórkowe organizmy bezjądrowe

1. Charakterystyka bakterii	46
2. Czynności życiowe bakterii	50
3. Klasyfikacja bakterii	57
4. Choroby bakteryjne człowieka	59

IV. Protisty – zróżnicowana grupa organizmów

1. Protisty zwierzęce	70
2. Protisty roślinopodobne i grzybopodobne	78
3. Przegląd i znaczenie protistów	84

V. Grzyby i porosty

1. Budowa i czynności życiowe grzybów	98
2. Przegląd grzybów	107
3. Porosty	114

VI. Różnorodność roślin

1. Rośliny pierwotnie wodne	126
2. Przystosowania roślin do życia na lądzie	134
3. Twórcze tkanki roślinne	138
4. Stałe tkanki roślinne	142
5. Mszaki – organizmy z dominującym gametofitem	154
6. Naczyniowe rośliny zarodnikowe	161
7. Budowa roślinnych organów wegetatywnych – korzeń	169
8. Organy wegetatywne roślin – łodyga	175
9. Organy wegetatywne roślin – liście	181
10. Nagozalążkowe – rośliny nasienne z nieoosłoniętym zalążkiem	188
11. Okrytozalążkowe – rośliny nasienne z osłoniętym zalążkiem	200

VII. Funkcjonowanie roślin

1. Gospodarka wodna roślin	230
2. Odżywianie się roślin. Składniki mineralne i organiczne	242
3. Wzrost i rozwój roślin	250
4. Regulatory wzrostu i rozwoju roślin	261
5. Reakcje roślin na bodźce	266

Słowniczek trudniejszych pojęć	279
--------------------------------------	-----

Indeks	283
--------------	-----

Wstęp

Jak jest zbudowany nasz podręcznik

Podręcznik pozwala na pełne wykorzystanie nowoczesnych metod dydaktycznych w nauczaniu biologii.

Zanim zaczniecie korzystać z podręcznika, zapoznajcie się z jego budową i przyjrzyjcie się wszystkim jego elementom. Zostały one skonstruowane tak, by ułatwić wam naukę i pomóc w błyskawicznym znalezieniu potrzebnych informacji.



Każdy dział podręcznika otwiera **spis tematów** z danego obszaru.

4. Systematyka filogenetyczna

NA TEJ LEKCJI:

- zapoznać się z systematyką filogenetyczną;
- dowiedzieć się, czym są kladogramy i synapomorfie.

Podstawą systematyki filogenetycznej jest ścisłe poszukiwanie przodków. Odczytanie zwiastów ewolucyjnych poprzez gatunki pozwala m.in. zrozumieć prawidłowości kierujące rozwojem i rozprzestrzenianiem się organizmów (np. organizmów charakteryzujących), rozpoznawać i klasyfikować nowe gatunki czy rekonstruować stwierdzone w historii klasyfikacji.

Badania paleontologiczne: pomagają ustalić, jakie były warunki panujące w przeszłości. Analiza danych z paleontologii, filogenezy, morfologii, biochemii oraz molekularnej. Należy pamiętać, że organizmy nie klasyfikują się na podstawie jednej cechy, ale całego ich zjawiska. W ocenie powiązań ewolucyjnych niezwykle znaczenie mają struktury homologiczne, synapomorfie oraz kladogramy na poziomie molekularnym.

Homologie: w paleontologii to analogie, to występowanie w dwóch lub więcej gatunkach podobnych struktur odwołujących się do wspólnego przodka. Analogie, homologie są kłopotem w paleontologii, kłopotem, ponieważ niekiedy analogie i homologie występują w podobnych miejscach (rys. 1.4.1).



Bezpośrednio pod tytułem rozdziału znajdziecie moduł „**Na tej lekcji**” – jego zadaniem jest ukierunkowanie was na cele realizowane w danym temacie.

Hasła na marginesach to treści obowiązkowe do zapamiętania z lekcji. Zostaną powtórzone w podsumowaniu lekcji. Pozostałe ważne hasła zapisano szarym kolorem.

Tabele pomogą wam usystematyzować wiedzę.



I. Klasyfikowanie organizmów



- 1. Zakres zadań systematyki
- 2. Oznaczanie organizmów – klucze do oznaczania
- 3. Trzy domeny i pięć królestw świata ożywionego
- 4. Systematyka filogenetyczna



1. Zakres zadań systematyki

NA TEJ LEKCJI:

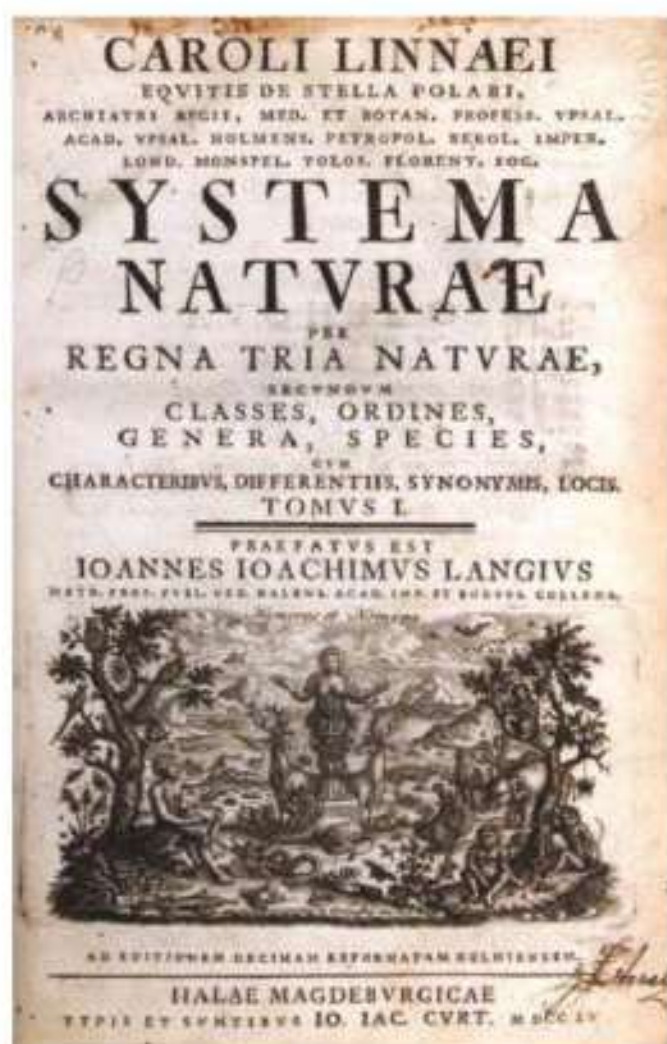
- zapoznasz się z zakresem badań i zadaniami systematyki;
- poznasz zasady klasyfikacji i nazewnictwa organizmów.

Dotychczas opisano prawie 1,8 miliona gatunków żyjących na Ziemi (stan na sierpień 2018 r.), z czego większość stanowią owady. Gromadzeniem informacji na temat wszystkich znanych gatunków żyjących na Ziemi zajmują się dwa duże programy naukowe: **Katalog Życia** (*Catalogue of Life*; <http://www.catalogueoflife.org/col/info/ac>) oraz **Encyklopedia Życia** (*Encyclopedia of Life*; <http://eol.org/>). W ramach tych projektów corocznie jest publikowana aktualna lista gatunków występujących na naszej planecie. Według opinii różnych naukowców stanowią one tylko niewielki procent poznanych gatunków. Bazując na różnych opracowaniach, ocenia się, że może ich być od 12 milionów do 2 miliardów. Najślabiej poznanymi organizmami są gatunki oceaniczne – przewiduje się, że dotychczas opisano ich około 10%. Nauka, która zajmuje się opisywaniem i nazewnictwem gatunków oraz ich klasyfikowaniem na podstawie pokrewieństwa, to

systematyka ► **systematyka**. Systematyka nieodzownie łączy się z:

- **taksonomią**, czyli nauką zajmującą się metodami i zasadami klasyfikacji organizmów;
- **filogenetyką** badającą relacje pokrewieństwa ewolucyjnego pomiędzy gatunkami;
- **kladystyką**, czyli metodą klasyfikacji organizmów wywodzących się od wspólnego przodka.

Wyobraź sobie, że jesteś w ogromnej bibliotece, której zbiór liczy kilkanaście milionów książek, a ty szukasz jednej wybranej pozycji. Gdyby książki były bezładnie ułożone na półkach, znalezienie konkretnego tytułu graniczyłoby z cudem. Dlatego każda biblioteka ma swój katalog, a książki są przyporządkowane do jednej z kilku kategorii (np. przewodniki, atlasy, lektury itd.). Co więcej – są ustawione w określonej pozycji (np. alfabetycznie). Z podobną sytuacją mamy do czynienia w świecie organizmów żywych. Ogromna różnorodność gatunków występujących na Ziemi wymaga istnienia sprawnego systemu ich **klasyfikacji**. Potrzebę grupowania organizmów widziano już w starożytności. Arystoteles (384–322 r. p.n.e.) zaproponował podział zwierząt na krwiste (mające czerwoną krew) oraz bezkrwiste (bez czerwonej krwi). Nieco



Ryc. I.1.1. Strona tytułowa dzieła Karola Linneusza *Systema Naturae* (X edycja).

później św. Augustyn (IV w. n.e.) klasyfikował zwierzęta jako użyteczne, szkodliwe i zbyteczne dla człowieka. Z wielu różnych systemów klasyfikacji do dziś przetrwał (z pewnymi modyfikacjami) system stworzony przez szwedzkiego przyrodnika i lekarza **Karola Linneusza** (1707–1778). Grupował on organizmy na podstawie ich morfologicznego podobieństwa. Opisał prawie 8000 gatunków roślin i ponad 4000 gatunków zwierząt. Jest autorem dzieła **Systema Naturae** (czyt. nature), w którym opisał opracowany przez siebie system klasyfikacji oraz nazewnictwa (**ryc. I.1.1.**). System ten stanowi podwaliny dzisiejszej systematyki.

◀ Karol Linneusz

Zasady klasyfikacji i nazewnictwa biologicznego

◀ klasyfikacja biologiczna

Klasyfikacja biologiczna polega na łączeniu organizmów w grupy, tzw. **jednostki taksonomiczne (taksony)**. Każda jednostka systematyczna ma odpowiednią rangę. Wyróżniamy osiem głównych rang taksonów: **gatunek, rodzaj, rodzina, rząd, gromada, typ, królestwo i domena** (**ryc. I.1.2.**).

◀ taksony



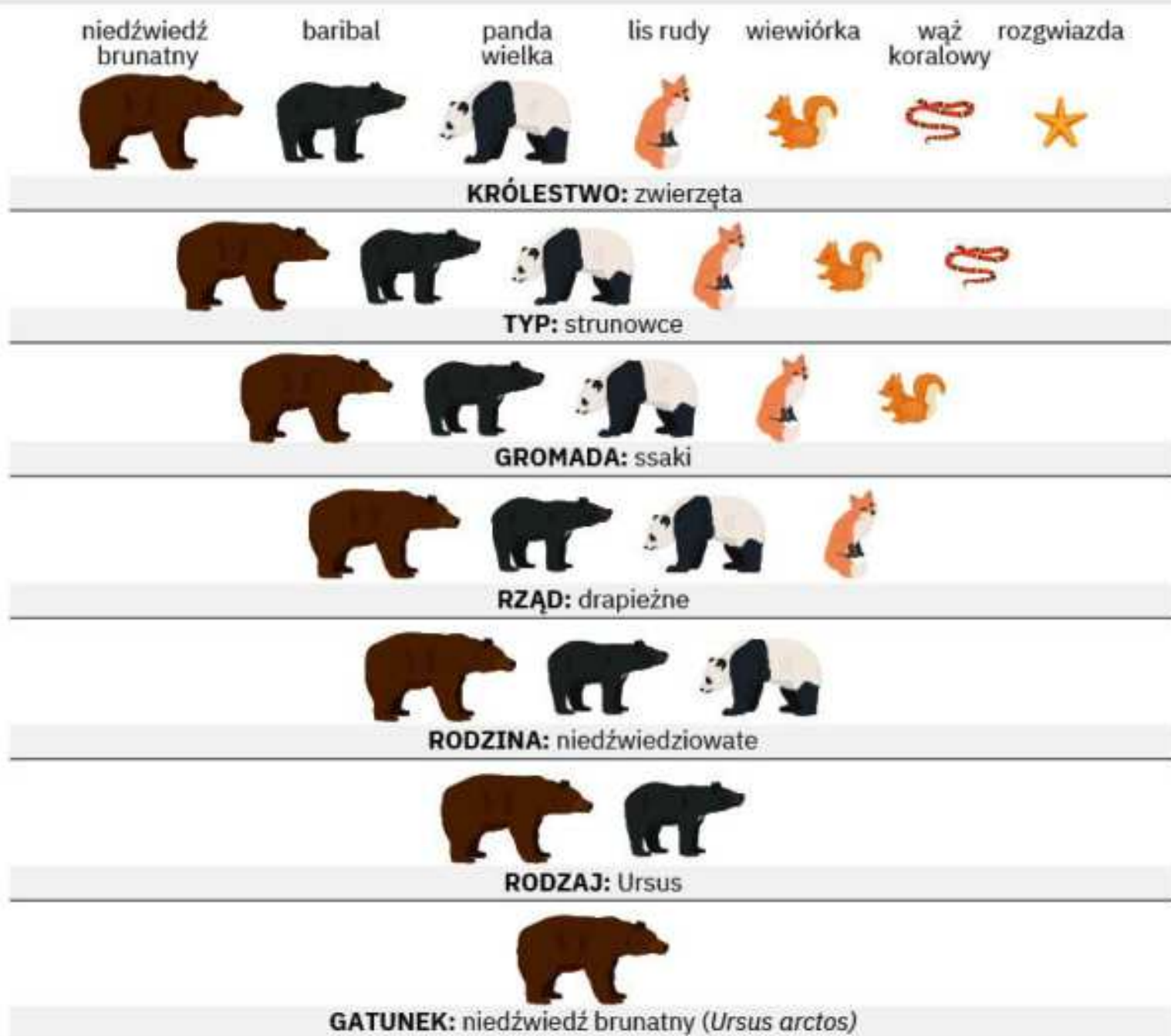
Ryc. I.1.2. Przykład klasyfikacji: podział królestwa roślin i zwierząt na hierarchiczne jednostki taksonomiczne.

*Zwróć uwagę, że typ i gromada w królestwie zwierząt odpowiadają gromadzie i klasie w królestwie roślin.

Klasyfikacja organizmów, oparta na zasadach linneuszowskich, ma **układ hierarchiczny**. Oznacza to, że każdy z taksonów jest zbiorem jednostek niższej rangi. Najniższą rangę stanowi **gatunek**, czyli zbiór podobnych do siebie osobników zdolnych do krzyżowania się ze sobą i wydawania płodnego potomstwa (zgodnie z biologiczną koncepcją gatunku). Blisko spokrewnione gatunki łączy się w jeden rodzaj, a blisko spokrewnione rodzaje – w jedną rodzinę. Rodziny łączy się w rzędy, rzędy – w gromady, gromady – w typy, typy – w królestwa, a królestwa – w domeny. Klasyfikacja niedźwiedzia brunatnego (*Ursus arctos*) przedstawiona na **rycinie I.1.3.** jest przykładem hierarchicznego systemu linneuszowskiego.

◀ gatunek

Niekiedy wprowadza się dodatkowe rangi taksonomiczne, dzieląc je w ten sposób na mniejsze jednostki. Ich nazwy tworzy się, dodając przedrostki *nad-* lub *pod-* do nazwy taksonu danej rangi, np. nadrodzina, podtyp.



Ryc. I.1.3. Klasyfikacja niedźwiedzia brunatnego (*Ursus arctos*, czyt. ursus arktos). Hierarchiczny system klasyfikacji oznacza, że każdy z taksonów jest zbiorem taksonów niższej rangi.



Ryc. I.1.4. Husarz władca (*Anax imperator*) – gatunek ważki różnoskrzydłej.

Uniwersalnym językiem stosowanym w systematyce jest **język łaciński**. Wprowadzono go w celu wyeliminowania pomyłek wynikających z tłumaczenia i dla ułatwienia współpracy naukowców na całym świecie. Nazwy łacińskie mają zarówno rangi wszystkich taksonów (np. *Mammalia* to gromada ssaków, a *Primates* to rząd naczelnych), jak i wszystkie wymarłe, żyjące oraz nowo odkrywane gatunki. Do połowy XVIII w. nazwy łacińskie gatunków były opisowe (czasami zawierały aż kilkanaście łacińskich słów). Linneusz wprowadził obowiązujący do dziś system **nazewnictwa binominalnego (dwuimiennego)**, w którym każdemu gatunkowi nadaje się dwuczłonową nazwę. Pierwszy człon stanowi **nazwę rodzajową** i jest rzeczownikiem, a drugi, tzw. **epitet gatunkowy**, oznacza konkretny ga-

tunek w obrębie tego rodzaju. Epitet gatunkowy wyrażamy najczęściej przymiotnikiem (np. *albus* – biały, *palustris* – błotny), rzadziej rzeczownikiem (*belladonna* – piękna pani). Widoczny na **rycinie I.1.4.** gatunek ważki nosi łacińską nazwę *Anax imperator*, gdzie *Anax* jest nazwą rodzajową, a *imperator* – epitetem gatunkowym.

Nazwę rodzajową należy pisać wielką literą, a nazwę gatunkową – małą. Oba człony zapisuje się kursywą. W pracach biologicznych po nazwie gatunkowej umieszcza się nazwisko lub skrót nazwiska badacza, który jako pierwszy zaproponował daną nazwę. Często dodawana litera L., np. *Achillea millefolium* L. (krwawnik pospolity), oznacza, że gatunek został nazwany i opisany przez Karola Linneusza.

Nazwy gatunkowe, zarówno łacińskie, jak i polskie, mogą być skarbnicą wiedzy na temat samego gatunku. Mogą nieść informację m.in. o jego specyficznych cechach, o odkrywcy czy o miejscu odkrycia, a także o sposobie jego wykorzystywania w dawnych czasach (**ryc. I.1.5.**). Nazwy licznych gatunków są również związane z wieloma faktami historycznymi czy nawet legendami.



Ryc. I.1.5. Dwuczłonowe nazwy roślin są źródłem wiedzy o tych gatunkach:

A – korzeń wężymordu czarnego (*Scorzonera hispanica* L., czyt. skorconera hispanika) był stosowany jako antidotum na jad żmij;

B – naparstnica purpurowa (*Digitalis purpurea* L.) wzięła nazwę od kwiatów przypominających naparstki;

C – dalia ogrodowa (*Dahlia* sp.) nazwę zawdzięcza odkrywcy Andersowi Dahlowi;

D – cieszyńianka wiosenna (*Hacquetia epipactis*, czyt. hakwetia epipaktis) występuje najliczniej na Śląsku Cieszyńskim.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

- Wyjaśnij, czym się zajmuje systematyka i z jakimi naukami jest związana.
- Uzereguj w zeszycie podane poniżej taksony według ich rang (od znajdującej się najniżej w klasyfikacji hierarchicznej).

gromada, królestwo, rodzina, gatunek, typ, rząd, rodzaj

- Poniżej podano nazwy łacińskie wybranych gatunków roślin.

Bellis perennis, Pinus sylvestris, Tilia cordata, Hypericum perforatum, Carex alba

Przerysuj tabelę do zeszytu oraz uzupełnij ją powyższymi nazwami rodzajowymi i nazwami gatunkowymi.

Nazwy rodzajowe	Nazwy gatunkowe
...	...

PODSUMOWANIE LEKCJI

- s. 8 ▶ • **Systematyka** zajmuje się opisywaniem, nazewnictwem i klasyfikowaniem organizmów.
- s. 9 ▶ • **Karol Linneusz** jest autorem obowiązującego do dziś hierarchicznego systemu klasyfikacji organizmów (każdy z taksonów jest zbiorem jednostek niższej rangi).
- s. 9 ▶ • **Klasyfikacja biologiczna** obejmuje następujące jednostki systematyczne (taksony): gatunek, rodzaj, rodzina, rząd, gromada, typ, królestwo, domena.
- s. 10 ▶ • Linneusz wprowadził system **nazewnictwa binominalnego**, w którym każdemu gatunkowi nadaje się dwuczłonową nazwę (rodzajową i gatunkową).



2. Oznaczanie organizmów – klucze do oznaczania

NA TEJ LEKCJI:

- dowiesz się, jak korzystać z kluczy do oznaczania gatunków;
- zapoznasz się z dychotomicznym charakterem kluczy do oznaczania gatunków.

klucze
dychotomiczne ▶

Znajomość organizmów, które występują w naszym otoczeniu, jest niezbędna wszystkim osobom zajmującym się przyrodą. Do szybkiego i łatwego, ale jednocześnie wstępnego rozpoznawania gatunków można wykorzystać atlasy lub przewodniki roślin czy zwierząt, w których wybrane gatunki przedstawiono na zdjęciach lub rysunkach. Jednak ze względu na ogromną zmienność cech do precyzyjnego identyfikowania wykorzystuje się **klucze do oznaczania gatunków**. Klucze pozwalają na bardziej szczegółowe zapoznanie się ze światem ożywionym, rozwijają umiejętności dostrzegania istotnych cech różniących poszczególne gatunki, a także takich, które są dla nich wspólne. Istnieją klucze przeznaczone do oznaczania roślin, zwierząt czy grzybów. Klucze mają najczęściej formę książkową, choć są dostępne również wersje elektroniczne i internetowe. Są też klucze bardziej specjalistyczne, np. przeznaczone do oznaczania organizmów wybranych siedlisk (m.in. klucz do oznaczania roślin wodnych) czy wybranych grup taksonów (m.in. klucz do oznaczania traw, owadów czy ssaków). Większość kluczy ma charakter **dychotomiczny** (dwudzielny), tzn. każdej grupie cech oznaczonej liczbą porządkową odpowiada grupa przeciwnych, wykluczających się cech (np. czerwone i białe kwiaty). Identyfikowany organizm może mieć tylko jedną z nich. W ten sposób dzielimy organizmy na dwie grupy: jedną, u której dana cecha występuje, i drugą, u której jej brak (**ryc. 1.2.1. i 1.2.2.**).

Klucz numeryczny do oznaczania gatunków łabędzi



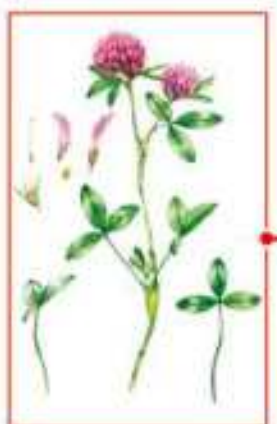
Rozpoznawanie gatunków łabędzi

1. Upierzenie białe patrz pkt 2.
Upierzenie czarne Łabędź czarny
2. Dziób pomarańczowy Łabędź niemy
Dziób czarny Łabędź czarnodzioby
Dziób czarno-żółty Łabędź krzykliwy



Ryc. I.2.1. Łabędź niemy, czarny, czarnodzioby i krzykliwy.

Klucz numeryczny do oznaczania gatunków koniczyny



Rozpoznawanie gatunków koniczyny

1. Łodyga wzniesiona lub płożąca się,
liście trzylistkowe patrz pkt 2.
Łodyga rozestłana, liście trzylistkowe patrz pkt 3.
2. Kwiaty czerwone Koniczyna pogięta
Kwiaty żółte Koniczyna różnoogonkowa
3. Kwiaty białe Koniczyna biała
Kwiaty żółte Koniczyna drobnogłówna



Ryc. I.2.2. Gatunki koniczyny (koniczyna drobnogłówna *Trifolium dubium*, koniczyna różnoogonkowa *Trifolium campestre*, koniczyna biała *Trifolium repens*, koniczyna pogięta *Trifolium medium*).

ZADANIE DO ROZWIĄZANIA

Omów konstrukcję klucza do oznaczania gatunków.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- Do oznaczania gatunków stosuje się klucze, które mają **charakter dychotomiczny** (dwudzielny), tzn. danej grupie cech odpowiada grupa przeciwstawnych cech.

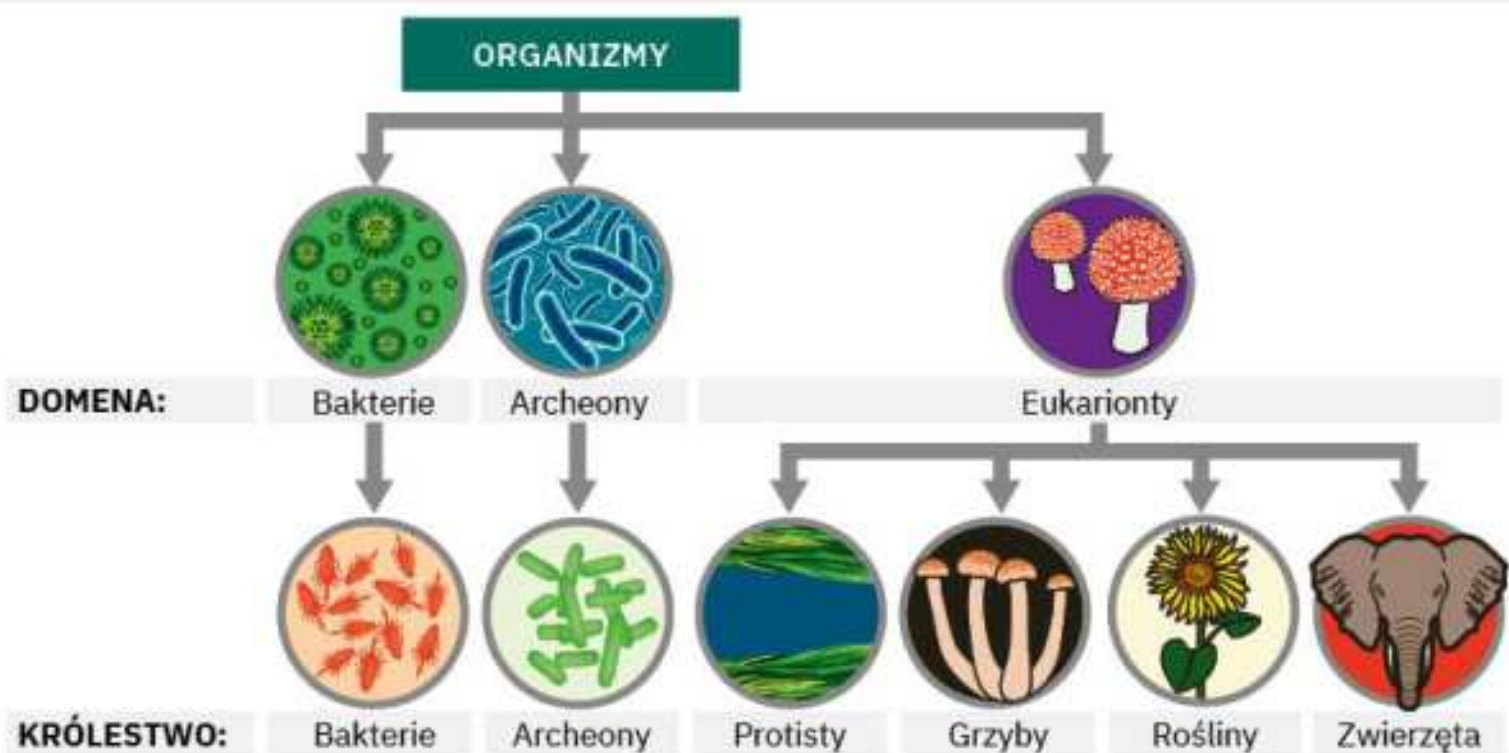
3. Trzy domeny i sześć królestw świata ożywionego

NA TEJ LEKCJI:

- dowiesz się, jak się dzieli świat ożywiony;
- poznasz pokrewieństwa ewolucyjne organizmów.

trzy domeny
świata żywego

Rozwój nowoczesnych technik badawczych umożliwił wykazanie fundamentalnych różnic pomiędzy organizmami, zwłaszcza na poziomie molekularnym. Na tej podstawie świat żywy podzielono na **trzy domeny**, tworzące tzw. główne gałęzie drzewa życia: **Archaea** (czyt. archea), **Bacteria** oraz **Eukarya** (ryc. I.3.1.). Niekiedy w obrębie tych domen wyróżnia się jeszcze królestwa: bakterii, archeonów, protistów, grzybów, roślin i zwierząt. Podział organizmów na królestwa nie odzwierciedla w poprawny sposób filogenezy wszystkich sklasyfikowanych w nich organizmów i często jest negowany. Jednak ze względów praktycznych i użytkowych w dalszym ciągu jest stosowany (tab. I.3.1.).



Ryc. I.3.1. Trzy domeny życia: *Bacteria*, *Archaea* i *Eukarya*.

Tab. I.3.1. Podział organizmów na domeny i królestwa

Domena	Królestwo	Charakterystyka	Funkcja w biosferze
Bacteria	Bakterie (<i>Bacteria</i>)	Organizmy prokariotyczne, jednokomórkowe, mikroskopijnych rozmiarów, mają ścianę komórkową (zbudowaną z peptydoglikanu).	Organizmy pasożytnicze, chorobotwórcze, niektóre są chemoautotrofami, inne fotoautotrofami; odgrywają istotną rolę w obiegu pierwiastków w przyrodzie; mają zastosowanie przemysłowe.

Domena	Królestwo	Charakterystyka	Funkcja w biosferze
Archaea	Archeony (Archaea)	Organizmy prokariotyczne, jednokomórkowe, mikroskopijnych rozmiarów; ściany komórkowe bez peptydoglikanu.	Gatunki <u>środowisk ekstremalnych</u> : ścieki, bagna, tereny silnie zasolone lub zakwaszone, gorące źródła.
Eukarya	Protista	Organizmy najczęściej jednokomórkowe, rzadziej wielokomórkowe. Odżywiają się autotroficznie, heterotroficznie, oddychają całą powierzchnią ciała. Mają pellikulę. Rozmnażają się głównie bezpłciowo (najczęściej przez podział), ale u niektórych gatunków występuje rozmnażanie płciowe.	Gatunki środowisk wodnych oraz obecne w tkankach i płynach ustrojowych zwierząt. Są producentami i heterotrofami. Niektóre gatunki są chorobotwórcze.
	Grzyby	Organizmy eukariotyczne, cudzożywne, zbudowane ze strzępek tworzących grzybnie, obecna ściana komórkowa zbudowana z <u>chityny</u> .	<u>Reducenci</u> , pasożyty i gatunki chorobotwórcze; wchodzą w symbiozę z korzeniami roślin i glonami (porosty); są źródłem <u>antybiotyków</u> ; drożdże są wykorzystywane w przemyśle.
	Rośliny	Organizmy eukariotyczne; wielokomórkowe, fotosyntetyzujące; rozwój z przemianą pokoleń, rozmnażanie płciowe; ściana komórkowa zbudowana z celulozy.	Producenci; źródło tlenu, materii organicznej w biosferze, stanowią pożywienie dla konsumentów.
	Zwierzęta	Organizmy eukariotyczne, wielokomórkowe, cudzożywne; zbudowane z wyspecjalizowanych tkanek i narządów.	Konsumenci (roślinożercy i mięsożercy).

Przeciwnicy podziału świata ożywionego na hierarchiczne jednostki systematyczne klasyfikują organizmy w klady. **Klad** to grupa taksonów/organizmów, które mają wspólnego przodka; obejmuje wszystkich jego potomków. Poszczególne klady zalicza się do jednej z trzech domen, a nie do tradycyjnych, linneuszowskich taksonów. Alternatywnym sposobem klasyfikacji organizmów jest tzw. **PhyloCode** (czytaj: fajlokołd), którego zasady opracowano w 1998 r. PhyloCode łączy organizmy w klady na podstawie pokrewieństwa ewolucyjnego i nie przyporządkowuje ich do żadnych jednostek taksonomicznych. Takie podejście jest jednak mało praktyczne i nie jest powszechnie stosowane.

Wraz z rozwojem nauk przyrodniczych i bioinformatycznych zmieniają się założenia systematyki. Ponieważ uwzględnia się nowe dane, klasyfikacja organizmów ulega dynamicznym zmianom. Możliwe jest stosowanie zarówno tradycyjnego podziału na jednostki systematyczne, jak i systemów opartych na pokrewieństwie ewolucyjnym. Z pewnością można powiedzieć, że współczesna klasyfikacja organizmów nie jest ostateczna.

Pokrewieństwo ewolucyjne gatunków

systemy
klasyfikacji
organizmów

- ▶ Klasyfikacja organizmów może się opierać na **systemie sztucznym** lub **naturalnym**. Systemy sztuczne tworzy się na podstawie podobieństwa morfologicznego, fizjologicznego czy ekologicznego gatunków. System naturalny opiera się na pokrewieństwie pomiędzy organizmami. Systemy klasyfikacji powstają na bazie trzech

metody klasyfikacji
organizmów

- ▶ **metod klasyfikacji organizmów**, do których zaliczamy:
 - **metody fenetyczne**, oparte na podobieństwie dowolnie wybranej cechy lub grupy cech. Pozorne podobieństwo często jest wynikiem funkcjonowania organizmów w tych samych warunkach środowiska. Klasycznym przykładem są skrzydła ptaków i owadów, należące do tzw. **narządów analogicznych**, czyli podobnych w budowie, ale niemających wspólnego pochodzenia (ryc. I.3.2.). Metody fenetyczne w klasyfikacji organizmów współcześnie są wykorzystywane jako metody pomocnicze;

A



B



Ryc. I.3.2. Narządy analogiczne: (A) skrzydło ptaka i (B) skrzydło owada nie mają wspólnego pochodzenia ewolucyjnego ani morfologicznego, ale pełnią podobne funkcje.

- **metody podziału logicznego**, na których są oparte klucze do oznaczania gatunków (patrz wyżej);
- **metody filogenetyczne**, oparte na pokrewieństwie ewolucyjnym gatunków. Metody te umożliwiają odtworzenie rozwoju rodowego, czyli **filogenezy** danego organizmu, na podstawie przebiegu ewolucji. Opisuje się w ten sposób historię danego taksonu lub grupy organizmów od pojawienia się na Ziemi do współczesności (lub do wymarcia).

ZADANIE DO ROZWIĄZANIA

Podaj podział świata ożywionego na domeny. Na jakiej podstawie został on opracowany?

PODSUMOWANIE LEKCJI

- s. 14 ▶ • Współcześnie świat żywy dzielimy na **trzy domeny**: *Bacteria*, *Archaea* i *Eukarya* oraz sześć królestw: bakterie, archeony, protisty, grzyby, rośliny i zwierzęta.
- s. 16 ▶ • **Klasyfikacja organizmów** może być oparta na systemie sztucznym (np. na podobieństwie morfologicznym) lub naturalnym (na pokrewieństwie ewolucyjnym).
- s. 16 ▶ • **Systemy klasyfikacji** tworzy się na podstawie metod fenetycznych, metod podziału logicznego i metod filogenetycznych.

4. Systematyka filogenetyczna

NA TEJ LEKCJI:

- zapoznasz się z systematyką filogenetyczną;
- dowiesz się, czym są homologie i synapomorfie.

Podstawą **systematyki filogenetycznej** jest wspólne pochodzenie organizmów. Określenie związków ewolucyjnych pomiędzy gatunkami pozwala m.in. zrozumieć prawidłowości kierujące rozmieszczeniem i rozprzestrzenianiem się organizmów (np. organizmów chorobotwórczych), rozpoznawać i klasyfikować nowe gatunki czy modyfikować stworzone wcześniej klasyfikacje.

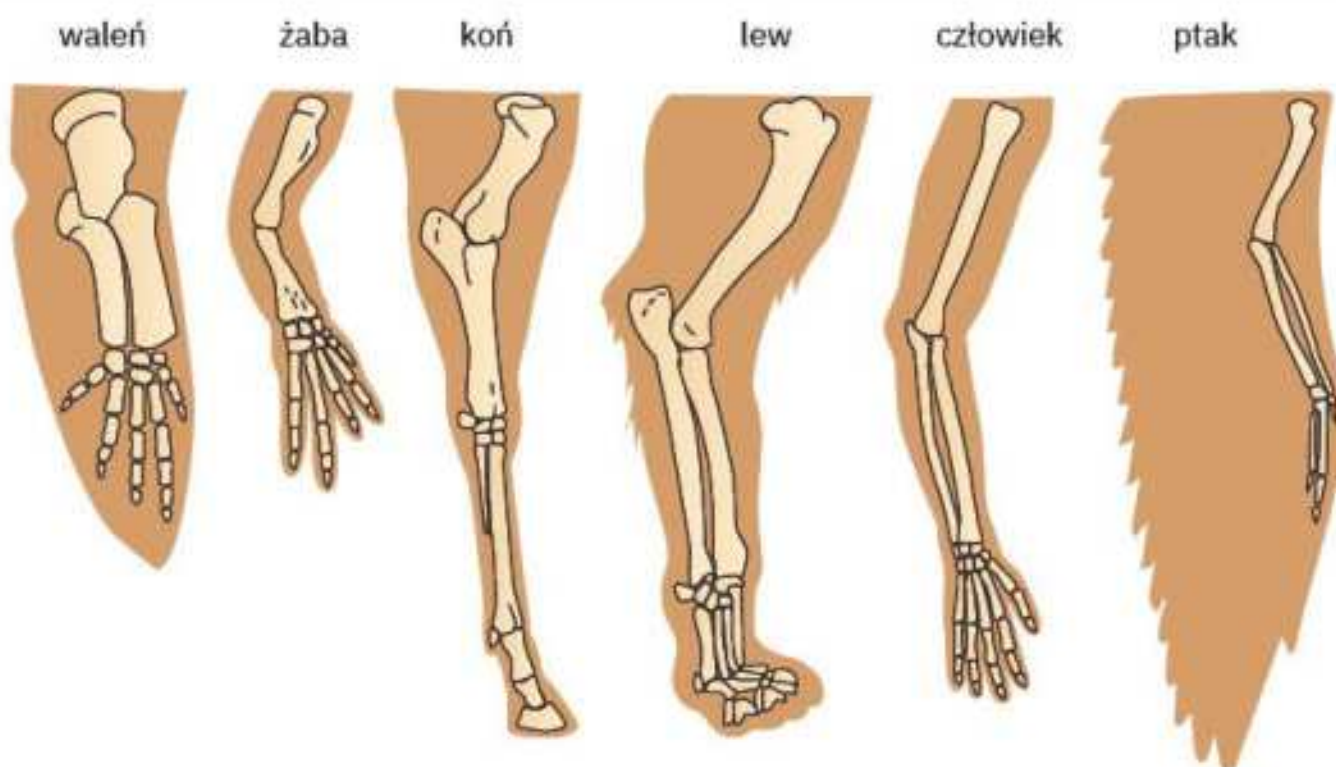
systematyka
filogenetyczna

Badanie pokrewieństwa pomiędzy organizmami opiera się na porównywaniu różnych cech organizmów. Analiza obejmuje cechy morfologiczne, fizjologiczne, rozwojowe, behawioralne oraz molekularne. Należy zaznaczyć, że organizmów nie klasyfikuje się na podstawie jednej cechy, ale całego ich zbioru. W określaniu powiązań ewolucyjnych największe znaczenie mają **struktury homologiczne, synapomorfie oraz homologie na poziomie molekularnym**.

analiza powiązań
ewolucyjnych

Homologia, w przeciwieństwie do analogii, to występowanie u dwóch lub większej liczby gatunków struktury odziedziczonej po wspólnym przodku. Narządami homologicznymi są kości w ręce człowieka, łapie kota, płetwie wieloryba oraz skrzydło nietoperza (**ryc. I.4.1.**).

homologia



Ryc. I.4.1. Narządy homologiczne mają podobną budowę i wspólne pochodzenie, ale pełnią różne funkcje.

Wśród cech wskazujących na powiązania ewolucyjne pomiędzy gatunkami wyróżniamy takie, które są wspólne dla dużej grupy organizmów (np. należących do gromady czy typu), nazywamy je **cechami plezjomorficznymi**. Przykładem jest obecność kręgosłupa u wszystkich gromad należących do zwierząt kręgowych. W przeciwieństwie do nich **cechy synapomorficzne** pojawiają się u ostatniego wspólnego przodka rozważanych taksonów i występują u jego potomków. Cechy synapomorficzne powstają np. na skutek mutacji czy doboru naturalnego i pozwalają na identyfikowanie miejsc zróżnicowania się danych grup w ewolucji. Przykładem cechy synapomorficznej jest obecność trzech kosteczek słuchowych u ssaków. Należy podkreślić, że dana cecha może być synapomorficzna lub plezjomorficzna w zależności od tego, jakie grupy ze sobą porównujemy. Obecność kosteczek słuchowych pozwala odróżnić ssaki od gadów, ale nie nadaje się odróżniania poszczególnych taksonów ssaków (w tym wypadku jest to cecha plezjomorficzna).

Współczesna filogeneza w dużej mierze bazuje na analizie **homologii na poziomie molekularnym**. Dysponując najbardziej nowoczesnymi metodami biologii molekularnej, systematycy porównują struktury wybranych makrocząsteczek (np. białek, cytochromów czy fragmenty kwasów nukleinowych). Pozwala to na weryfikację przynależności taksonomicznej organizmów pozornie bardzo do siebie podobnych. Wyjaśnianiem pokrewieństwa ewolucyjnego na podstawie analizy cząsteczek biologicznych zajmuje się **systematyka molekularna**. Badania w tym zakresie obejmują:

- klasyfikowanie organizmów na podstawie obecności **unikatowych fragmentów sekwencji DNA lub RNA**, będących swego rodzaju kodem kreskowym danego organizmu. Na tej podstawie klasyfikuje się organizmy bardzo do siebie podobne. Przykładem jest wyodrębnienie dwóch podgatunków słonia afrykańskiego (stepowego oraz sawannowego). Uznawany wcześniej za podgatunek słonia leśnego na podstawie badań genetycznych został podniesiony do rangi gatunku (**ryc. 1.4.2.**);



Ryc. 1.4.2. Po analizach molekularnych słonia leśny (B) zyskał rangę osobnego gatunku, a nie podgatunku słonia afrykańskiego (A).

- porównywanie **sekwencji nukleotydowych DNA lub RNA** oraz **sekwencji aminokwasowych białek** różnych organizmów. Im bardziej porównywane sekwencje do siebie pasują, tym bardziej badane gatunki są ze sobą spokrewnione. Porównania mogą obejmować sekwencję wybranych genów lub całe genomy (tzw. **filogenomika**);
- porównywanie sekwencji nukleotydów **rybosomowego RNA**. Sekwencje te w nieznacznym stopniu ulegają zmianom w toku ewolucji. Podział świata na trzy domeny opierał się w dużej mierze na badaniach rybosomowego RNA. Tego typu analizy pokazały także, że grzyby są bardziej spokrewnione ze zwierzętami niż – jak sądzono wcześniej – z roślinami.

Przedstawienie pokrewieństwa pomiędzy grupami organizmów

Dane dotyczące pokrewieństwa organizmów będące zbiorem różnych analiz służą do tworzenia rozgałęzionych grafów, czyli tzw. **drzew filogenetycznych** (rodowych) organizmów, które obrazują pokrewieństwo ewolucyjne między różnymi ich grupami. Wyróżniamy **trzy rodzaje grup taksonomicznych**: monofiletyczne, parafiletyczne i polifiletyczne (ryc. I.4.3.).

Grupa monofiletyczna uwzględnia wspólnego przodka oraz wszystkich jego potomków (np. ssaki). Grupy monofiletyczne są podstawą tworzenia poprawnych klasyfikacji opartych na pokrewieństwie organizmów.

Grupa parafiletyczna obejmuje wspólnego przodka oraz tylko niektórych jego potomków. Członkowie tej grupy mają wspólne cechy odziedziczone po gatunku macierzystym. Jest to grupa sztuczna, do której zalicza się np. gady. Mimo że z gadami, np. dinozaurami czy krokodylami, najbardziej spokrewnione są ptaki, wyłączone je z tej grupy – m.in. ze względu na unikatowe przystosowanie ptaków do lotu.

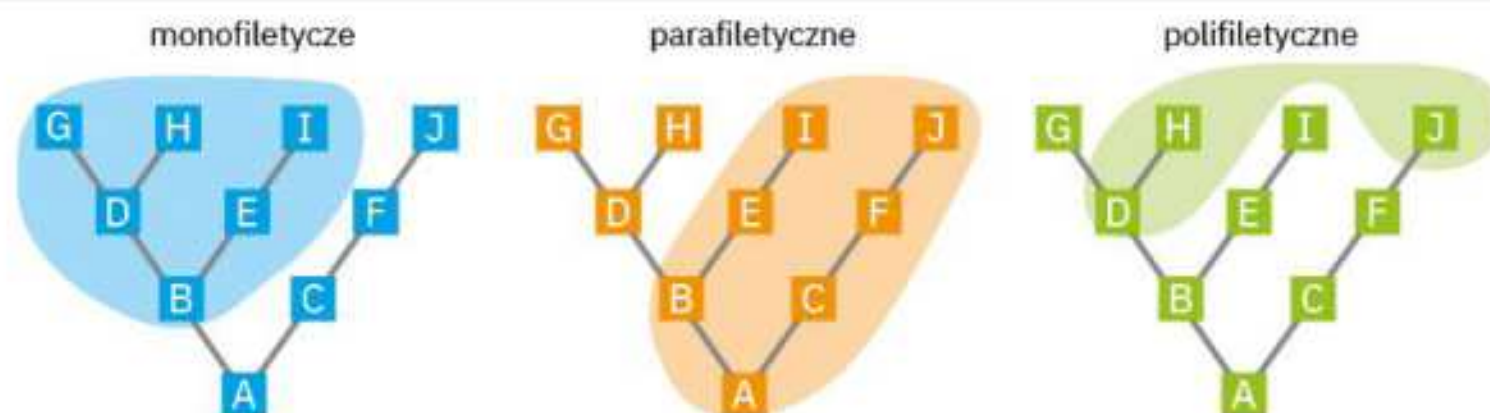
Grupa polifiletyczna obejmuje kilka linii ewolucyjnych pochodzących od różnych przodków i obejmuje organizmy niespokrewnione ze sobą. Są to grupy sztuczne, tworzone na podstawie pozornych podobieństw (np. zwierzęta stałocieplne). Obecnie unika się tworzenia grup polifiletycznych, ponieważ nie odzwierciedlają one pokrewieństwa ewolucyjnego.

◀ rodzaje grup taksonomicznych

◀ grupa monofiletyczna

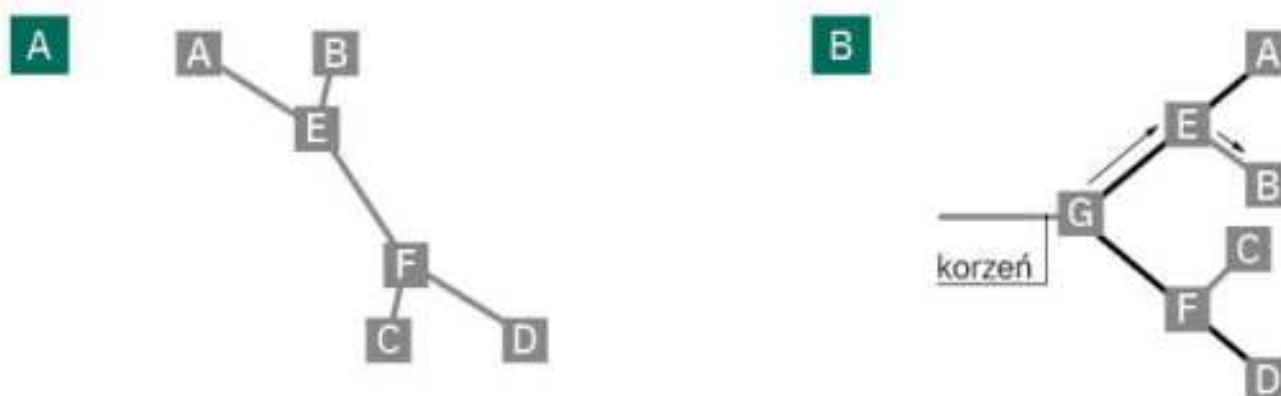
◀ grupa parafiletyczna

◀ grupa polifiletyczna



Ryc. I.4.3. Rodzaje grup taksonomicznych: monofiletyczne, parafiletyczne i polifiletyczne.

Związki ewolucyjne przedstawia się na drzewie filogenetycznym za pomocą rozgałęziających się **odcinków (gałęzi)** oraz **węzłów** (punktów rozgałęzienia) (**ryc. I.4.4.**). Gałąź drzewa reprezentuje kład, czyli grupę organizmów mających wspólnego przodka. Węzeł odpowiada rozszczepieniu się na dwie linie ewolucyjne. Drzewa filogenetyczne mogą być **niezakorzenione** lub **zakorzenione** (**ryc. I.4.4.**).

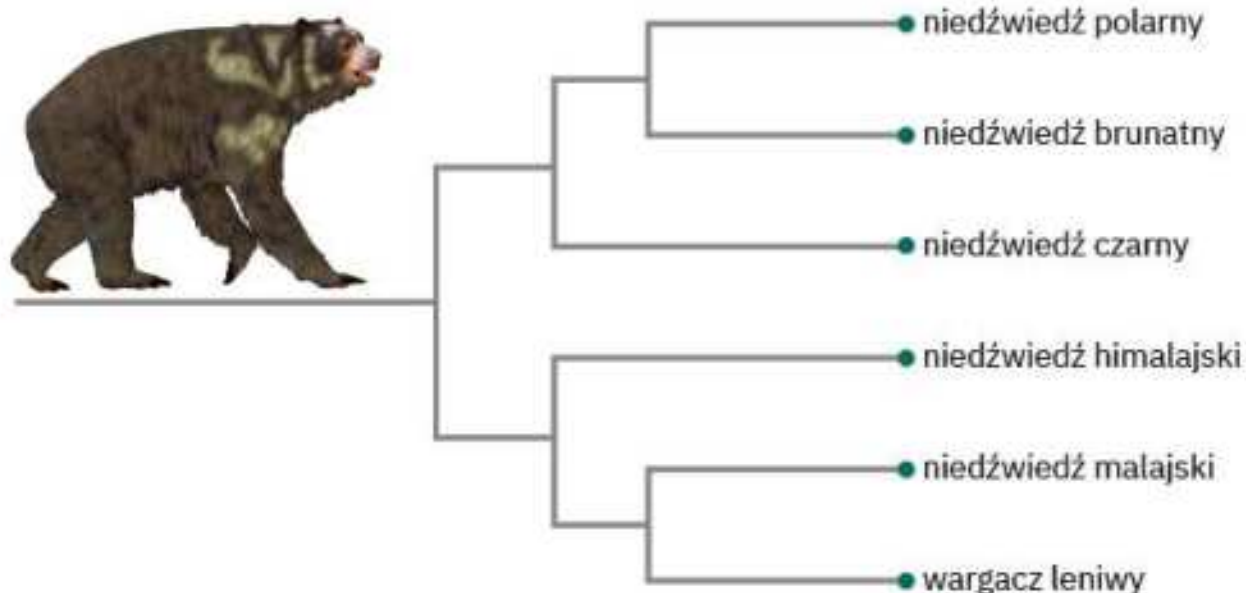


Ryc. I.4.4. Struktura drzewa filogenetycznego niezakorzenionego (A) i zakorzenionego (B).

W drzewie niezakorzenionym nieznany jest kierunek ewolucji (nie wiemy, który węzeł odpowiada wspólnemu przodkowi). Punktem wyjścia na drzewie ukorzenionym jest ostatni wspólny przodek dla wszystkich grup uwzględnionych w obrębie grafu. Jak pokazano na ryc. I.4.4.B. przedstawiającej hipotetyczne ukorzenione drzewo filogenetyczne, węzeł G odpowiada momentowi rozszczepienia się wspólnego przodka taksonów E i F. Taksony A i B leżą w tej samej odległości od węzła E, dlatego nazywamy je **taksonami siostrzanymi**. Mają one wspólnego przodka, dlatego są najbliższymi krewnymi. Dostępne metody systematyki filogenetycznej dają możliwość obliczania długości gałęzi, tzn. wyznaczania czasu (szacunkowego, względnego lub absolutnego), w jakim nastąpiło rozdzielenie się konkretnych linii ewolucyjnych. Drzewa uwzględniające te szacunki nazywamy **filogramami** lub **chronogramami**. Natomiast drzewa, w których długość gałęzi nie jest istotna, a które obrazują tylko powiązania ewolucyjne (ważny jest wzór rozgałęziania), nazywamy **kladogramami**. Przykładem jest kladogram obrazujący pokrewieństwo współcześnie żyjących niedźwiedzi (**ryc. I.4.5.**).

Analizując kladogram, musimy pamiętać o następujących zasadach:

- pokrewieństwo między taksonami określa się przez cofanie się wzdłuż gałęzi do ostatniego wspólnego przodka (węzła), a nie przez porównywanie relacji wzdłuż linii pionowej (lub poziomej, w zależności od sposobu prezentacji kladogramu);
- ważna jest kolejność rozgałęzień i sposób ułożenia taksonów czy długość gałęzi;
- kladogram określa, które taksony mają wspólnego przodka.



Ryc. I.4.5. Kladogram obrazujący pokrewieństwo ewolucyjne współcześnie żyjących niedźwiedzi. Analiza pokrewieństwa została wykonana na podstawie badania całych genomów. Linia wywodząca się od wspólnego przodka niedźwiedzi rozdzieliła się na dwie linie ewolucyjne odpowiadające przodkom niedźwiedzi: polarnego, brunatnego i czarnego oraz himalajskiego, malajskiego i wargacza. Analiza pokazała bliskie pokrewieństwo pomiędzy niedźwiedziem polarnym i brunatnym, a także między niedźwiedziem malajskim i wargaczem leniwym.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wyjaśnij, jaka jest różnica między narządami analogicznymi i homologicznymi. Uzasadnij, dlaczego tylko jedno z nich można wykorzystać do badania pokrewieństwa organizmów.
2. Wytlumacz, czym się różnią cechy plezjomorficzne i synapomorficzne. Wymień przykłady tych cech.
3. Podaj zakres zadań systematyki molekularnej.
4. Przedstaw w zeszycie, w jakim celu konstruuje się drzewa filogenetyczne i co one przedstawiają.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- **Systematyka filogenetyczna** zajmuje się badaniem pokrewieństwa ewolucyjnego organizmów. ◀ s. 17
- **Analiza powiązań ewolucyjnych** obejmuje struktury homologiczne, synapomorfie oraz homologie na poziomie molekularnym. ◀ s. 17
- Wyróżniamy **trzy rodzaje grup taksonomicznych**: monofiletyczne (wspólny przodek oraz wszyscy jego potomkowie), parafiletyczne (wspólny przodek oraz wybrani potomkowie) i polifiletyczne (kilku przodków i organizmy niespokrewnione ze sobą). ◀ s. 19
- **Drzewo filogenetyczne** (kladogram) jest rozgałęzionym grafem przedstawiającym pokrewieństwo ewolucyjne pomiędzy organizmami wywodzącymi się od wspólnego przodka. ◀ s. 20
- **Drzewa filogenetyczne** mogą być zakorzenione lub niezakorzenione. ◀ s. 20

PODSUMOWANIE PRZED SPRAWDZIANEM

s. 14 ► Podział świata ożywionego na domeny i królestwa

DOMENY	ARCHEA	BACTERIA	EUKARYA			
KRÓLESTWA	Archeony	Bakterie	Protisty	Grzyby	Rośliny	Zwierzęta

s. 9 ► Hierarchiczny układ jednostek taksonomicznych

Jednostki taksonomiczne	
Królestwo: Rośliny	Królestwo: Zwierzęta
Gromada	Typ
Klasa	Gromada
Rząd	Rząd
Rodzina	Rodzina
Rodzaj	Rodzaj
Gatunek	Gatunek

s. 14 ► Porównanie domen i królestw świata ożywionego

Domena	Królestwo	Obecność jądra komórkowego	Obecność i budowa ściany komórkowej	Sposób odżywiania
ARCHEA	Archeony	–	+	cudzożywne
BACTERIA	Bakterie	–	+ występuje mureina	cudzożywne, rzadziej samożywne (chemo- lub fotosynteza)
EUKARYA	Protisty	+	występuje u niektórych gatunków	cudzożywne lub samożywne (fotosynteza)
	Grzyby	+	+	cudzożywne
	Rośliny	+	+ zbudowana z celulozy	samożywne (fotosynteza)
	Zwierzęta	+	–	cudzożywne

s. 16 ► Metody klasyfikacji organizmów

Metody	System	Podstawa klasyfikacji	Zastosowanie
fenetyczne	sztuczny	cechy budowy	tworzenie kluczy do oznaczania gatunków
filogenetyczne	naturalny	pochodzenie	określenie stopnia pokrewieństwa, tworzenie kladogramów

Grupa monofiletyczna	Grupa parafiletyczna	Grupa polifiletyczna
Uwzględnia wspólnego przodka oraz wszystkich jego potomków (np. ssaki); grupy te są podstawą tworzenia kladogramów, czyli klasyfikacji opartych na wspólnym pochodzeniu.	Sztuczna, obejmuje wspólnego przodka oraz niektórych jego potomków. Członkowie tej grupy mają wspólne cechy odziedziczone po gatunku macierzystym, np. gady.	Sztuczna, obejmuje kilka linii ewolucyjnych pochodzących od różnych przodków i obejmuje organizmy niespokrewnione ze sobą, np. zwierzęta stałocieplne.

BLOK ĆWICZENIOWY

1. (0–1 pkt)

Nauka opisująca, nazywająca i klasyfikująca organizmy to:

- A. systematyka
- B. kladystyka
- C. filogenomika

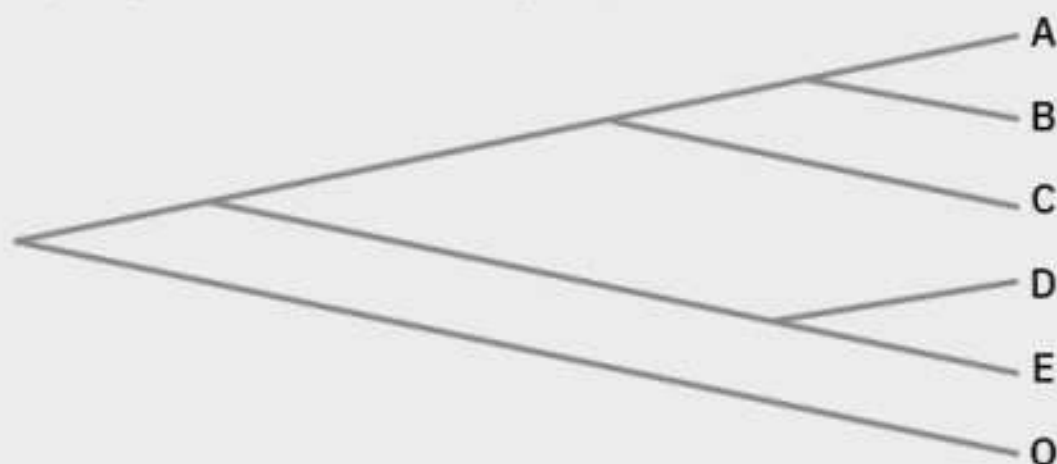
2. (0–1 pkt)

Polska badaczka owadów – Irena Dworakowska – w 1972 r. odkryła w Australii nową dla nauki grupę, którą nazwała pluskwiakami. Należą do niej m.in. *Dziwneono weewaa* czy *Dziwneono olszewskii*. **Dziwneono** jest nazwą:

- A. gatunku
- B. rodziny
- C. rodzaju
- D. gromady

3. (0–1 pkt)

Na poniższej rycinie przedstawiono drzewo filogenetyczne.



Przerysuj schemat do zeszytu i zakresł obszary drzewa filogenetycznego w taki sposób, aby obejmowały grupę monofiletyczną oraz parafiletyczną organizmów.

4. (0–1 pkt)

Przerysuj do zeszytu tabelę dotyczącą podziału świata ożywionego na królestwa i ją uzupełnij.

Królestwo	Ściana komórkowa	Obecność jądra komórkowego	Funkcja ekologiczna	Przykłady gatunków
...	obecna, zbudowana z peptydoglikanu	...	...	...
...	...	brak	...	...
...	...	...	...	zarodziec malarii, pantofelek, rzęsi- stek pochwowy
Grzyby	...	...	...	...
...	...	...	producenci	...
...	brak	...	...	...

5. (0–1 pkt)

W tabeli przedstawiono opisy trzech gatunków ptaków z rodzaju sieweczka (*Charadrius*).

Sieweczka rzeczna	Sieweczka obrożna	Sieweczka morska
Wierzch ciała szarobrązowy, na głowie czarne przepaski i czarno-biała wąska obroża na szyi. Dziób ciemny z żółtą plamką; nogi żółtoszare; oko otoczone jaskrawożółtymi okularami.	Wierzch ciała szarobrązowy, brak białego obrzezania czarnego paska na czole; szeroka czarno-biała obroża na szyi; nogi i krótki dziób pomarańczowe. Wokół oczu wąskie żółte i słabo widoczne okulary.	Wierzch ciała szarobrązowy; czarna obroża na szyi otwarta z przodu; nogi i dziób ciemne; brak żółtych okularów wokół oczu.
		

Na podstawie podanych charakterystyk sporządź prosty klucz do oznaczania sieweczek.

6. (0–2 pkt)

Pokrzyk wilcza jagoda (*Atropa belladonna* L.) to jedna z najsilniej trujących roślin w Polsce. Ma wiele nazw zwyczajowych, np. wilcza wiśnia, wilcza jagoda czy belladonna. Należy do rodziny psiankowatych, do której zalicza się także takie gatunki, jak: ziemniak, bakłażan, papryka czy pomidor.

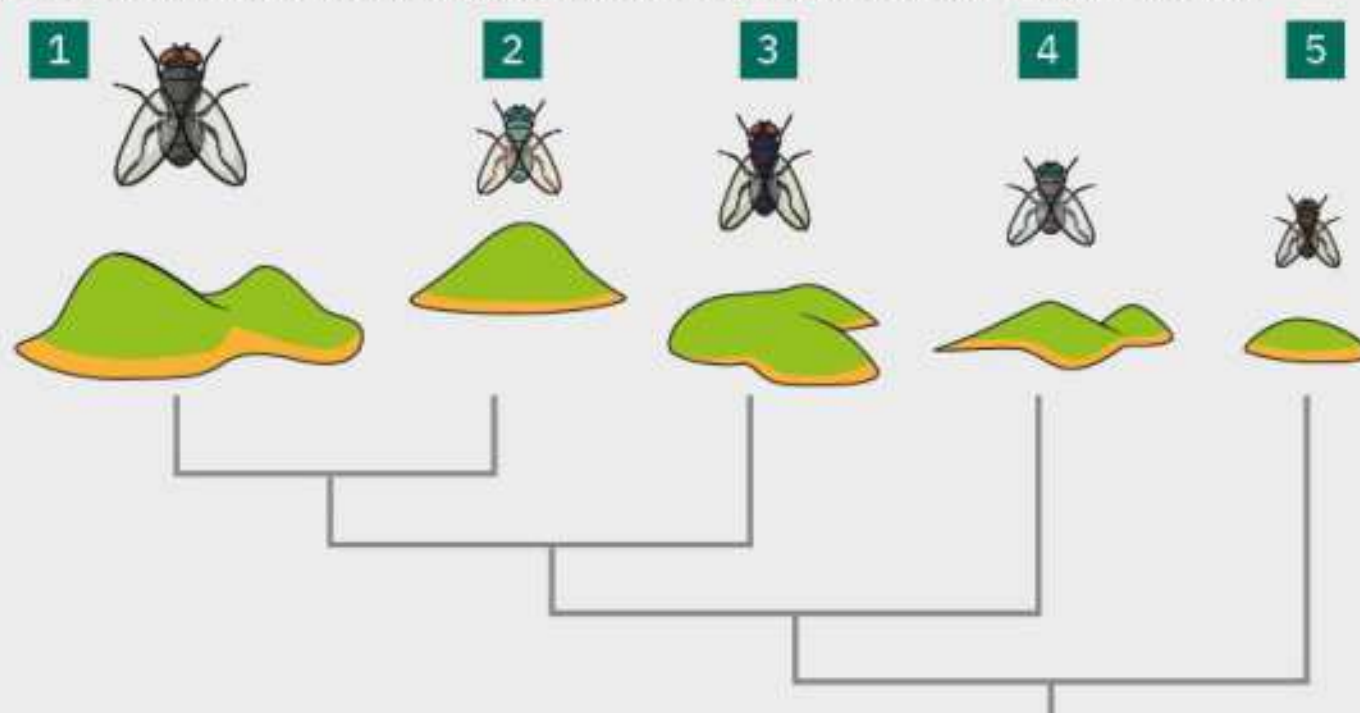
6.1. Na podstawie powyższego tekstu oceń prawdziwość poniższych stwierdzeń. Wybierz P, jeśli zdanie jest prawdziwe, lub F, jeśli jest fałszywe. Zadanie wykonaj w zeszycie.

Stwierdzenie	P/F
1. <i>Atropa</i> to łacińska nazwa gatunkowa pokrzyku wilczej jagody.	...
2. Pokrzyk wilcza jagoda ma wiele zwyczajowych nazw łacińskich.	...
3. L. w nazwie łacińskiej pokrzyku wskazuje na jego odkrywcę.	...
4. Pokrzyk wraz z pomidorem i papryką należą do tego samego rodzaju.	...

6.2. Do ilu jednostek systematycznych możesz przyporządkować pokrzyk wilczą jagodę na podstawie powyższego tekstu? Wymień je w zeszycie i uszereguj.

7. (0–2 pkt)

Na poniższej rycinie przedstawiono kladogram pokrewieństwa populacji muchy domowej.



7.1. Wyjaśnij, jaką grupę tworzą taksony 1 i 2, a jaką grupę – taksony 2, 4 i 5.

7.2. Wskaż wspólnego przodka dla taksonów 1–5.

8. (0–1 pkt)

Wskaż, która z podanych nauk zajmuje się rekonstrukcją ewolucyjnego pokrewieństwa organizmów pochodzących od wspólnego przodka.

- A. taksonomia
- B. systematyka
- C. filogenetyka
- D. biologia molekularna

9. (0–2 pkt)

Przeczytaj poniższy tekst, a następnie wykonaj polecenia.

W 2015 roku naukowcy na podstawie danych morfologicznych i molekularnych opisali nowy gatunek traszki krokodylowatej występujący na terenie Wietnamu i Tajlandii. Populacja *Tylotriton anguliceps* sp. nov. odróżnia się od wszystkich innych jasnymi do ciemnopomarańczowych plamami na głowie, ciele i ogonie, widocznymi grzbietowymi i grzbietowo-bocznymi guzkami gruczołowymi na głowie, szkieletowym połączeniem między szczękami oraz unikatowymi sekwencjami w mitochondrialnym i jądrowym DNA. Badania filogenetyczne wykazały, że nowy gatunek jest blisko spokrewniony z *T. Uyenoi*, *T. shanjiang*, *T. verrucosus* i *T. yang*.

Źródło: opracowanie własne.

9.1. Sformułuj problem badawczy, która przyświecał wietnamskim badaczom.

9.2. Uzasadnij, dlaczego przy opisywaniu nowych gatunków należy brać pod uwagę zbiór wielu cech.



II. Wirusy – najprostsze formy materii nieożywionej

- ▶ 1. Budowa wirusów
- ▶ 2. Namnażanie się wirusów
- ▶ 3. Klasyfikacja i pochodzenie wirusów

1. Budowa wirusów

NA TEJ LEKCJI:

- dowiesz się, jak są zbudowane wirusy;
- poznasz różne formy wirusów.

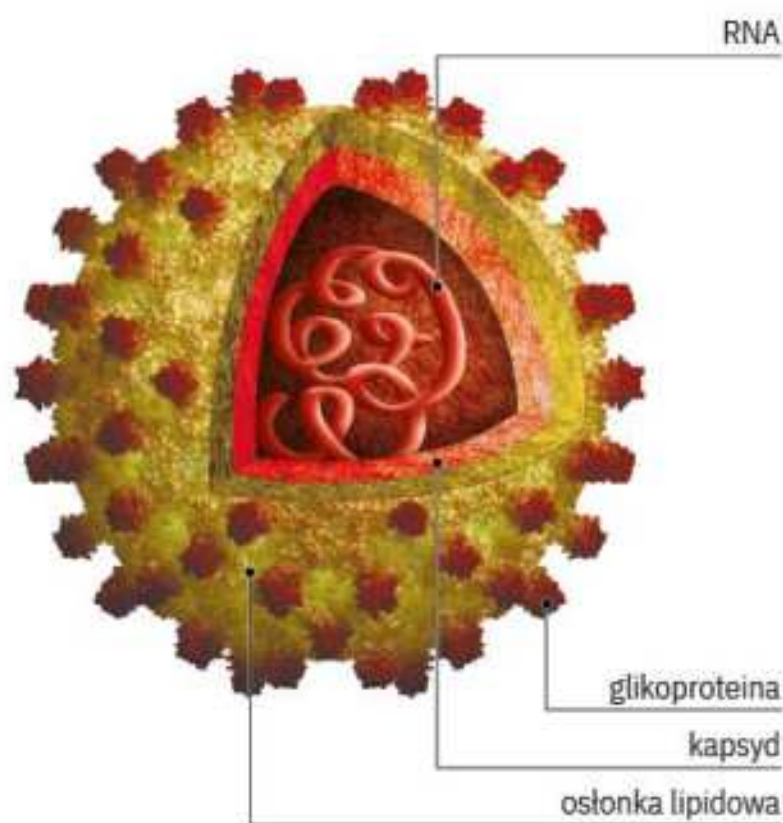
wirusy –
bezkomórkowe
formy

pasożytnictwo
w komórkach
gospodarza

budowa wirusów

Wirusy klasyfikuje się na pograniczu materii żywej i nieożywionej. Są to bardzo małe formy o długości od kilku do kilkuset nanometrów ($1 \text{ nm} = 0,000001 \text{ mm}$). Nie można ich zaliczyć do organizmów żywych, ponieważ **nie mają budowy komórkowej** ani nie wykazują cech metabolizmu, takich jak odżywianie, oddychanie czy wydalanie. Przez długi czas wirusy traktowano jako nieożywione cząstki. Jednak obecność kwasu nukleinowego niezbędnego do replikacji pozwala im się **namnażać wyłącznie w żywych komórkach – gospodarza**.

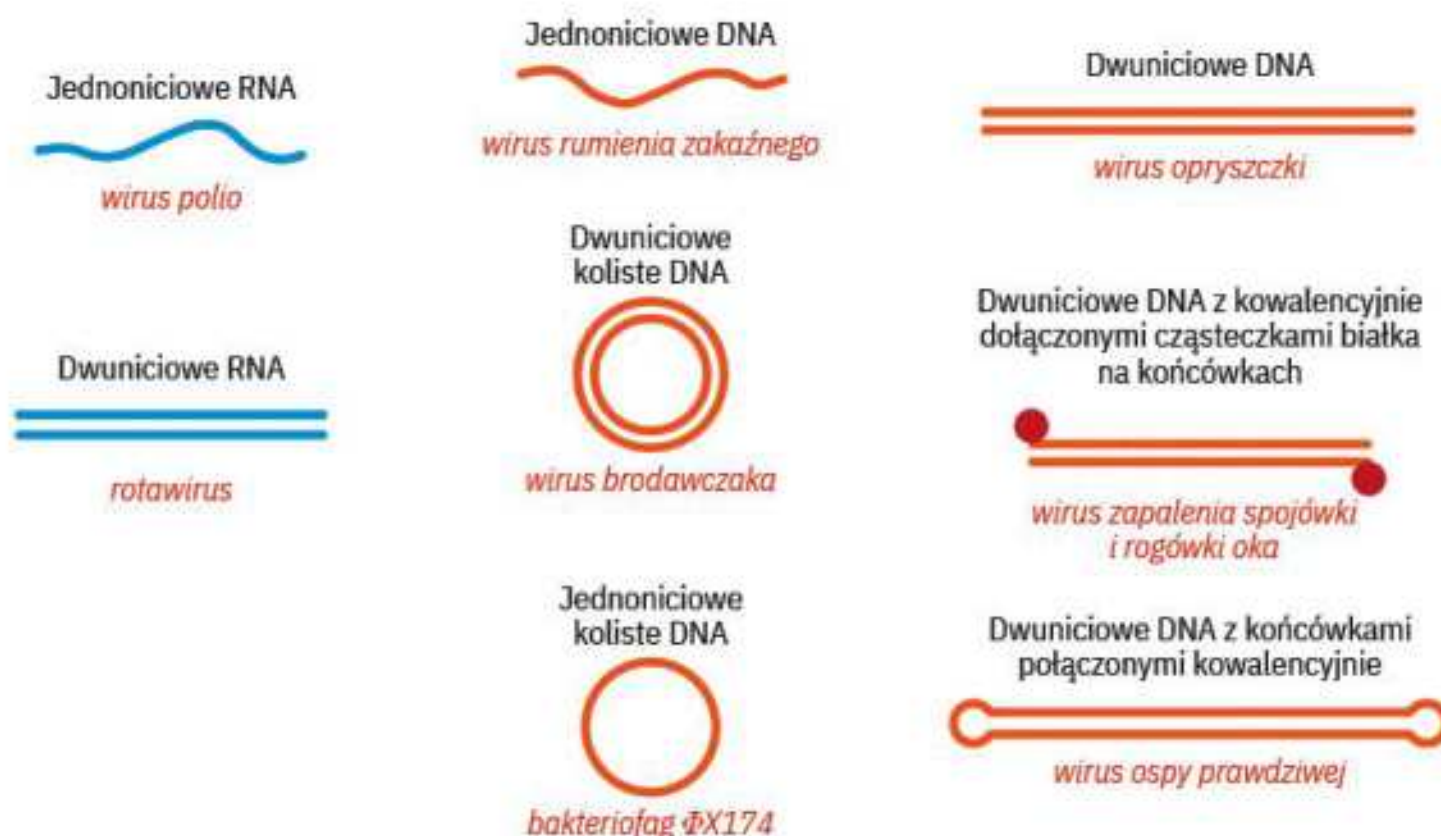
Pojedynczą, dojrzałą cząsteczkę wirusa zdolną do zarażania nazywamy **wirionem**. **W skład wirionu wchodzi** materiał genetyczny w postaci kwasu nukleinowego – DNA albo RNA (zawsze jeden rodzaj, nigdy oba jednocześnie) (**ryc. II.1.1.**).



Ryc. II.1.1. Schemat budowy wirusa grypy.

genom wirusa ▶ **Kwasy nukleinowe** mogą występować w różnych postaciach: jednoliciowego RNA, dwuliciowego RNA, jednoliciowego DNA liniowego, jednoliciowego DNA kolistego, dwuliciowego DNA liniowego i dwuliciowego DNA kolistego (**ryc. II.1.2.**). W kwasach nukleinowych znajduje się informacja genetyczna w postaci od kilku (u najprostszych wirusów) do kilkuset genów (u tych najbardziej skom-

plikowanych). Materiał genetyczny wirusa koduje białka kapsydu oraz enzymy, które są niezbędne do ekspresji jego genów w komórce gospodarza, a także do replikacji genomu.

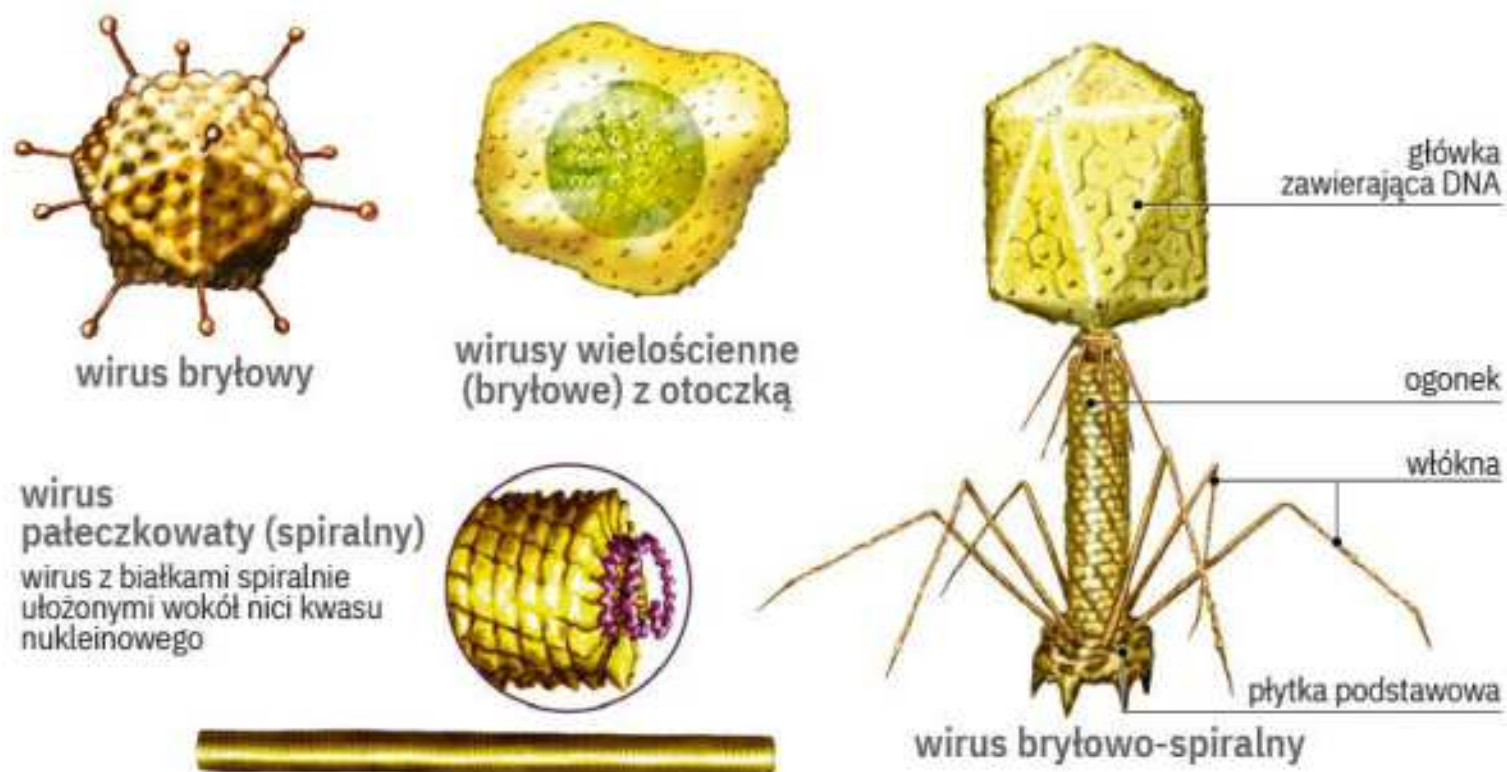


Ryc. II.1.2. Zróżnicowanie materiału genetycznego wirusów.

W skład każdego wirionu wchodzi także białkowa otoczka – **kapsyd** – zbudowana z podjednostek polipeptydowych zwanych **kapsomerami**. Chroni ona materiał genetyczny wirusa przed działaniem czynników zewnętrznych, a także nadaje kształt wirionom (ryc. II.1.3.). Kapsydy wirusów przybierają różne formy. Najczęściej spotykane to formy bryłowe i spiralne (pałeczkowate) (ryc. II.1.3.). Spotykane są też formy bryłowo-spiralne u bakteriofagów, czyli wirusów atakujących komórki bakterii.

Niektóre wirusy, np. wirus grypy czy HIV, mają dodatkową zewnętrzną **osłonkę lipidową**, która powstaje z błony komórkowej gospodarza podczas uwalniania wirionów. Znajdują się na niej liczne wyrostki kapsydu wirusa – **glikoproteiny**. Odnajdują one specjalne miejsca na błonie komórkowej gospodarza – tzw. receptory – które pozwalają im na wniknięcie do wnętrza komórki. Przeciwnie glikoproteinom wirusa – antygenom – organizm gospodarza wytwarza właściwe przeciwciała.

Wirion bakteriofaga składa się z główki z **materiałem genetycznym** (kwas DNA lub RNA) oraz kurczliwego ogonka (w postaci spiralnej struktury, ryc. II.1.3.). Ogonek jest połączony z główką za pomocą białka łącznikowego. Na końcu ogonka znajduje się płytki podstawowa, w którą są wbudowane białka enzymatyczne rozkładające ścianę komórkową bakterii. Od płytki podstawowej odchodzi sześć nitkowatych wypustek, którymi bakteriofag przymocowuje się do powierzchni komórek bakterii.



Ryc. II.1.3. Różne formy wirusów.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wytłumacz, dlaczego wirusy określamy jako bezkomórkowe formy materii.
2. Wyjaśnij, w jaki sposób wirusy przystosowały się do bezwzględnego pasożytowania w komórkach bakterii, roślin i zwierząt.
3. Jednym z kryteriów klasyfikacji wirusów jest rodzaj materiału genetycznego. Przedstaw w postaci tabeli podział wirusów ze względu na rodzaj kwasu nukleinowego. Uwzględnij liczbę nici w poszczególnych kwasach.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- s. 28 ▶ • Wirusy to **bezkomórkowe formy**, które wykazują cechy materii żywej i nieożywionej.
- s. 28 ▶ • Wirusy **pasożytują** w komórkach roślinnych, zwierzęcych i bakteryjnych.
- s. 28 ▶ • Wirus **składa się z kwasu nukleinowego** (zawsze tylko jednego rodzaju) otoczonego białkowym kapsydem, czasami z otoczką wyposażoną w białka wirusowe, za pomocą których wirus wnika do komórki gospodarza.
- s. 28 ▶ • **Genom wirusa** składa się z jednociowych lub dwunociowych cząsteczek DNA albo RNA.

2. Namnażanie się wirusów

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz sposoby namnażania wirusów;
- prześledzisz cykle infekcyjne wirusów.

Wirusy jako bezkomórkowe pasożyty mają zdolność tworzenia własnych kopii wyłącznie wewnątrz żywych komórek. W związku z tym mówimy o **namnażaniu wirusów**, a nie o rozmnażaniu, które jest funkcją wszystkich organizmów żywych. Podczas namnażania powstają nowe wiriony zdolne do infekowania komórek. Czasami podczas tego procesu dochodzi do pewnych nieprawidłowości, które są przyczyną zmienności antygenowej wirusów, co utrudnia wykrywanie i zwalczanie infekcji wirusowych. Wirus po wnikięciu do komórki gospodarza podporządkowuje sobie jej aparat metaboliczny oraz wykorzystuje jej enzymy i energię do syntezy własnych składników – białek i materiału genetycznego. **Wirusy roślinne i zwierzęce wnikają w całości** do komórek gospodarza, natomiast **bakteriofagi wstrzykują materiał genetyczny**, a cały kapsyd pozostawiają na zewnątrz komórki bakterii. Bakteriofagi odznaczają się **dużą specyficznością**, czyli określony bakteriofag jest zdolny do infekcji tylko jednego gatunku bakterii (czy nawet szczepu), np. bakteriofag T4 pasożytuje wyłącznie w komórkach bakterii *Escherichia coli* (czyt. eszericha koli).

◀ namnażanie się wirusów

Cykle infekcyjne wirusów

I. Na przykładzie bakteriofagów

Bakteriofagi przechodzą dwa cykle infekcyjne: cykl lityczny oraz cykl lizogeniczny. **Cykl lityczny** prowadzi do śmierci komórki gospodarza. Następuje zarażenie komórki bakterii i po namnożeniu się nowych bakteriofagów komórka ulega rozpadowi, czyli **lizie**, a uwolnione bakteriofagi atakują następne bakterie. Bakteriofagi, które przechodzą wyłącznie cykl lityczny, nazywamy fagami zjadliwymi. Przykładem faga zjadliwego jest bakteriofag T4 (**ryc. II. 2.1.**).

◀ bakteriofagi

◀ cykl lityczny

Podczas **cyklu lizogenicznego** materiał genetyczny bakteriofaga namnaża się, a następnie zostaje włączony do genomu komórki gospodarza i podczas kolejnych podziałów komórkowych jest przekazywany do komórek potomnych, ale nie powoduje ich rozpadu. Taką postać nieczynnego materiału genetycznego wirusa nazywamy **profagiem**. Może on funkcjonować przez długi czas, będąc w stanie uśpionym, nie wywołując żadnych objawów infekcji. Bakteriofagi przechodzące cykl lizogeniczny nazywamy **fagami łagodnymi**. Przykładem faga łagodnego jest bakteriofag λ (lambda). Kiedy na komórkę gospodarza działają niekorzystne czynniki, np. wysoka temperatura, intensywne promieniowanie ultrafioletowe, profag może się uaktywnić i przejść w cykl lityczny, stając się fagiem zjadliwym. Przejście do cyklu litycznego kończy się śmiercią komórki bakterii.

◀ cykl lizogeniczny

1. Absorpcja

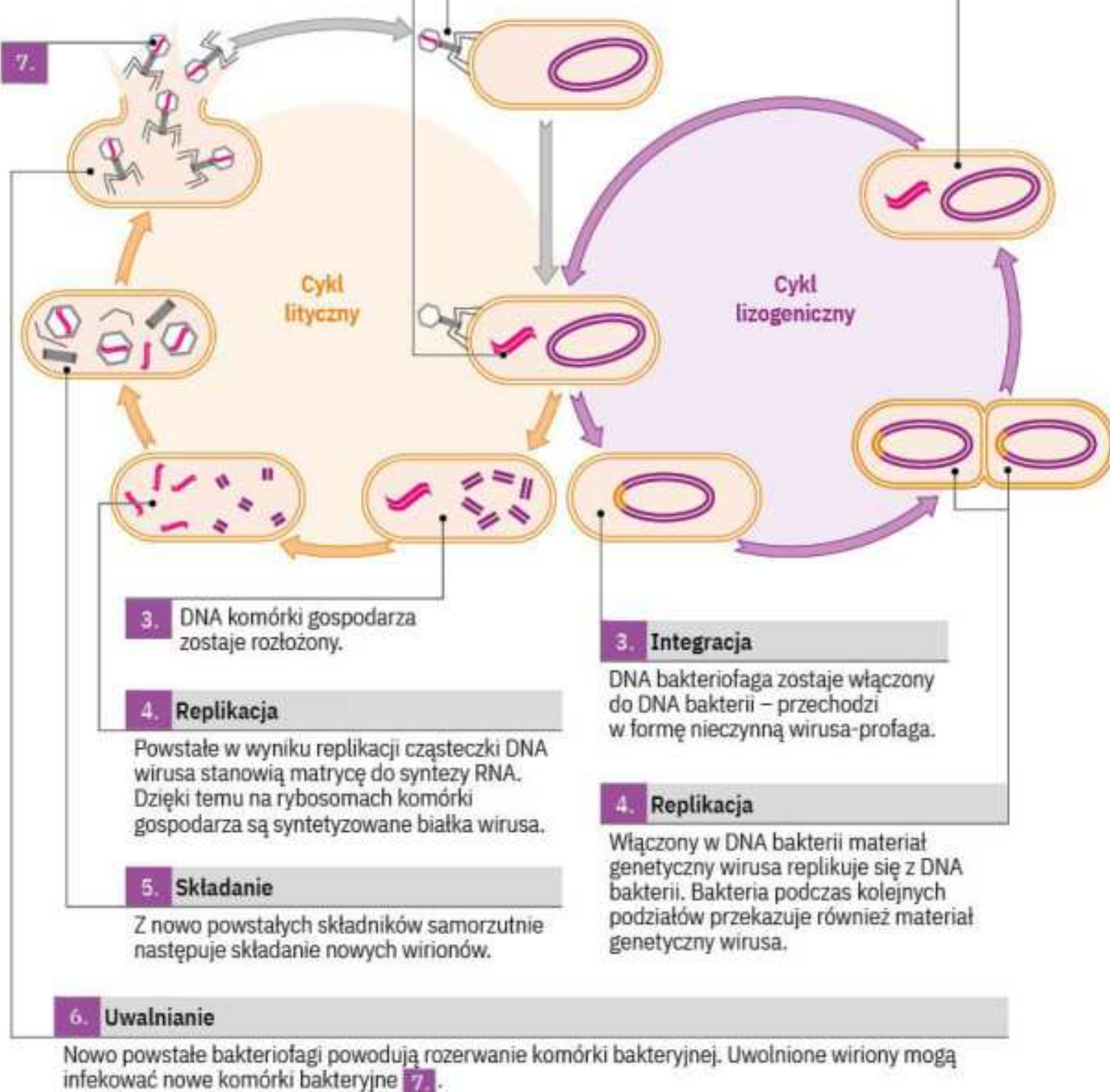
Bakteriofag rozpoznaje receptory na powierzchni komórek bakterii. Następuje połączenie receptora bakteryjnego z bakteriofagiem.

2. Wnikanie

Białka znajdujące się u nasady ogonka rozpuszczają ścianę komórkową bakterii. Materiał genetyczny wirusa (DNA) przez ogonek zostaje wprowadzony do wnętrza komórki bakteryjnej, a pozostałe elementy bakteriofaga pozostają na zewnątrz i się rozpadają.

5. Przejście profaga w fag

W pewnych warunkach środowiska, kiedy na komórkę działają niekorzystne czynniki czy komórka ulega osłabieniu, następuje wycięcie profaga z materiału genetycznego gospodarza i przejście bakteriofaga w cykl lityczny.



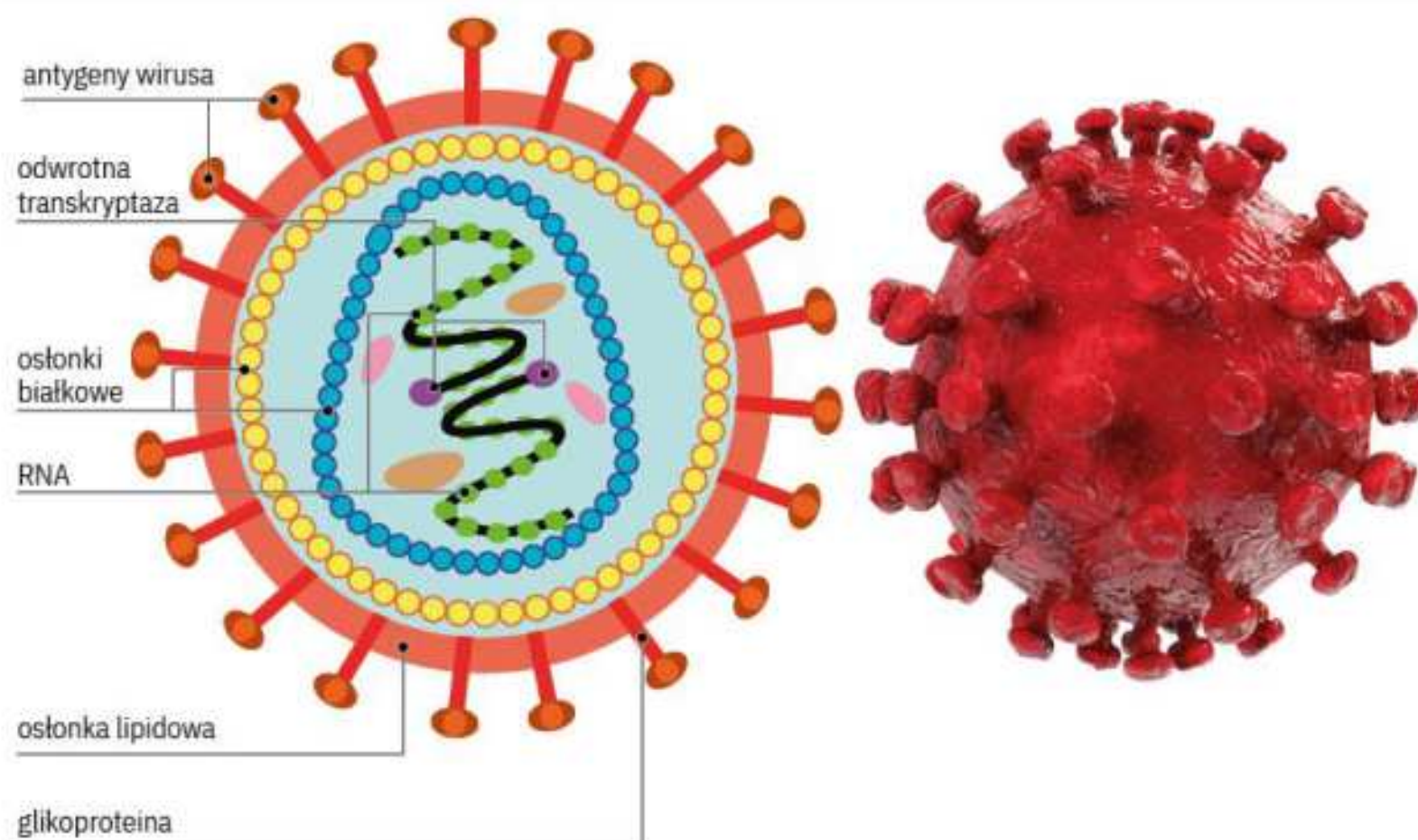
Ryc. II.2.1. Cykle wirusów.

II. Na przykładzie wirusów zwierzęcych RNA

Wirusy zwierzęce, w przeciwieństwie do bakteriofagów, wnikają w całości do komórki gospodarza. Na zewnątrz pozostawiają tylko osłonkę lipidową. Wirusy zwierzęce odznaczają się **wysoką specyficznością**. Pasożytują tylko w określonych komórkach. Wynika to z obecności glikoprotein na powierzchni ich osłonki. **Glikoproteiny** rozpoznają receptory na błonie komórkowej gospodarza i ułatwiają wnikanie wirusa do jego wnętrza. Proces ten wspomaga także osłonka, która łącząc się z błoną komórkową gospodarza, pozwala na przenikanie kapsydu i materiału genetycznego wirusa do komórki. Wirusy zwierzęce pozbawione otoczki przechodzą do cytoplazmy komórki gospodarza na drodze **fagocytozy**.

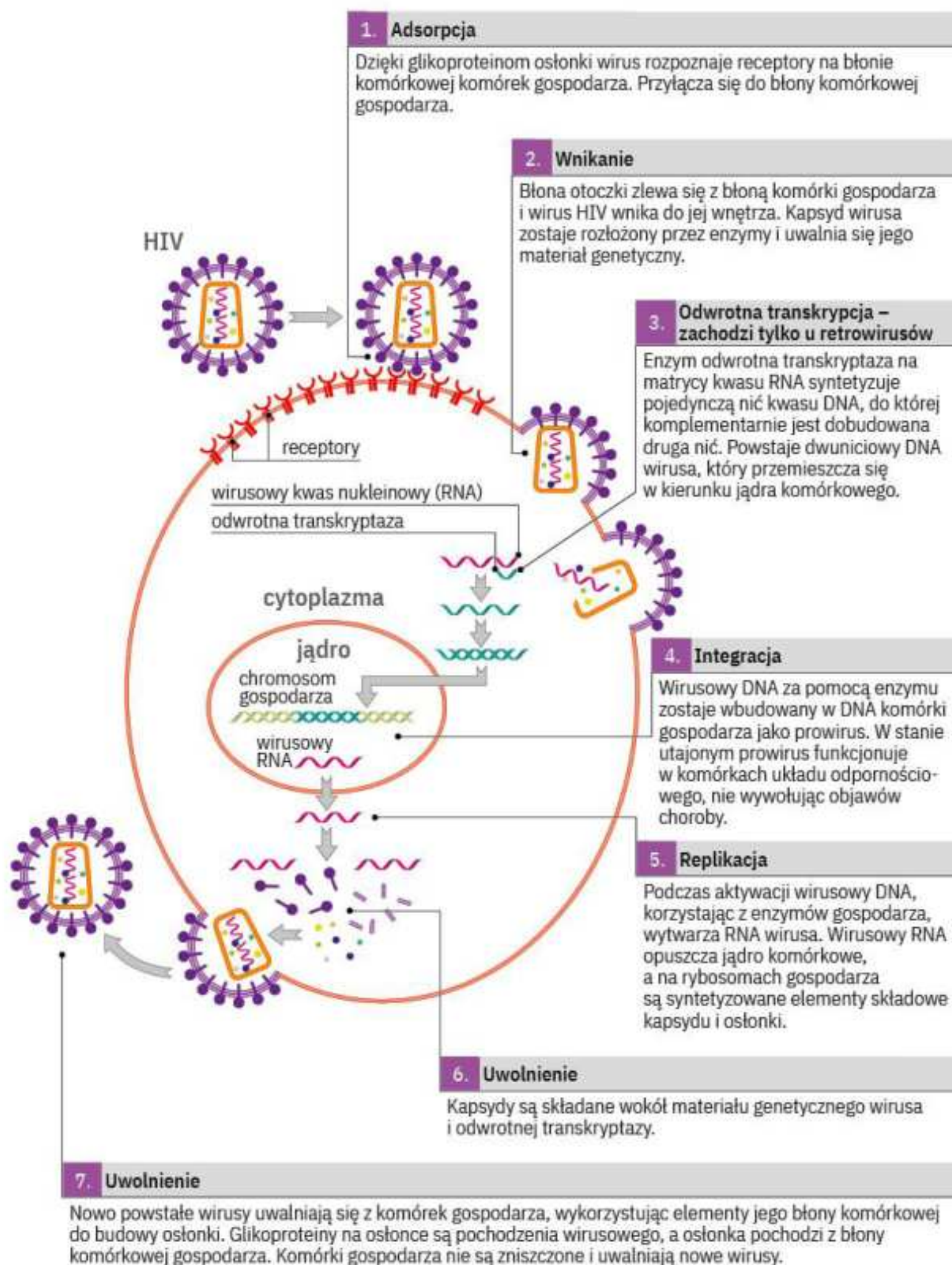
Przykładem wirusa zwierzęcego RNA jest **wirus HIV** (ludzki wirus niedoboru odporności) wywołujący **AIDS** (zespół nabytego niedoboru odporności). Wirus ten należy do **retrowirusów** (*retro* oznacza „wstecz”). Informacja genetyczna tego wirusa jest przepisywana na DNA gospodarza za pomocą enzymu – **odwrotnej transkryptazy**. Kapsyd wirusa jest otoczony osłonką lipidową z glikoproteinami. Z komórek gospodarza powstają lipidy oraz część białek osłonki. W efekcie nie są one rozpoznawane przez komórki układu odpornościowego i wirus może atakować **limfocyty T** – komórki odpowiedzialne głównie za rozpoznawanie obcych antygenów w organizmie (**ryc. II.2.2.**).

◀ wirus HIV
◀ retrowirusy



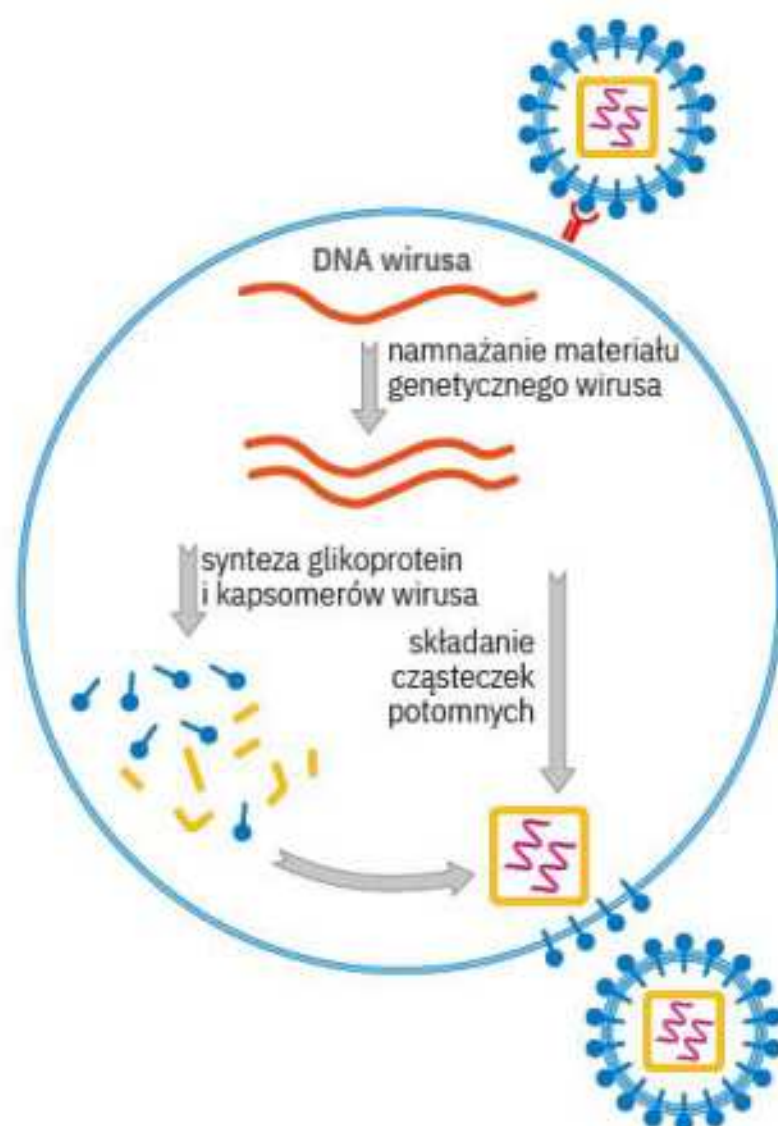
Ryc. II.2.2. Budowa wirusa HIV.

Cykl infekcyjny wirusa HIV jest podobny do cyklu bakteriofagów (ryc. II.2.3.).



Ryc. II.2.3. Cykl wirusa zwierzęcego RNA.

Większość wirusów zwierzęcych zawiera kwas DNA. Glikoproteiny wirusa rozpoznają receptory na błonie komórkowej gospodarza. Ostonka wirusa, łącząc się z błoną komórkową gospodarza, pozwala na dostanie się wirusa do wnętrza komórki gospodarza. W cyklu infekcyjnym materiał genetyczny wirusa zmienia metabolizm komórki gospodarza, która powiela cząsteczki kwasu nukleinowego (**ryc. II.2.4.**). Z białek i materiału genetycznego następuje składanie nowych wirionów. Wiriony są odpączkowsywane w ostonce z błony komórki gospodarza z glikoproteinami wirusa.



Ryc. II.2.4. Schemat cyklu infekcyjnego wirusa zwierzęcego.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Przedstaw pisemnie w zeszycie podobieństwa i różnice między cyklem litycznym i lizogenicznym bakteriofaga.
2. Wyjaśnij, czym różni się proces rozmnażania komórek od namnażania się wirusa.
3. Podaj kryterium wyróżniania retrowirusów. Omów znaczenie enzymu – odwrotnej transkryptazy w procesie namnażania się tych wirusów.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- Wirusy **namnażają się** wyłącznie w komórkach gospodarza. ◀ s. 31
- **Bakteriofagi** mogą się namnażać na dwa sposoby – w cyklu litycznym lub cyklu lizogenicznym. ◀ s. 31
- **Retrowirusy** (np. HIV) wykorzystują enzym – odwrotną transkryptazę – do syntezy swojego genomu w kwas DNA, który integruje się z genomem gospodarza, tworząc prowirus. ◀ s. 33

3. Klasyfikacja i pochodzenie wirusów

NA TEJ LEKCJI:

- zapoznasz się z pochodzeniem i klasyfikacją wirusów;
- poznasz wybrane choroby wirusowe;
- zapoznasz się z innymi bezkomórkowymi czynnikami infekcyjnymi: wiroidami i prionami.

pochodzenie
wirusów

► Pochodzenie wirusów

Istnieje kilka hipotez wyjaśniających pochodzenie wirusów. Jedna z nich zakłada, że wirusy pochodzą z fragmentów kwasów nukleinowych, które uzyskały samodzielność, wydostały się z komórki i przemieszczały się między komórkami przez występujące na ich powierzchni uszkodzenia. Potwierdzeniem tej hipotezy są **transpozony**, czyli wędrujące fragmenty kwasu DNA w materiale genetycznym komórki. Jeśli transpozony zostałyby wyposażone w otoczkę białkową i dostałyby się do żywej komórki, można by je zaklasyfikować do wirusów. Według tego założenia wirusy mogły opuścić komórki roślinne, zwierzęce czy bakteryjne, co tłumaczy ich specyficzność działania. Inna hipoteza przedstawia wirusy jako wynik ewolucji prostych komórek, które przystosowując się do pasożytniczego trybu życia, utraciły większość struktur komórkowych i zdolność przeprowadzania procesów metabolicznych. W wyniku tej ewolucji wirusy stały się bezwzględными pasożytami wewnątrzkomórkowymi. Są to jednak tylko hipotezy, które nie zostały do końca zweryfikowane.

transpozony

znaczenie wirusów

► Znaczenie wirusów

Negatywne

1. Wirusy przyczyniają się do wielu groźnych chorób u ludzi. Niektóre wirusy są przenoszone za pomocą wektorów – innych organizmów, np. wirus zapalenia opon mózgowych jest przenoszony przez kleszcze (**tab. II.3.1.**).
2. Wywołują szereg groźnych chorób u zwierząt i roślin, przez co przyczyniają się do strat w hodowli i uprawie.
3. Bakteriofagi atakujące bakterie wykorzystywane przez człowieka w przemyśle fermentacyjnym i spożywczym przynoszą poważne straty w gospodarce człowieka.
4. Bakteriofagi wywołujące infekcje bakterii uczestniczących w krążeniu azotu w przyrodzie (bakterie brodawkowe asymilujące azot atmosferyczny) przyczyniają się do obniżenia plonów.

Pozytywne

1. W inżynierii genetycznej wirusy są stosowane jako wektory przenoszące zmodyfikowane DNA dawcy do komórek biorców.
2. Wirusy wykorzystuje się do produkcji szczepionek i surowic.
3. Bakteriofagi są używane do zwalczania bakterii chorobotwórczych, szczególnie opornych na działanie antybiotyków.
4. Niektóre wirusy stosuje się w walce biologicznej, np. do zwalczania owadzych szkodników lasów.

Podstawowymi kryteriami **podziału wirusów** są:

1. Rodzaj komórki gospodarza.

Wirusy komórek prokariotycznych to bakteriofagi, a komórek eukariotycznych – to wirusy roślinne i zwierzęce. Przykładem bakteriofagów jest wirus atakujący pałeczkę okrężnicy czy wirus infekujący bakterie z rodzaju *Salmonella* i *Shigella*. Wirusy roślinne to m.in. wirus mozaikowości tytoniu, wirus kędzierzawki truskawek, a zwierzęce – wirus wywołujący nosówkę czy pryszczycę. Przykładami wirusów ludzkich są wirus odry, ospy i brodawczaka ludzkiego.

2. Rodzaj kwasu nukleinowego.

Wirusy w swoim genomie mogą mieć kwas DNA lub RNA. Bakteriofagi mają jednoliciowy lub dwuliciowy DNA albo jednoliciowy RNA. Wirusy roślinne w genomie zawierają tylko RNA (jednoliciowy i dwuliciowy), a zwierzęce – zwykle DNA (jednoliciowy lub dwuliciowy) lub RNA (jednoliciowy lub dwuliciowy).

3. Kształt wirionu oraz obecność lub brak osłonki.

Osłonki z glikoproteinami decydują o specyficzności działania wirusów. Wirusami o wysokiej specyficzności są wirusy zwierzęce, pasożytujące tylko w określonych komórkach, np. wirus polio wywołujący paraliż dziecięcy atakuje wyłącznie komórki nerwowe oraz bakteriofagi.

4. Sposób infekcji komórek gospodarza.

Bakteriofagi wstrzykują materiał genetyczny do wnętrza komórki bakterii, pozostawiając kapsyd na zewnątrz. Natomiast wirusy zwierzęce w całości wnikają do komórki gospodarza. Wirusy roślinne dostają się do komórek roślinnych przez uszkodzenia mechaniczne powstałe w ścianie komórkowej.

Tab. II.3.1. Wybrane choroby wirusowe człowieka

Nazwa choroby	Drogi zarażenia	Objawy	Zapobieganie
Wścieklizna	bezpośredni kontakt ze śliną lub wydalaminami chorego zwierzęcia	zmęczenie, ból głowy, gorączka, halucynacje, po kilku dniach nadmierna pobudliwość, bolesne skurcze mięśni, konwulsje, ślinotok, wodowstręt, paraliż	obowiązkowe szczepienia psów, szczepienia dzikich zwierząt leśnych przez rozrzucanie szczepionek w lasach i na polach

Nazwa choroby	Drogi zarażenia	Objawy	Zapobieganie
AIDS (zespół nabytego upośledzenia odporności)	bezpośredni kontakt z krwią osoby chorej, kontakty seksualne z osobami zarażonymi, transfuzje krwi, zarażenie dziecka przez chorą matkę podczas ciąży, porodu lub karmienia piersią	pierwsze objawy przypominające grypę, drugi etap trwający nawet kilkanaście lat bezobjawowy, kolejny to okres pełnoobjawowy: osłabienie układu odpornościowego, co skutkuje wzrostem zachorowań na niektóre typy nowotworów (np. nowotwór złośliwy skóry – mięsak Kaposiego), zapalenie płuc, gruźlicę, grzybicę	zachowanie zasad higieny, unikanie ryzykownych zachowań seksualnych, używanie prezerwatyw, stosowanie jednorazowych strzykawek, sterylizacja sprzętu medycznego
Grypa wirus A – zaraża ptaki, świnie, konie i człowieka wirus B – zaraża człowieka wirus C – zaraża człowieka i świnie	droga kropelkowa (oddechowa)	bóle głowy, mięśni i stawów, dreszcze, wysoka gorączka, kaszel, katar; może prowadzić do wystąpienia powikłań, takich jak zapalenie oskrzeli, płuc, mięśnia sercowego, u osób starszych może doprowadzić do śmierci	szczepienia ochronne, unikanie kontaktu z chorymi ludźmi i zwierzętami, dużych skupisk ludzkich
Odra	droga kropelkowa (oddechowa)	choroba wieku dziecięcego (3–5 lat), pierwsze objawy to ból gardła, zapalenie błony śluzowej nosa i spojówek, wysoka gorączka, następnie pojawia się charakterystyczna różowa wysypka, a czasami objawy zapalenia oskrzeli i płuc	szczepienia ochronne, unikanie kontaktu z chorymi
Ospa wietrzna	droga kropelkowa (oddechowa), bezpośredni kontakt z osobą chorą	choroba wieku dziecięcego; może pojawić się u osób dorosłych w znacznie cięższej postaci, wysoka gorączka, ból głowy, charakterystyczna swędząca wysypka na skórze i rzadziej na błonach śluzowych	szczepienia ochronne, unikanie kontaktu z chorymi
Różyczka	droga kropelkowa	choroba wieku dziecięcego; może pojawić się u osób dorosłych w znacznie cięższej postaci, szczególnie niebezpieczna dla kobiet w ciąży (wirus powoduje wady rozwojowe płodu), powiększenie węzłów chłonnych, białoróżowa wysypka, gorączka	szczepienia ochronne dzieci, dziewcząt, kobiet w wieku rozrodczym

Nazwa choroby	Drogi zarażenia	Objawy	Zapobieganie
Świnka	droga kropelkowa	choroba wieku dziecięcego; ból głowy i mięśni, gorączka, obrzęk i ból ślinianek przyusznych, u nastolatków i dorosłych mężczyzn może jako powikłanie doprowadzić do zapalenia jąder, co grozi bezpłodnością	szczepienia ochronne, unikanie kontaktu z chorymi
Polio (choroba Heinego-Medina, wirusowe zapalenie rogów przednich rdzenia kręgowego, ostre nagminne porażenie dziecięce)	droga pokarmowa lub kropelkowa	choroba wieku dziecięcego, zaburzenia pracy układu nerwowego, zapalenie opon mózgowo-rdzeniowych, zapalenie mózgu, porażenie kończyn, często przebiega bezobjawowo	szczepienia ochronne
Zakażenie wirusem HPV (brodawczaka ludzkiego)	droga płciowa, bezpośredni kontakt z naskórkiem chorego	zmiany na skórze i błonach śluzowych, kurczaki, brodawki, rak szyjki macicy	szczepienia ochronne dziewcząt i młodych kobiet, stosowanie prezerwatyw, unikanie kontaktu z zarażonym naskórkiem (szczególna ostrożność na basenach, prysznicach, pływalniach – noszenie ochronnego obuwia)
Wirusowe zapalenie wątroby typu A (WZW typu A, choroba brudnych rąk)	droga pokarmowa	bóle głowy, osłabienie, nudności, wymioty, gorączka, bóle brzucha, mięśni i stawów, czasem żółtaczka jako objaw zapalenia wątroby (zażółcenie białkówki oczu, skóry i błon śluzowych), nie stanowi zagrożenia życia	szczepienia ochronne, zachowanie podstawowych zasad higieny
Wirusowe zapalenie wątroby typu B (WZW typu B, żółtaczka wszczeniowa)	bezpośredni kontakt z krwią chorego, transfuzja krwi, zabiegi medyczne, możliwość zarażenia płodu przez chorą matkę podczas porodu, kontakty seksualne	objawy podobne jak przy WZW typu A, w postaci przewlekłej prowadzi do żółtaczki, marskości wątroby, a nawet do śmierci	szczepienia ochronne

Nazwa choroby	Drogi zarażenia	Objawy	Zapobieganie
Wirusowe zapalenie wątroby typu C (WZW typu C)	głównie kontakt z krwią chorego, rzadko kontakty seksualne	głównie przebiega bezobjawowo, prowadzi do marskości wątroby lub pierwotnego raka wątroby	unikanie kontaktu z krwią zakażoną wirusem, brak skutecznej szczepionki
Gorączka krwotoczna	ukąszenia przez komary czy kleszcze, droga kropelkowa, kontakt z osobami chorymi	wysoka gorączka, dreszcze, bóle mięśni i stawów, krwotoki wewnętrzne, krwawienia z błon śluzowych, zaburzenia krzepliwości krwi, niektóre typy gorączki mogą prowadzić do śmierci	przestrzeganie higieny, ochrona przed ukąszeniem przez owady, unikanie kontaktów z osobami chorymi
Zespół ostrej ciężkiej niewydolności oddechowej (SARS)	droga kropelkowa, kontakt z osobami chorymi	gorączka, osłabienie, bóle mięśni, zaburzenia żołądkowo-jelitowe, kaszel, ból gardła, duszności, nietypowe zapalenie płuc	brak skutecznych środków w leczeniu choroby, unikanie kontaktów z osobami chorymi

Leczenie chorób wirusowych

Choroby wirusowe nie powinny być leczone za pomocą antybiotyków antybakteryjnych. Ich stosowanie może obniżyć odporność organizmu i wywołać negatywne skutki uboczne. Znaczna część ludzkich chorób wirusowych jest zwalczana przez układ odpornościowy. Organizm produkuje białko odpornościowe – **interferon**, które hamuje namnażanie się wirusów w komórkach. Ważną funkcję spełnia lekkostrawna dieta, duża ilość płynów i odpoczynek. Skuteczną metodą walki z wirusami są **szczepionki**. Są to preparaty zawierające żywe, o osłabionej zjadliwości lub zabite drobnoustroje albo ich fragmenty czy produkty przemiany materii. Działają one stymulująco na układ odpornościowy, który produkuje odpowiednie przeciwciała przeciw określonemu drobnoustrojowi. Dzięki szczepionkom w XX w. zostało całkowicie wyeliminowanych wiele chorób wirusowych, np. choroba Heinego-Medina. Szczepienia ochronne dzieci i młodzieży pozwoliły na zmniejszenie zachorowalności na wiele ciężkich i groźnych chorób wirusowych wieku dziecięcego.

Szczególnie ważne są szczepienia przeciw wirusom o dużej zdolności do mutacji materiału genetycznego. Przykładem jest wirus grypy, który może wywołać **grypę pandemiczną** – występującą co kilkanaście lub kilkadziesiąt lat w postaci **epidemii** (duża zachorowalność w określonym czasie na danym terenie) na całym świecie, np. grypa świńska czy ptasia grypa. W związku z tworzeniem nowych odmian przez wirusa grypy zaleca się szczepienia ochronne co roku.

Wiroidy i priony

Wiroidy są kolistymi cząsteczkami jednoniciowego RNA. Nie mają na zewnątrz białkowej osłonki. Przeprowadzają replikację, podczas której korzystają z enzymów komórki gospodarza. Wiroidy atakują rośliny, wywołując wiele chorób, np. wrzecionowatość bulw ziemniaka, smugowatość liści lucerny. ◀ wiroidy

Priony to zakaźne cząsteczki białka. Są one syntetyzowane przez geny znajdujące się w materiale genetycznym wielu organizmów, np. wszystkich ssaków, ptaków, niektórych owadów, a nawet w komórkach drożdży. Pod wpływem nieznanych dotychczas czynników białka te zmieniają swoją strukturę przestrzenną z α -helisy na strukturę β -kardki, stając się cząsteczkami infekcyjnymi. Priony wywołują ciężkie choroby układu nerwowego zwierząt – encefalopatie gąbczaste (choroba szalonych krów BSE, choroba scrapie u owiec i kóz) i chorobę Creutzfeldta-Jakoba (czyt. krojcfelda-jakoba), zwaną przedwczesnym otępieniem mózgowym oraz kuru („śmiejąca się śmierć”) u człowieka. Priony są prawdopodobnie przenoszone drogą pokarmową. Człowiek może się zarazić, zjadając mięso zarażonych zwierząt. Priony są bardzo odporne na zniszczenie, nie giną nawet podczas gotowania. Dotychczas nie ma skutecznej terapii farmakologicznej zwalczającej te cząsteczki. ◀ priony

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Przedstaw pisemnie w zeszycie różnice w rozprzestrzenianiu się chorób wirusowych roślin, zwierząt i człowieka.
2. Wyjaśnij, dlaczego przeciw wirusowi grypy należy się szczepić co roku.
3. Wytlumacz, z jakiego powodu w niektórych schorzeniach wywołanych przez wirusy stosuje się kuracje antybiotykami.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- **Wirusy powstały** prawdopodobnie z fragmentów komórkowych kwasów nukleinowych lub z prostych komórek, które przystosowały się do bezwzględnego pasożytnictwa i utraciły większość struktur komórkowych. ◀ s. 36
- Wirusy mają **znaczenie negatywne** (choroby wirusowe roślin, zwierząt i człowieka) oraz **pozytywne** (wektory w inżynierii genetycznej, produkcja szczepionek i surowic, walka biologiczna ze szkodnikami). ◀ s. 36
- Walka z wirusami polega na stosowaniu **szczepionek**. ◀ s. 40
- Oprócz wirusów istnieją bezkomórkowe, najprostsze czynniki zakaźne: złożone tylko z RNA – **wiroidy** – i wyłącznie z białka – **priony**. ◀ s. 41

PODSUMOWANIE PRZED SPRAWDZIANEM

s. 28 ► Cechy wirusów świadczące o ich przynależności do materii żywej i nieożywionej

Cechy wirusów	
przynależność do materii ożywionej	przynależność do materii nieożywionej
• zbudowane z kwasów nukleinowych, białek i lipidów • po wnikięciu do komórki gospodarza mogą się namnażać, wykorzystując enzymy i energię komórki do syntezy własnych składników • wykazują zmienność mutacyjną • podlegają mechanizmom ewolucji	• nie mają budowy komórkowej • nie wykazują czynności życiowych, ponieważ nie mają własnego układu enzymatycznego niezbędnego do przekształcania energii koniecznej do syntezy białek i powielania materiału genetycznego • poza komórką gospodarza tworzą krystaliczne agregaty

s. 41 ► Bezkomórkowe formy zakaźne

Wirusy	Wiroidy	Priony
Formy zbudowane z materiału genetycznego otoczonego białkową otoczką, zdolne do namnażania wewnątrz komórki gospodarza	Zakaźne koliste cząsteczki jednoniciowego DNA zdolne do replikacji z wykorzystaniem enzymów komórki gospodarza	Zakaźne cząsteczki białka o zmienionej strukturze przestrzennej

s. 29 ► Porównanie wirusów roślinnych, zwierzęcych i bakteriofagów

Cecha	wirusy roślinne	wirusy zwierzęce	bakteriofagi (fagi)
Kształt wirionu	pateczkowaty (spiralny)	wielościenny (bryłowy)	bryłowo-spiralny
Rodzaj kwasu nukleinowego	RNA (jednoniciowy lub dwuniciowy)	zwykle DNA (jednoniciowy – rzadko lub dwuniciowy), rzadziej RNA (jednoniciowy lub dwuniciowy)	DNA (jednoniciowy lub dwuniciowy) lub jednoniciowy RNA
Sposób infekcji	przechodzą przez uszkodzenia mechaniczne ściany komórkowej i przemieszczają się między komórkami za pomocą plazmodesmów	wnikają w całości do komórki gospodarza, pozostawiając osłonkę u niektórych	wstrzykują tylko materiał genetyczny do komórki gospodarza, pozostawiając kapsyd na zewnątrz



Cecha	wirusy roślinne	wirusy zwierzęce	bakteriofagi (fagi)
Przykłady	• wirus mozaiki tytoniu, grochu, ogórka • wirus smugowatości ziemniaków, pomidorów • wirus kędzierzawki truskawek, ziemniaków • wirus ospowatości śliwy • wirus żółtaczki buraka	zwierzęta • wirus nosówki (RNA) • wirus pryszczycy (RNA) • wirus wścieklizny (RNA) człowiek • wirusy RNA: grypy, odry, polio, świnki, różyczki, HIV, wścieklizny, żółtej febry, SARS, wirusowe zapalenie wątroby typu A i C, wirus gorączki krwotocznej, wirusy onkogenne • wirusy DNA: oспа prawdziwa i wietrzna, półpasiec, opryszczka, wirusowe zapalenie wątroby typu B, mononukleozę, wirus opryszczki, wirus brodawczaka ludzkiego, wirusy onkogenne	• bakteriofagi DNA • bakteriofag T₄ i bakteriofag λ pasożytujące w komórkach pałeczki okrężnicy <i>Escherichia coli</i>

BLOK ĆWICZENIOWY

1. (0–2 pkt)

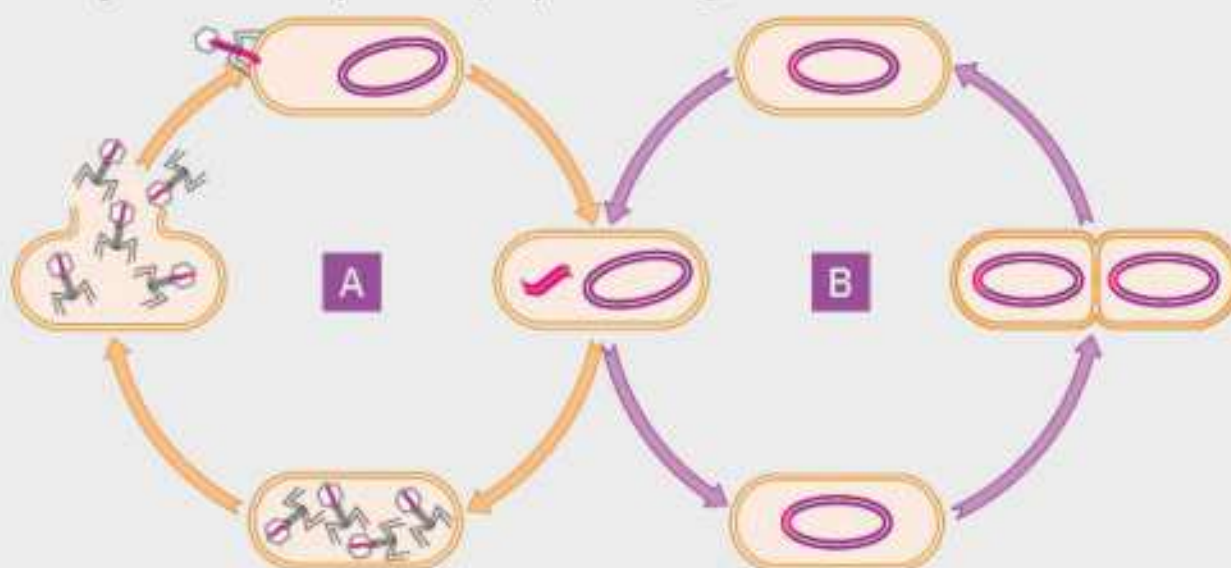
Wirusy są uważane za formy przejściowe między materią żywą i nieożywioną.

Przerysuj tabelę do zeszytu i ją uzupełnij. Określ, wstawiając znak X w odpowiednim polu, czy dana cecha jest cechą materii żywej, czy martwej.

Cecha	żywe	martwe
Nie przeprowadzają własnego metabolizmu.	...	...
Nie mają budowy komórkowej.	...	...
Mają zdolność do mutacji.	...	...
Podlegają ewolucji.	...	...

2. (0–2 pkt)

Na schemacie przedstawiono cykl rozwojowy bakteriofaga.

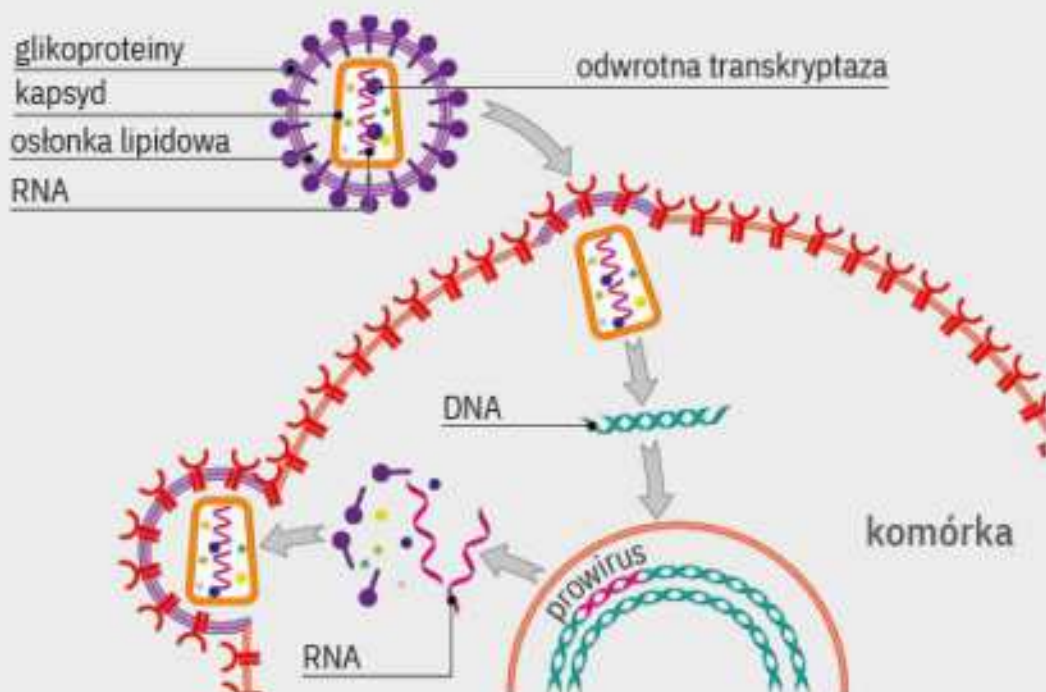


Wskaż, który cykl ma charakter lityczny, a który – lizogeniczny. Uzasadnij swój wybór.

3. (0–1 pkt)

Schemat przedstawia namnażanie się wirusa w komórce gospodarza.

Wyjaśnij, jaką funkcję pełni enzym odwrotna transkryptaza w namnażaniu się wirusa.





III. Bakterie – jednokomórkowe organizmy bezjądrowe

- ▶ 1. Charakterystyka bakterii
- ▶ 2. Czynności życiowe bakterii
- ▶ 3. Klasyfikacja bakterii
- ▶ 4. Choroby bakteryjne człowieka

1. Charakterystyka bakterii

NA TEJ LEKCJI:

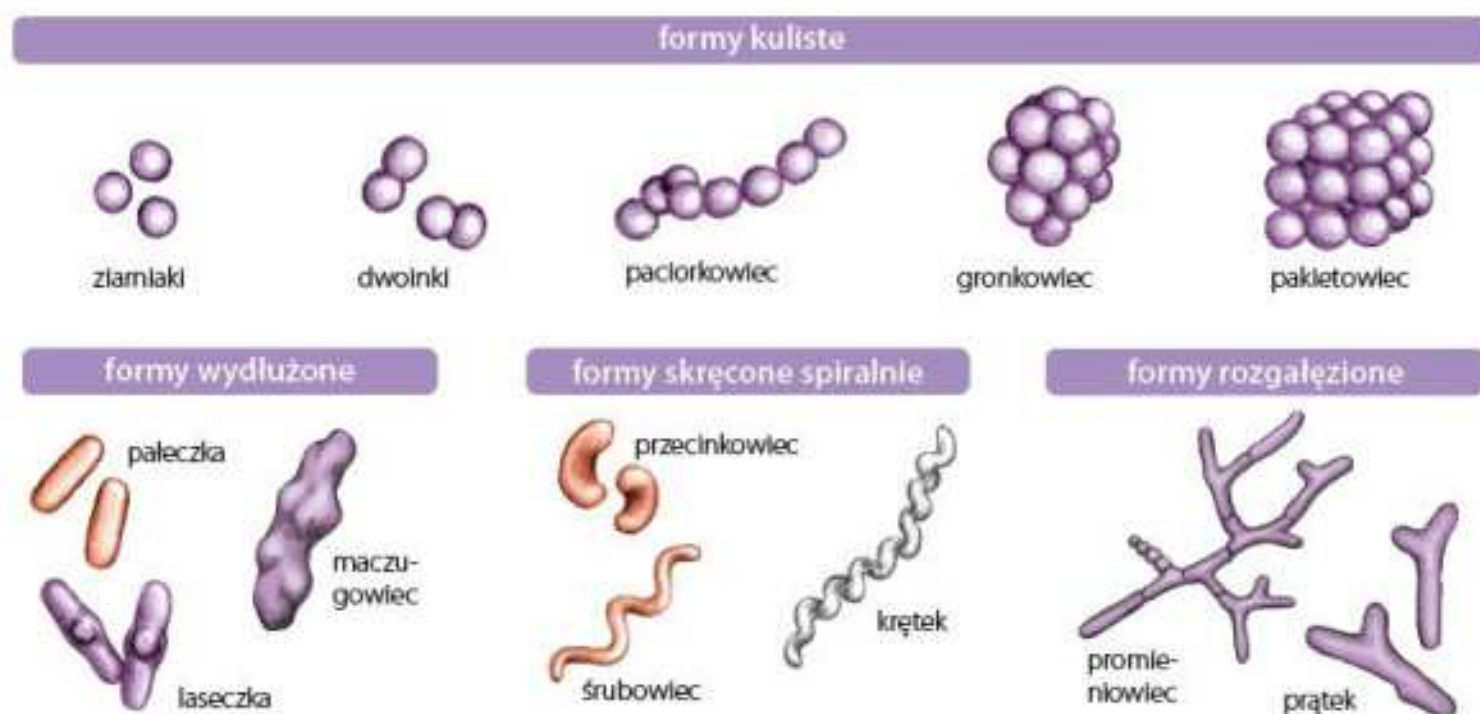
- dowiesz się, jak jest zbudowana komórka bakteryjna;
- poznasz podział bakterii na Gram-dodatnie i Gram-ujemne;
- zapoznasz się z budową sinic.

bakterie –
jednokomórkowe
organizmy

Bakterie są **jednokomórkowymi organizmami prokariotycznymi**. Ich komórki są pozbawione jądra komórkowego i mają uproszczoną budowę. Bakterie występują we wszystkich środowiskach – wodach słodkich, morzach i oceanach, w glebie, w powietrzu, a także wewnątrz i na powierzchni innych organizmów. Zasadniają środowiska niedostępne dla innych organizmów, takie jak gorące źródła czy kominy hydrotermalne (są **organizmami kosmopolitycznymi**).

formy
morfologiczne
bakterii

Bakterie występują w postaci pojedynczej komórki lub skupień – kolonii. Wymiary komórki bakteryjnej mieszczą się w granicach 0,5–5 μm . Komórki przyjmują trzy podstawowe kształty: kuliste (ziarniaki), wydłużone (pałeczkowate) i spiralne (krętki) (**ryc. III.1.1.**). Najprostszą **formą bakterii** są bakterie kuliste, które mogą występować pojedynczo jako ziarenkowce (*coccus*, czyt. kokkus) lub połączone w pary – dwoinki (*diplococcus*, czyt. diplokokkus), w długie sznury – paciorkowce (*streptococcus*, czyt. streptokokkus), nieregularne skupiska w kształcie kiści winogron – gronkowce (*staphylococcus*, czyt. stafylokokkus) lub sześcianów – pakietowce (*micrococcus*, czyt. mikrokokkus). Wśród form wydłużonych wyróżnia się bakterie o kształcie cylindrycznym tworzące przetrwalniki – laseczki (*bacillus*), bez przetrwalników – pałeczki (*bacterium*, czyt. bakterium) oraz nieregularnie cylindryczne przypominające maczugę – maczugowce (*corynebacterium*, czyt. korynebakterium). Do bakterii spiralnych zalicza się spiralnie skręcone przecinkowce (*vibro*), śrubowce z kilkoma spiralnymi skrętami (*spirillum*) oraz krętki z wielokrotnymi



Ryc. III.1.1. Różne kształty bakterii.

skrętami (*spirochaeta*, czyt. spirocheta). Bakterie mogą także przyjmować kształty rozgałęzione przypominające strzępki grzybów – promieniowce (*actinomyces*, czyt. aktinomyces) oraz zakrzywione pałeczki – prątki (*mycobacterium*, czyt. mykobakterium).

Cechą charakterystyczną prokariotycznej komórki bakteryjnej, odróżniającą ją od komórek eukariotycznych, jest **brak jądra komórkowego**, którego funkcję pełni chromosom bakteryjny (zwany też **genoforem**). **Genofor** tworzy pojedynczą, kolistą zamkniętą cząsteczkę dwuniciowego DNA położoną w cytozolu. Obszar cytozolu z chromosomem bakteryjnym jest nazywany **nukleoidem**. Poza genoforem u większości bakterii występują małe cząsteczki DNA – **plazmidy**. Odpowiadają one za wiele cech istotnych dla życia bakterii, m.in. za jej odporność na antybiotyki. Oprócz nukleoidu wszystkie komórki bakteryjne mają rybosomy, cytozol oraz błonę komórkową. Cytozol jest gęsty i pozbawiony ruchu. Nie zawiera takich struktur, jak siateczka wewnątrzplazmatyczna czy aparat Golgiego. Często na obszarze cytozolu występują materiały zapasowe: **glikogen** i **wolutyna**, a u bakterii samożywnych (sinic) – **skrobia sinicowa**. W cytozolu są rozmieszczone rybosomy – struktury odpowiedzialne za syntezę białek. Błona komórkowa otaczająca komórkę bakteryjną na zewnątrz jest zbudowana według modelu płynnej mozaiki komórki eukariotycznej. W błonie tej jest mniejsza różnorodność fosfolipidów i nie występuje cholesterol. Błona komórkowa tworzy **wewnątrzkomórkowe wpuklenia (dawne określenie: mezosomy)**, które uczestniczą w procesach oddychania tlenowego. Struktury te są odpowiednikiem mitochondrium komórki eukariotycznej. U samożywnych bakterii fotosyntetyzujących z wpuklających się fragmentów błony komórkowej powstają **ciała chromatoforowe** (tylakoidy), odpowiedniki chloroplastów komórek roślinnych. Znajdują się w nich barwniki fotosyntetyczne, np. **bakteriochlorofil** u sinic oraz odpowiednie kompleksy enzymów.

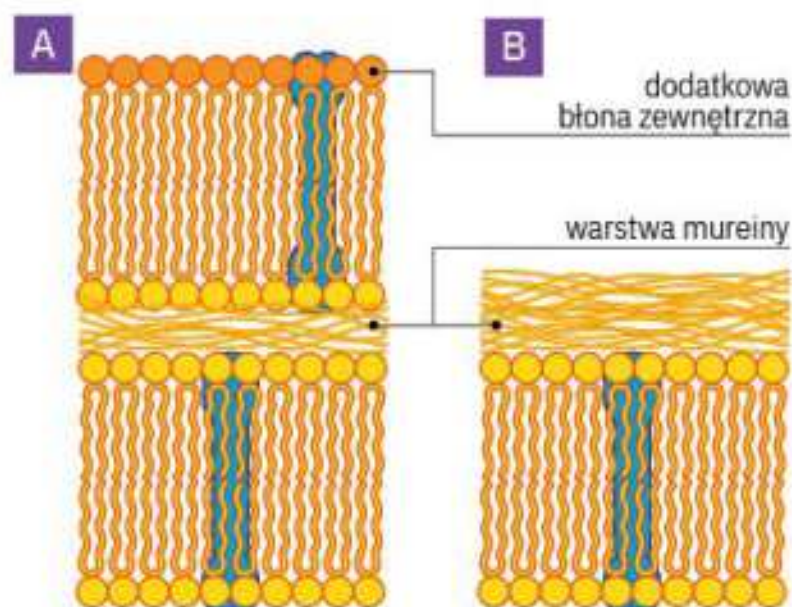
brak typowych organelli komórkowych

nukleoid

Do błony komórkowej bakterii przylega **ściana komórkowa**, która występuje u większości bakterii. Jest zbudowana z **mureiny** (peptydoglikanu) – substancji białkowo-cukrowej. Różnice w grubości ściany pozwoliły podzielić bakterie na dwa rodzaje: **bakterie Gram-ujemne** i **bakterie Gram-dodatnie** (ryc. III.1.2.).

ściana komórkowa

Bakterie Gram-ujemne mają cienką ścianę komórkową, złożoną tylko z jednej warstwy mureiny (2–10 nm). Brak w niej kwasów teichojowych (związki polimerowe zbudowane z reszt glicerolu lub innego alkoholu związanego z grupami fosforowymi). Na zewnątrz jest pokryta **błoną zewnętrzną** (białkowo-cukrowo-lipidową). Jej obecność chroni bakterie przed działaniem antybiotyków, np. penicyliną, które niszczą ścianę komórkową. Błona zewnętrzna stanowi także zabezpieczenie przed lizozymem – białkiem bakteriobójczym, które znajduje się w ślinie i łzach człowieka.



Ryc. III.1.2. Schemat budowy ściany komórkowej bakterii Gram-ujemnej (A) i bakterii Gram-dodatniej (B).

Bakterie Gram-dodatnie mają grubą ścianę komórkową, złożoną z kilku warstw mureiny (15–50 nm). Występują w niej kwasy tejchojowe, ale brak jest błony zewnętrznej.

Klasyfikacji bakterii na Gram-dodatnie i Gram-ujemne dokonał duński mikrobiolog Hans Christian Gram pod koniec XIX w. Barwił bakterie fioletem goryczkowym w obecności jodu, a następnie odbarwiał alkoholem etylowym. Zauważył różnice w wynikach. Bakterie Gram-ujemne o cienkiej ścianie komórkowej odbarwiał się po użyciu alkoholu etylowego, natomiast bakterie Gram-dodatnie o grubej ścianie komórkowej barwiły się trwale na kolor fioletowy. Barwienie Grama jest obecnie jedną z najpowszechniejszych metod stosowanych w celu ustalenia przyczyny zakażenia. Metoda ta pozwala lekarzowi na zastosowanie odpowiedniego antybiotyku w trakcie leczenia choroby wywołanej przez bakterie. Na zewnątrz ściany komórkowej wiele bakterii ma **otoczkę śluzową** złożoną z polisacharydów. Otoczka ta chroni bakterie chorobotwórcze przed reakcją obronną ze strony organizmu żywiciela, a bakterie wolno żyjące – przed wysychaniem (poprzez wchłanianie wody ze środowiska). Dzięki obecności otoczki bakterie chorobotwórcze mają większą zdolność do zarażania w porównaniu z bakteriami bezotoczkowymi.

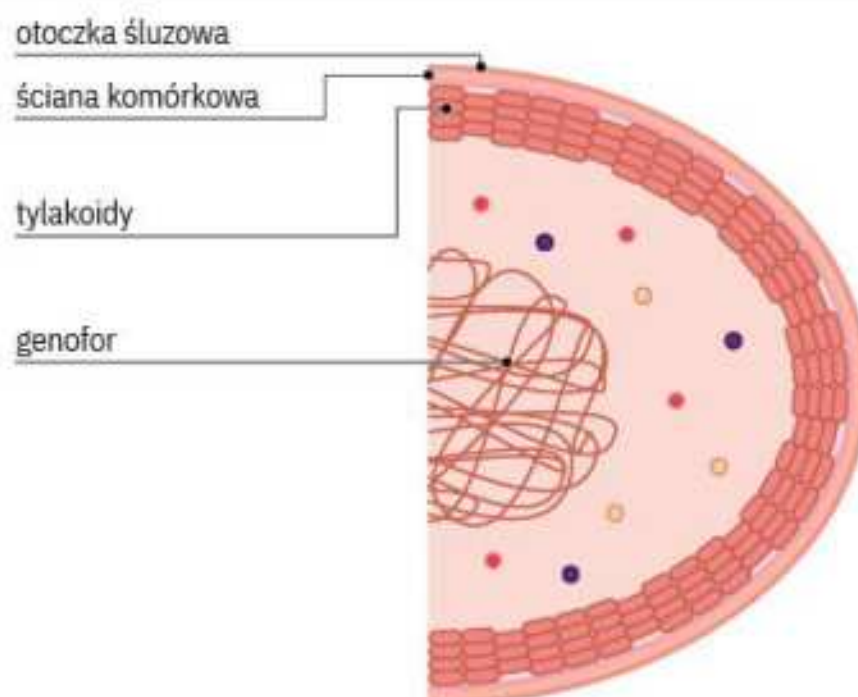
otoczka śluzowa ▶

- rzęski ▶ Niektóre bakterie wykształcają organelle ruchu – **rzęski**. Budowa rzęsek bakterii jest inna niż rzęsek komórek eukariotycznych. Są one utworzone z cząsteczek białka flageliny, które układają się w taki sposób, że wewnątrz rzęski tworzy pusty kanał na całej długości. Liczba rzęsek i ich sposób rozmieszczenia na powierzchni komórki jest cechą charakterystyczną poszczególnych gatunków bakterii. Dzięki rzęskom szereg bakterii ma zdolność do aktywnego ruchu. Na powierzchni bakterii występują też cieńsze i krótsze niż rzęski białkowe wyrostki – **fimbrie**. Ułatwiają przymocowywanie się bakterii do różnych powierzchni, a niektóre z nich – fimbrie płciowe – uczestniczą w procesie koniugacji.

fimbrie ▶

sinice ▶ **Komórki sinic (cyjanobakterii)**

Sinice są otoczone ścianą komórkową podobną do ściany bakterii Gram-ujemnych. Na zewnątrz ściana pokryta jest otoczką śluzową (**ryc. III.1.3**). We wnętrzu komórki nie występują mitochondria, aparat Golgiego ani plastydy, a na zewnątrz – rzęski. Zamiast plastydów wewnętrzna błona komórkowa tworzy wydłużone pęcherzyki rozmieszczone wzdłuż obwodu komórki – **tylakoidy**. Wewnątrz nich znajdują się barwniki uczestniczące w procesie fotosyntezy. Sinice jako autotrofy w procesie fotosyntezy produkują **skrobię sinicową**. Cechą charakterystyczną komórek sinic jest obecność **wakuoli gazowych**, które zmniejszając ciężar właściwy, umożliwiają unoszenie się komórek na powierzchni wody.



Ryc. III.1.3. Budowa komórki sinicy.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Porównaj budowę komórki prokariotycznej i eukariotycznej.
2. Przedstaw w zeszycie znaczenie podziału bakterii na bakterie Gram-dodatnie i Gram-ujemne.
3. Wyjaśnij, jakie znaczenie w życiu bakterii ma obecność otoczki śluzowej oraz rzęsek.
4. Wytlumacz, dlaczego bakterie są nazywane organizmami kosmopolitycznymi.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- Bakterie są **jednokomórkowymi organizmami** występującymi powszechnie we wszystkich środowiskach. ◀ s. 46
- Bakterie nie mają jądra komórkowego, a jego funkcję pełni **nukleoid** (obszar cytoplazmy z kolistą cząsteczką DNA – **genoforem**). ◀ s. 47
- Główne **formy morfologiczne bakterii** to bakterie kuliste, wydłużone, rozgałęzione i spiralne. ◀ s. 46
- Komórki bakterii **nie mają organelli typowych** dla komórki eukariotycznej: mitochondrium, siateczki śródplazmatycznej i aparatu Golgiego. ◀ s. 47
- **Ściana komórkowa** bakterii jest zbudowana z mureiny (peptydoglikanu) i jej budowa stanowi podstawę kryterium podziału bakterii na Gram-dodatnie i Gram-ujemne. ◀ s. 47
- Niektóre bakterie mogą wytwarzać **otoczki śluzowe** na zewnątrz komórki, rzęski służące do poruszania i przetrwalniki (cysty i endospory), które pozwalają na przetrwanie niekorzystnych warunków środowiska. ◀ s. 48
- **Sinice** są samożywnymi bakteriami otoczonymi ścianą komórkową zbudowaną z mureiny. Mają tylakoidy wypełnione barwnikami asymilacyjnymi. ◀ s. 48

2. Czynności życiowe bakterii

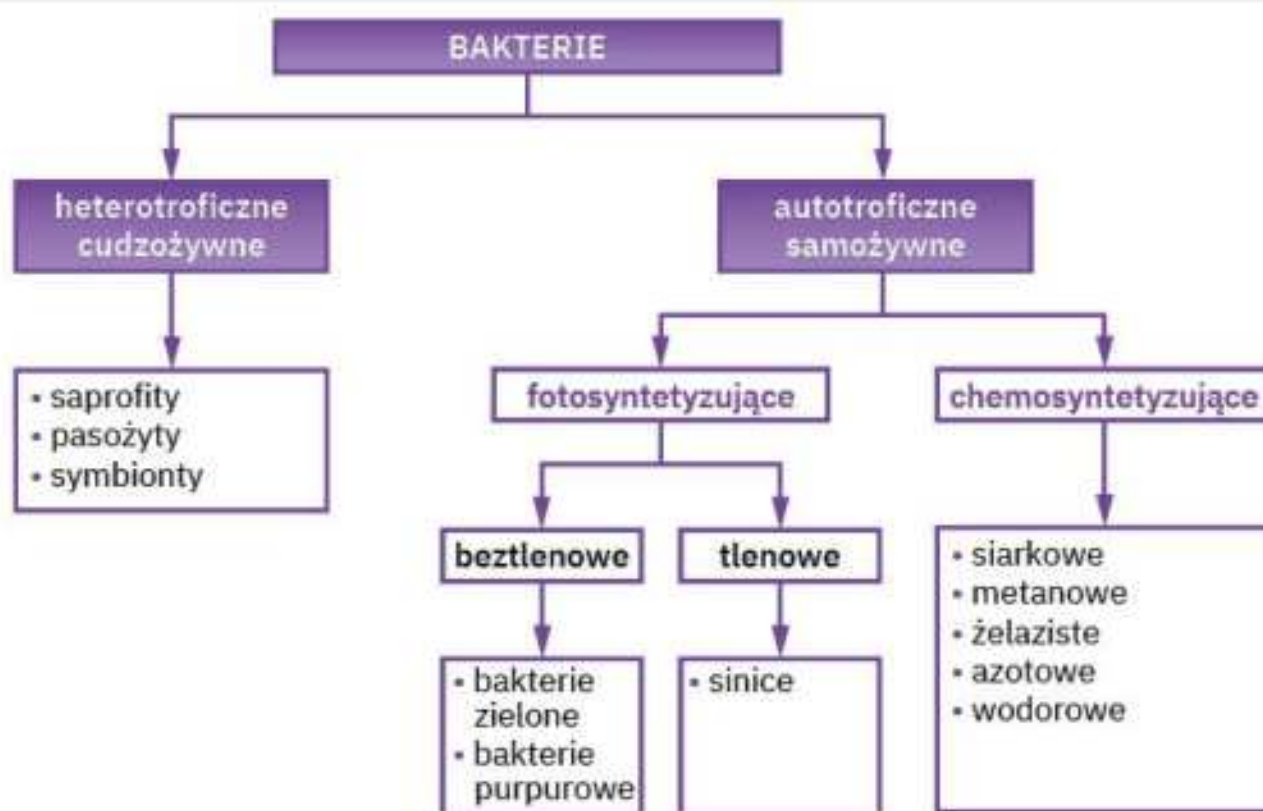
NA TEJ LEKCJI:

- zapoznasz się z czynnościami życiowymi bakterii;
- dowiesz się, w jaki sposób bakterie wiążą azot atmosferyczny.

odżywianie
bakterii

► Odżywianie

Większość bakterii jest cudzożywna. Mogą się żywić martwą materią organiczną jako saprofity lub pasożytną na organizmach żywych roślin, zwierząt i człowieka, wywołując wiele groźnych chorób (pasożyty) (ryc. III.2.1.). Niektóre bakterie żyją w symbiozie z innymi organizmami. Współpraca ta przynosi obustronne korzyści, np. bakterie żyjące w przewodzie pokarmowym przeżuwaczy ułatwiają trawienie celulozy, a w zamian otrzymują optymalne do życia środowisko beztlenowe i pokarm. Tylko nieliczne bakterie są autotroficzne.

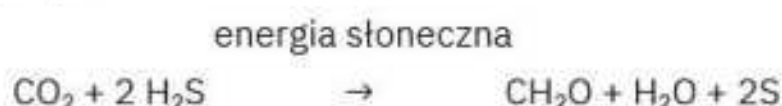


Ryc. III.2.1. Sposoby odżywiania się bakterii.

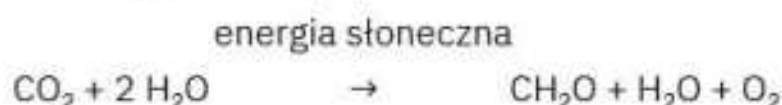
Bakterie autotroficzne produkują związki organiczne z nieorganicznych związków w procesie fotosyntezy, korzystając z energii świetlnej. Barwnikami uczestniczącymi w fotosyntezie bakterii są **bakteriochlorofile (a, b, c, d, e)** oraz czerwone **karotenoidy** (purpurowe bakterie siarkowe). U sinic barwnikami asymilacyjnymi są **chlorofil a, karotenoidy, niebieska fikocyjanina i czerwona fikoerytryna**. U bakterii fotosyntetyzujących beztlenowych redukcja dwutlenku węgla zachodzi przy

bakterie
fotosyntetyzujące

udziale wodoru (**fotosynteza anoksygeniczna**). Donorem wodoru są zredukowane związki siarki, np. H_2S :



Natomiast u sinic podczas fotosyntezy donorem wodoru jest woda, podobnie jak u roślin (**fotosynteza oksygeniczna**).



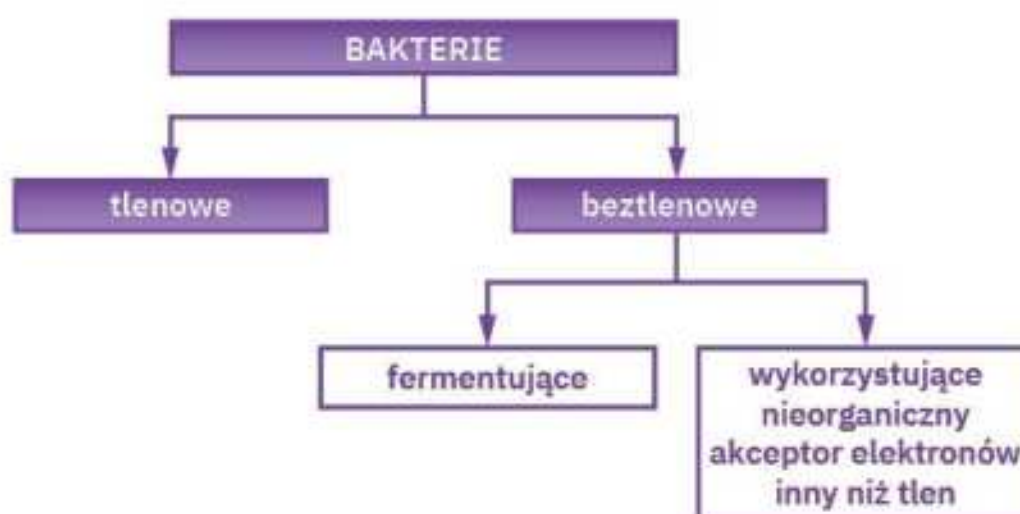
Bakterie chemosyntetyzujące do syntezy związków organicznych wykorzystują energię pochodzącą z reakcji utleniania związków nieorganicznych, np. amoniaku, azotynów czy siarczynów. Przykładem mogą być **bakterie nitryfikacyjne** *Nitrosomonas*, które utleniają amoniak do azotanów(III), a te utlenia *Nitrobacter* do azotanów(V).

Oddychanie

◀ oddychanie bakterii

Proces oddychania wewnątrzkomórkowego polega na uwolnieniu energii z rozkładu związków organicznych. Następuje to podczas oddychania tlenowego oraz bez-tlenowego (**ryc. III.2.2.**). U bakterii tlenowych – **aerobów** – oddychanie zachodzi we wpukleniach błony wewnętrznej, podczas którego związek organiczny zostaje całkowicie rozłożony z wydzieleniem dużej ilości energii. **Bakterie beztlenowe** – **anaeroby** – uzyskują energię na dwa sposoby. Pierwszy z nich to fermentacja zachodząca na obszarze cytoplazmy. Podczas **fermentacji** następuje niecałkowity rozkład związku organicznego na prostsze związki organiczne z wydzieleniem niewielkiej ilości energii. W zależności od końcowego produktu fermentacji **wyróżniamy fermentację mlekową, alkoholową i propionową**. Bakteriami fermentacyjnymi są m.in. *Lactobacillus* (przeprowadzające fermentację mlekową), *Clostridium* (uczestniczą w fermentacji masłowej) czy *Propionibacterium* (biorą udział w fermentacji propionowej).

◀ oddychanie bakterii beztlenowych



Ryc. III.2.2. Sposoby oddychania bakterii.

Drugi sposób oddychania beztlenowego bakterii przypomina oddychanie tlenowe, w którym zamiast tlenu redukcji ulega inny związek nieorganiczny. Ilość energii, która powstaje, jest porównywalna z tą uzyskiwaną podczas oddychania tlenowego. Przykładem bakterii oddychających w taki sposób są **bakterie denitryfikacyjne**, które redukują azotany(V) do azotynów(III), a następnie do wolnego azotu (N_2).

Bakterie beztlenowe mogą być **beztlenowcami bezwzględnymi (obligatoryjnymi)**, które w obecności tlenu giną, np. laseczka jadu kietbasianego (*Clostridium botulinum*), lub **względny (fakultatywnymi)**, które mogą przestawiać swój metabolizm na oddychanie tlenowe lub beztlenowe w zależności od warunków środowiska.

Wiązanie azotu atmosferycznego



Ryc. III.2.3. Brodawki na korzeniach rośliny motylkowej jako efekt symbiozy z bakteriami z rodzaju *Rhizobium*. Dzięki obecności bakterii brodawkowych rośliny motylkowe mogą być wykorzystywane w rolnictwie jako tzw. zielony nawóz.

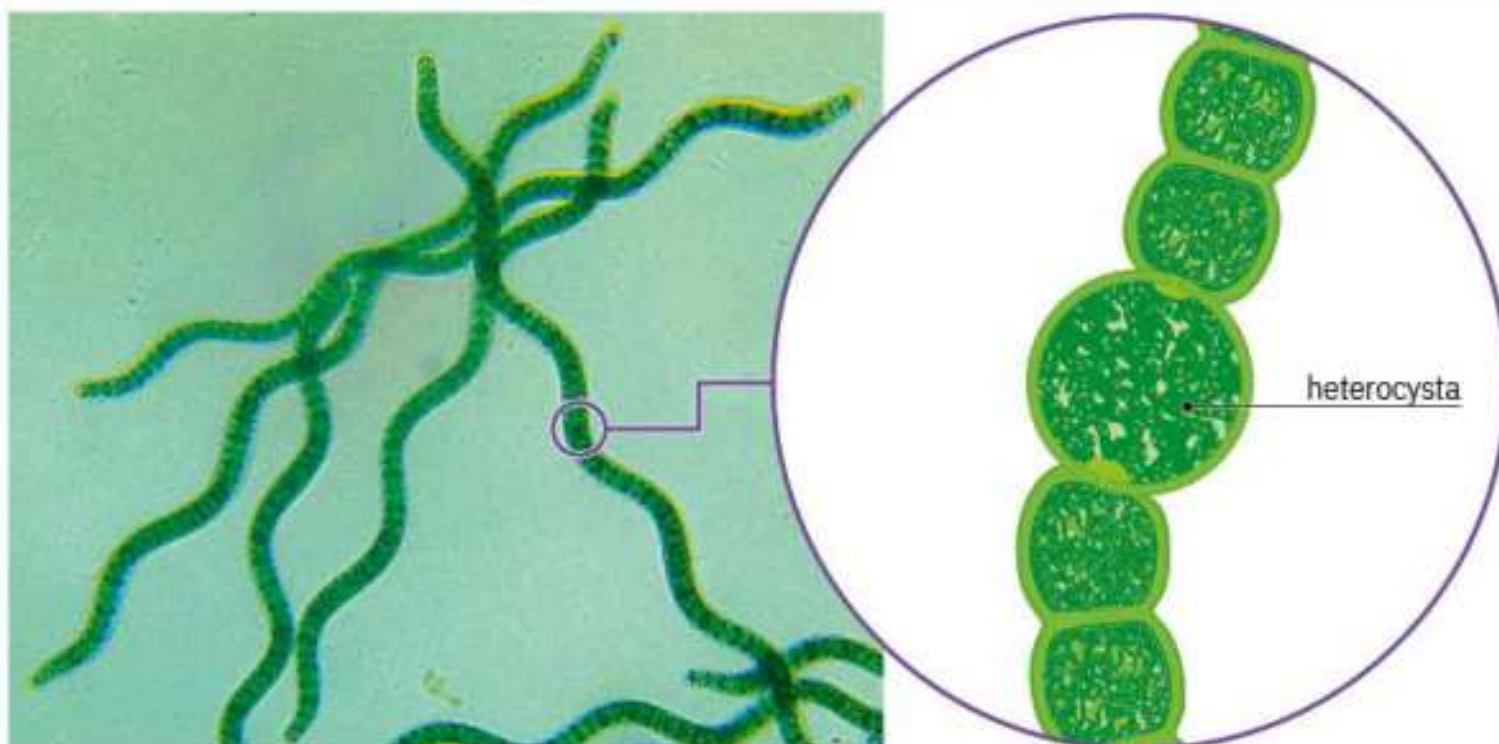
Azot jest pierwiastkiem biogennym. Wchodzi w skład budowy białek. Największe jego źródło znajduje się w powietrzu atmosferycznym – 78%. Jednak azot atmosferyczny jest niedostępny dla roślin i zwierząt. Zdolność do jego wiązania mają niektóre bakterie i sinice.

Bakterie z rodzaju *Rhizobium* żyją w symbiozie z **roślinami motylkowymi** (np. koniczyna, łubin, wyka, groszek). Dostają się do ich korzeni, co prowadzi do powstania charakterystycznych brodawek (stąd nazwa – bakterie brodawkowe) (ryc. III.2.3.).

Bakterie brodawkowe wiążą azot atmosferyczny w postaci amoniaku (NH_3), który po rozpuszczeniu w wodzie przechodzi w kation amonowy (NH_4^+) dostępny dla roślin. Roślina w zamian dostarcza bakteriom produktów fotosyntezy. Innymi bakteriami wiążącymi azot są glebowe saprofity: *Azotobacter chroococcum* (czyt. azotobakter chrookokkum) i *Clostridium pasteurianum* (czyt. klostridium pasteurianum).

U wielu sinic, np. z rodzaju *Gloeocapsa* (czyt. gloeokapsa), *Gloeotrichia* i *Nostoc*, wiązanie azotu atmosferycznego odbywa się w specjalnych komórkach, tzw. **heterocystach**. Zawierają one enzym **nitrogenazę**, która jest niezbędna do przeprowadzenia tego procesu (ryc. III.2.4.).

Nitrogenaza działa tylko w środowisku beztlenowym. Dlatego komórki sinic wytworzyły szereg przystosowań przed wnikaniem tlenu, m.in. grube ściany komórkowe czy uwsteczniony aparat fotosyntetyczny nieprodukujący tlenu. Sinice są określane jako **najdoskonalsze autotrofy na świecie**, ponieważ potrafią asymilować zarówno dwutlenek węgla, jak i azot atmosferyczny. Czyni to je pionierami świata organicznego – mogą osiedlać się w każdych, nawet najbardziej niedogodnych warunkach środowiska.



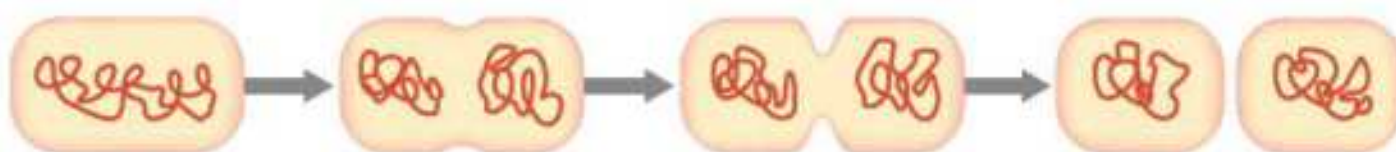
Ryc. III.2.4. Nitkowata sinica z heterocystą.

Rozmnażanie bakterii

rozmnażanie bakterii

Bakterie są organizmami haploidalnymi i rozmnażają się bezpłciowo. Wyróżniamy następujące sposoby rozmnażania bakterii: **podział komórki, pączkowanie (tylko u niektórych) oraz fragmentację nitkowatych kolonii u sinic.**

Dzieląca się komórka bakterii podwaja materiał genetyczny zawarty w genoforze, wskutek czego powstają dwie komórki potomne o takim samym materiale genetycznym jak komórka macierzysta (ryc. III.2.5.). Podczas podziału między komórkami potomnymi bakterie Gram-dodatnie wykształcają ścianę komórkową, a Gram-ujemne – przewężenie.

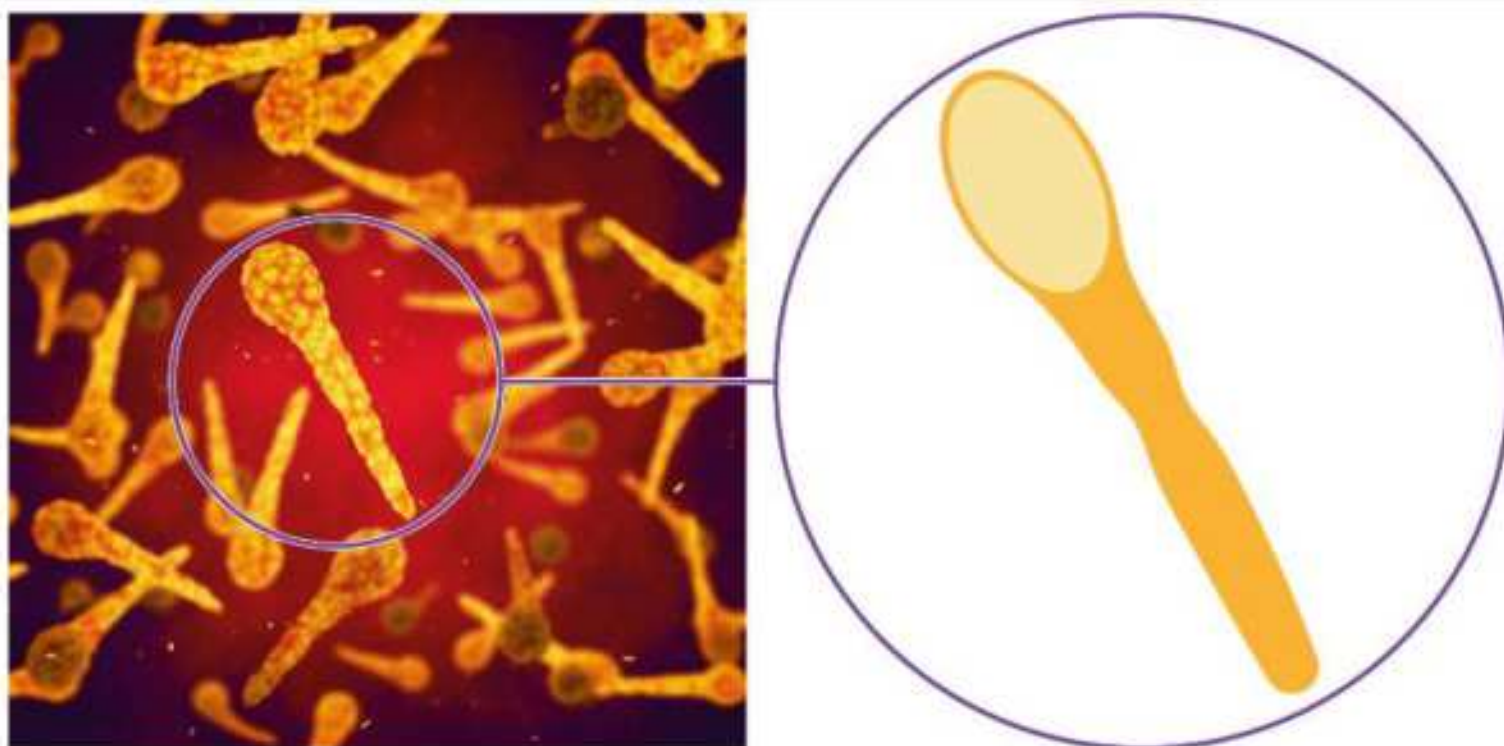


Ryc. III.2.5. Schemat podziału komórki bakteryjnej.

Szybkość podziału bakterii zależy od wielkości materiału genetycznego i warunków środowiska. W optymalnych warunkach, np. w laboratorium, komórka bakteryjna może się dzielić co 2–3 godziny, a nawet co 20 minut. W naturalnych warunkach środowiska, gdzie działa szereg czynników ograniczających, takich jak szkodliwe produkty przemian metabolicznych czy brak pokarmu, podziały zachodzą z mniejszą częstotliwością, np. *Escherichia coli* (pałeczka okrężnicy) w jelitach człowieka dzieli się co 12–24 godziny.

Niektóre bakterie w celu przetrwania w niekorzystnych warunkach środowiska (np. brak wody i substancji odżywczych, działanie niskiej lub wysokiej tempera-

- tury czy niekorzystne pH) wytworzyły **przetrwalniki**. W przetrwalnikach bakterie przechodzą w **stan anabiozy** – życia utajonego, podczas którego obniżają tempo metabolizmu. Przetrwalnikami bakterii są m.in. **endospory** i **cysty**. **Cysty** powstają w wyniku odwodnienia cytoplazmy i otoczenia komórki bakterii grubą ścianą komórkową. W takiej postaci bakterie mogą oczekiwać na poprawę warunków. **Endospory** powstają poprzez wewnątrzkomórkowe zmiany w cytoplazmie komórki bakterii, które prowadzą do wydzielenia mniejszej części otoczonej własną ścianą komórkową we wnętrzu komórki macierzystej (**ryc. III.2.6.**). Część komórki macierzystej ulega degeneracji, a uwolniona endospora jest niezwykle odporna na działanie niekorzystnych czynników środowiskowych, np. może przetrwać ponadgodzinne gotowanie czy całkowite zamrożenie. Endospory laseczki węgliką dzięki ogromnej wytrzymałości zostały wykorzystane jako źródło broni biologicznej.

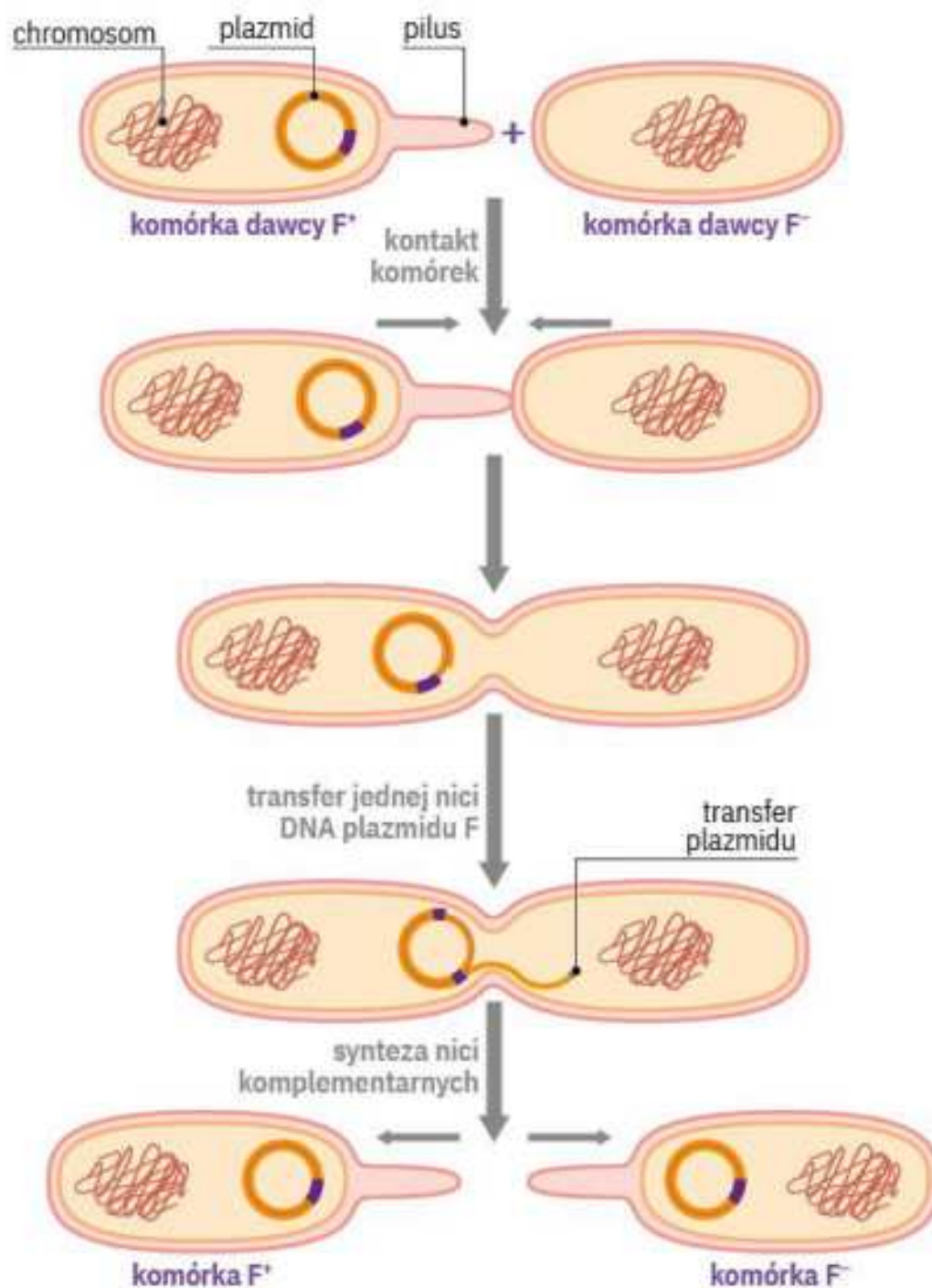


Ryc. III.2.6. Endospory – formy przetrwalnikowe laseczki tężca *Clostridium tetani*.

procesy płciowe bakterii ▶ **Procesy płciowe bakterii**

Bakterie nie rozmnażają się płciowo, ale zachodzi u nich wymiana materiału genetycznego w **procesie płciowym**. Wyróżnia się trzy sposoby wymiany materiału genetycznego bakterii: koniugację, transformację i transdukcję.

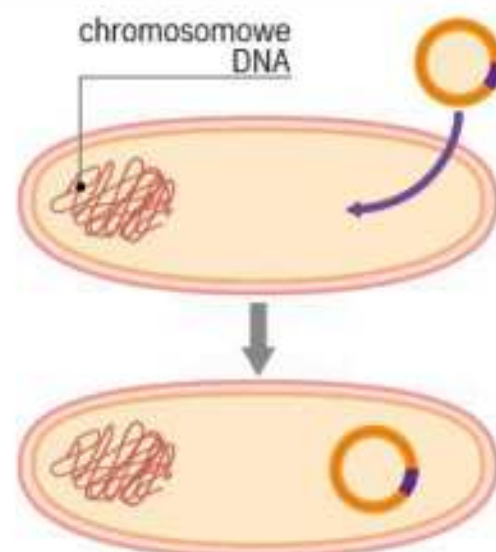
- Podczas **koniugacji** następuje wymiana plazmidu lub rzadziej całego genomu bakterii (**ryc. III.2.7.**). Transfer materiału genetycznego bakterii zachodzi za pomocą białka – pilusa (tworzącego cytoplazmatyczny mostek). Bakterie z pilusem określa się jako F^+ , bez pilusa – F^- . Spotkanie tych bakterii jest możliwe dzięki **fimbriom płciowym**. Dwie komórki bakterii łączą się czasowo za pomocą pilusa, przez który następuje przekazanie nici DNA z komórki dawcy do komórki biorcy. Następnie w obu komórkach bakterii zachodzi synteza brakującej nici kwasu DNA. Po koniugacji komórka biorcy zyskuje nowe właściwości (głównie odporność na antybiotyki), które zostały przekazane od komórki dawcy.



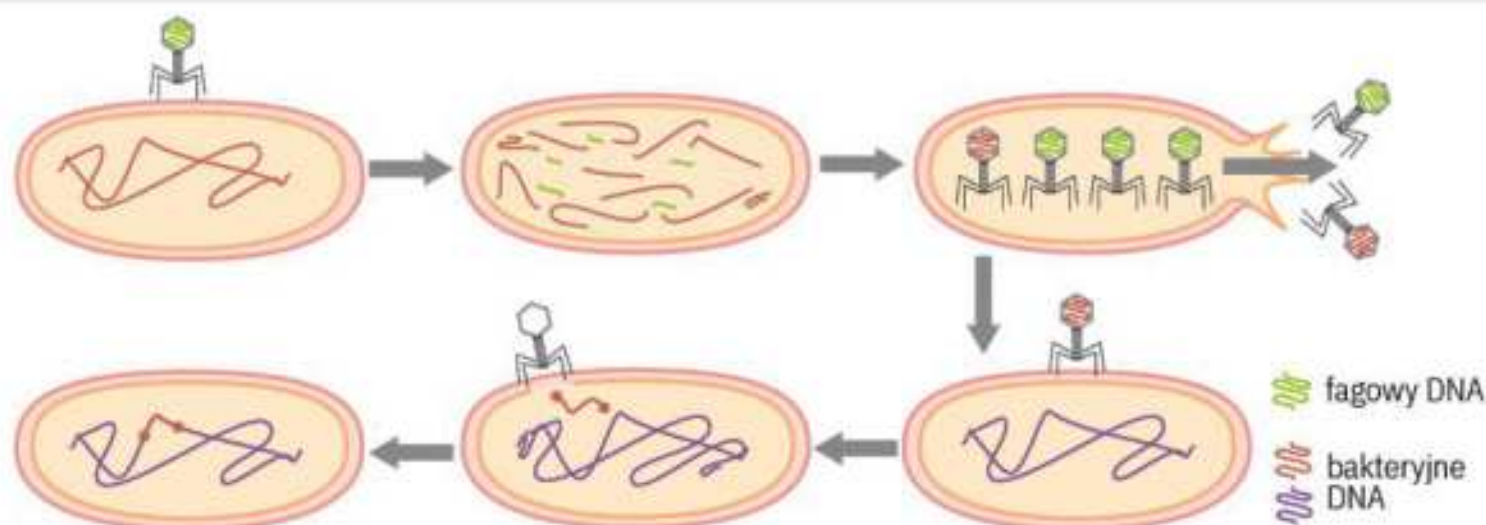
Ryc. III.2.7. Schemat przebiegu koniugacji bakterii.

Podczas **transformacji** komórka bakteryjna pobiera z otoczenia obcy (zwykle plazmidowy) DNA i włącza go w swój materiał genetyczny (ryc. III.2.8.). W ten sposób nabywa nowych cech, np. odporności na antybiotyki. Proces ten ma duże praktyczne zastosowanie w biotechnologii, m.in. do klonowania genów czy syntezy plazmidowego DNA, co zostanie dokładnie przedstawione w dalszym etapie kształcenia.

Trzeci proces płciowy bakterii – **transdukcja** – polega na przekazaniu informacji genetycznej bakterii za pomocą wirusów – bakteriofagów łagodnych. Do chromosomu bakterii wirus przenosi – oprócz własnego DNA – także fragment DNA z komórki, którą opuścił (ryc. III.2.9.).



Ryc. III.2.8. Schemat procesu transformacji bakterii.



Ryc. III.2.9. Schemat transdukcji bakterii. Materiał genetyczny bakteriofaga i bakterii zostaje rozłożony na mniejsze części przez enzymy. Niektóre nowo powstałe bakteriofagi mają DNA bakterii (zaznaczone kolorem brązowym). Bakteriofagi z DNA bakterii infekują następne bakterie. Wówczas DNA z bakterii dawcy zostaje wprowadzony do bakterii biorcy (brązowa linia).

Procesy płciowe bakterii nie zwiększają liczby komórek, ale powodują rekombinację materiału genetycznego. Prowadzi to do zwiększenia różnorodności genetycznej bakterii i pozwala im przystosować się do zmieniających się warunków środowiska.

Bakterie, które wykazują zdolność do aktywnego ruchu za pomocą rzęsek, reagują pozytywnie lub negatywnie na bodźce środowiska. Ruch komórki bakterii w odpowiedzi na działanie bodźca nazywamy **taksją** – w kierunku bodźca **taksją dodatnią**, w stronę przeciwną **taksją ujemną**. Przykładem takich ruchów są **chemotaksje**, czyli ruchy od lub do substancji chemicznych zawartych w środowisku, dzięki którym bakterie zdobywają pokarm lub rozpoznają obecność innych komórek. Do innych taksji zaliczamy **fototaksje** – reakcje na warunki świetlne, czy **termotaksje** – ruchy związane z warunkami termicznymi.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Przedstaw w zeszycie przystosowania bakterii do odżywiania autotroficznego i heterotroficznego.
2. Wykaż, że bakterie z rodzaju *Nitrosomonas* i *Nitrobacter* są bezwzględными aerobami.
3. Wyjaśnij znaczenie procesów płciowych bakterii w przystosowaniu się do różnych warunków życia.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- s. 50 ▶ • Większość bakterii **odżywia się heterotroficznie**, a wśród autotroficznych wyróżnia się bakterie fotosyntetyzujące i chemosyntetyzujące.
- s. 50 ▶ • **Bakterie fotosyntetyzujące** to bakterie beztlenowe (wykorzystujące siarkowodór jako źródło atomów wodoru) oraz tlenowe – sinice (wykorzystujące wodę jako źródło atomów wodoru).
- s. 51 ▶ • **Bakterie oddychają** tlenowo i beztlenowo. Niektóre z nich mogą być względnymi beztlenowcami (fakultatywnymi anaerobami), których metabolizm może w razie konieczności zachodzić beztlenowo, a inne bezwzględnymi beztlenowcami (obligatoryjnymi anaerobami), których metabolizm jest wyłącznie beztlenowy.

- **Oddychanie beztlenowe** może zachodzić w procesie fermentacji lub z wykorzystaniem nieorganicznego akceptora elektronów innego niż tlen. ◀ s. 51
- **Bakterie rozmnażają** się bezpłciowo przez podział komórki. ◀ s. 53
- U wielu bakterii występują **procesy płciowe** – koniugacja, transformacja i transdukcja. ◀ s. 54

3. Klasyfikacja bakterii

NA TEJ LEKCJI:

- zapoznasz się z podziałem prokariontów na domeny;
- poznasz najważniejsze, wybrane grupy prokariontów.

Na podstawie różnic między organizmami na poziomie molekularnym w budowie kwasów nukleinowych, białek oraz rysobomów prokarionty dzieli się na **dwie domeny**: *Bacteria* i *Archaea*. Domena *Bacteria* obejmuje większość prokariontów od gatunków patogennych do przynoszących człowiekowi korzyści, o zróżnicowanych czynnościach życiowych i metabolizmie. Domena *Archaea* to prokarionty zasiedlające środowiska o ekstremalnych warunkach.

◀ domeny prokariontów

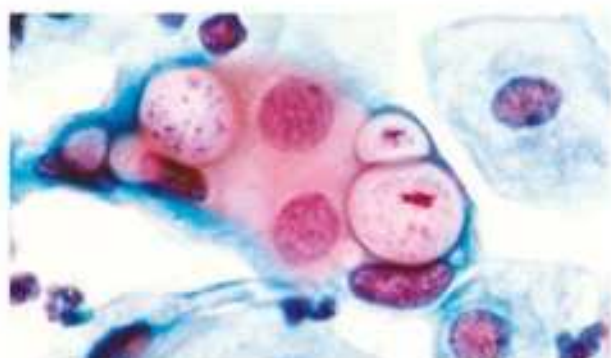
Archeowce (*Archaea*)

◀ Archeowce

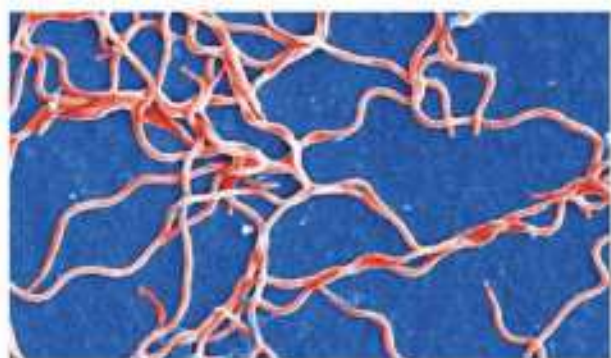
Archeowce zostały odkryte dopiero w latach 70. XX w. Większość przedstawicieli tej domeny żyje w **środowiskach ekstremalnych**, dlatego są nazywane **ekstremofilami**. **Ekstremalne haliofile** zasiedlają mocno zasolone środowiska, często kilkakrotnie bardziej słone od wody morskiej (np. Wielkie Jezioro Słone w Stanach Zjednoczonych czy Morze Martwe), a **termofile** rozwijają się w bardzo wysokiej temperaturze (np. w źródłach wulkanicznych czy w pobliżu kominów hydrotermalnych na dnie Oceanu Spokojnego). Natomiast archeowce **metanogenne** występują m.in. pod lodem w Grenlandii, na terenach podmokłych i bagnach czy w przewodach pokarmowych roślinożerców. Archeowce różnią się od bakterii następującymi cechami: brakiem mureiny w ścianie komórkowej, zapisaną informacją genetyczną o budowie białek w sposób nieciągły z obecnością odcinków niekodujących – intronów (u bakterii informacja genetyczna ma zapis ciągły – występują tylko odcinki kodujące – egzony), obecnością rybosomów podobnych do rybosomów komórek eukariotycznych oraz białek histonowych towarzyszących DNA (u niektórych gatunków).



Ryc. III.3.1. W kominach hydrotermalnych w północno-wschodnim Pacyfiku, na głębokości ok. 2400 m żyje *Geogemma barossii* zwana „szczepem 121”, ponieważ może w temp. 121°C podwajać liczbę swoich komórek.



Ryc. III.3.2. *Chlamydia trachomatis* (barwiona mikrofotografia TEM).



Ryc. III.3.3. *Borrelia burgdorferi* (mikrofotografia TEM).



Ryc. III.3.4. *Mycoplasma pneumoniae* wywołuje u dzieci zakażenie górnych dróg oddechowych, a u osób dorosłych atypowe zapalenie płuc (mikrofotografia SEM).



Ryc. III.3.5. *Spirulina* (nazwa handlowa sinic należących do rzędu *Oscillatoriales*), słodkowodne sinice nitkowate bogate w białko, witaminy, magnez i beta-karoten oraz rzadki nienasycony kwas tłuszczowy gamma-linolenowy. Dzięki dużej zawartości białka nazywana „zielonym” mięsem (mikrofotografia SEM).

Do bakterii zaliczamy m.in. chlamydie, krętki, mykoplazmy i sinice.

Chlamydie

Są to Gram-ujemne bakterie wewnątrzkomórkowe. Nie mają zdolności wytwarzania własnego ATP, pobierają go od komórki gospodarza. Ściany komórkowe tych bakterii nie zawierają peptydoglikanu. Mają zdolność przeżycia tylko wewnątrz komórek zwierzęcych. Po dostaniu się do komórek gospodarza rozmnażają się i rozprzestrzeniają drogą krwionośną. Najbardziej pospolite to *Chlamydia trachomatis* przenoszona drogą płciową, wywołująca ślepotę oraz zapalenie cewki moczowej, oraz *Chlamydia pneumoniae* (czyt. chlamydia pneumonie) przenoszona drogą kropelkową, wywołująca zapalenie płuc (ryc. III.3.2.).

Krętki

Krętki są heterotroficznymi bakteriami Gram-ujemnymi, które poruszają się ruchem wijącym dzięki wewnętrznym włóknom przypominającym wici. Krętki mogą być zarówno wolno żyjące, jak i pasożytnicze. Przykładem gatunków pasożytniczych są *Treponema pallidum*, krętek błądy wywołujący kiłę, i *Borrelia burgdorferi* wywołująca boreliozę (ryc. III.3.3.).

Mykoplazmy

Mykoplazmy są najmniejszymi bakteriami o średnicy komórek wynoszącej około 200 nm. Nie mają ściany komórkowej, a błona komórkowa jest zbudowana z trzech warstw. Ich genomy są niezwykle małe, np. u *Mycoplasma genitalium* genom składa się z 517 genów. Są głównie komensalami (zależność między gatunkami, w której jeden czerpie korzyści, nie szkodząc pozostałym) i pasożytami chorobotwórczymi człowieka, a także licznych gatunków zwierząt (ryc. III.3.4.).

Sinice

Sinice są nitkowatymi, samożywnymi bakteriami mającymi zdolność przyswajania azotu atmosferycznego (ryc. III.3.5.). Są to organizmy pionierskie występujące na obszarach pustynnych, na skałach, na korze drzew, w glebie, w wodach czystych i zanieczyszczonych materią organiczną, w których powodują zakwity (masowy pojaw fitoplanktonu spowodowany zwiększonym dopływem substancji organicznych i mineralnych do wody ze ściekami komu-

nalnymi czy nawozami sztucznymi prowadzący do spadku zawartości tlenu, który powoduje śmierć wielu organizmów, m.in. ryb). Niektóre sinice budują z grzybami (workowcami lub podstawczakami) plechy porostów.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Przedstaw w postaci tabeli w zeszycie porównanie dwóch domen życia: *Bakteria* i *Archaea*. Uwzględnij obecność następujących cech: otoczkę jądrową, organelle otoczone błoną, peptydoglikan w ścianie komórkowej, introny w genach, histony powiązane z DNA, kolisty chromosom.
2. Sinice są samożywными organizmami zaliczanymi do bakterii. Mogą powodować tzw. zakwity wód. Omów konsekwencje tego zjawiska dla środowiska wodnego i człowieka.
3. Wyjaśnij, w jaki sposób archeowce przystosowały się do życia w ekstremalnych warunkach środowiska.



PODSUMOWANIE LEKCJI

- Analiza molekularna pozwoliła na **klasyfikację prokariontów do dwóch domen: *Archaea* i *Bacteria***. ◀ s. 57
- **Archeowce** mają cechy wspólne z bakteriami i organizmami eukariotycznymi. ◀ s. 57
- Archeowce mogą żyć w ekstremalnych środowiskach (ekstremalne termofile i halofile) lub środowiskach umiarkowanych (gleba, jeziora, oceany, przewody pokarmowe zwierząt). ◀ s. 57
- **Do bakterii zaliczamy m.in. chlamydie, krętki, mykoplazmy i sinice.** ◀ s. 58

4. Choroby bakteryjne człowieka

NA TEJ LEKCJI:

- zapoznasz się ze sposobem rozprzestrzeniania zakażeń bakteryjnych;
- poznasz sposoby zwalczania drobnoustrojów;
- dowiesz się, jakie choroby są wywoływane przez bakterie;
- zrozumiesz znaczenie bakterii w przyrodzie.

Bakterie chorobotwórcze (patogenne) wywołują choroby, wytwarzając toksyny: ◀ **bakterie chorobotwórcze**
egzotoksyny i endotoksyny.

Egzotoksyny to białka wydzielane przez komórki bakterii Gram-dodatnich. Należą do jednych z najsilniejszych trucizn, np. toksyna botulinowa wydzielana przez laseczkę jadu kiełbasianego. **Endotoksyny** są lipopolisacharydowymi składnikami błony zewnętrznej bakterii Gram-ujemnych wydzielanymi podczas ich rozpadu. Endotoksyny są wydzielane m.in. przez pałeczki z rodzaju *Salmonella*, które wywołują dur brzuszny.

► **Zakażenia bakteryjne** mogą szerzyć się następującymi drogami:

1. pokarmową – przez spożywanie zakażonej żywności lub picie zakażonej wody, np. przecinkowiec cholery czy pałeczka czerwonej;
2. powietrzną (wziwną) – przez kichanie lub kaszel, np. prątki gruźlicy;
3. przez kontakt z zakażoną osobą – taką drogą rozprzestrzeniają się np. prątki trądu, choroby weneryczne, np. kiła i rzeżączka;
4. przez kontakt z zakażonymi zwierzętami, które są wektorami (nosicielami) bakterii, np. kleszcze przenoszące krętki boreliozy czy pchły szczurze przenoszące pałeczki dżumy;
5. przez kontakt z glebą, w której żyją np. laseczki tężca czy laseczki węglik (tab. III.4.1.).

Tab. III.4.1. Wybrane choroby bakteryjne człowieka

Choroba	Drogi zakażenia	Objawy	Profilaktyka
Borelioza (krętek <i>Borrelia burgdorferi</i>)	ugryzienie przez kleszcza, który jest nosicielem bakterii	I stadium (1–3 tygodnie od ukąszenia) – wędrujący rumień na skórze (kształt różowej obrączki), objawy grypopodobne, gorączka, ból głowy, osłabienie; po 3 miesiącach wczesna postać rozsiana – zapalenie mięśnia sercowego, zapalenie stawów, a po wielu latach powikłania neurologiczne	unikanie ukąszenia przez kleszcze przez odpowiedni ubiór szczelnie okrywający ciało i stosowanie preparatów odstraszających kleszcze, sprawdzanie całego ciała po spacerze w lesie, zaroślach i po łąkach
Cholera (przecinkowiec cholery <i>Vibrio cholerae</i>)	droga pokarmowa (zakażona bakterią woda lub rzadziej żywność), bezpośredni kontakt z chorym	biegunka, wymioty prowadzące do odwodnienia, zmarszczenie skóry, w skrajnych przypadkach może dojść do śpiączki, w postaci epidemii w krajach Trzeciego Świata	szczepienia ochronne, przestrzeganie podstawowych zasad higieny osobistej, higiena przygotowywania posiłków, właściwe przechowywanie żywności, ochrona źródeł wody pitnej, izolowanie chorych
Czerwonka bakteryjna – dyzenteria (pałeczka z rodzaju <i>Shigella</i>)	droga pokarmowa (zakażone odchodami owoce, jarzyny, rzadziej woda) lub bezpośredni kontakt z zarażonym	wysoka gorączka, bóle brzucha, biegunka z krwią, śluzem i ropą (bakteria wywołuje podrażnienia błony śluzowej żołądka i jelit)	szczepienia ochronne, przestrzeganie podstawowych zasad higieny osobistej, higiena przygotowywania posiłków, właściwe przechowywanie żywności, picie wody ze znanych i zbadanych źródeł

Choroba	Drogi zakażenia	Objawy	Profilaktyka
Dur brzuszny (dawniej tyfus brzuszny, pałeczka duru brzusz- nego <i>Salmonella enterica</i>)	droga pokarmowa (zakażona bakterią woda lub żywność), bezpośredni kontakt z chorym, czasami bakterie są przeno- szone przez owady (głównie muchy)	gorączka, ból brzucha, bóle głó- wy, różowa wysypka na klatce piersiowej i brzuchu, powiększe- nie wątroby, śledziony i węzłów chłonnych szyi	szczepienia ochronne, przestrzeganie podsta- wowych zasad higieny osobistej, higiena przy- gotowywania posiłków, właściwe przechowy- wanie żywności, ochro- na źródeł wody pitnej
Gruźlica (prątek gruźlicy, prątek Kocha, <i>Mycobacterium tuberculosis</i>)	droga kropelkowa lub pyłowa od człowieka chorego na gruźlicę, rzadziej pokarmowa przez picie mleka lub spożywanie mięsa zwierząt zarażonych bakterią (krowy, owce, świnie)	często we wczesnej fazie za- chodzi bezobjawowo, gorączka, chudnięcie, guzki gruźlicze w za- atakowanych narządach, w gruź- licy płucnej kaszel, ból w klatce piersiowej, płucie krwią, może dotyczyć różnych układów, np. gruźlica kości i stawów, mózgu i opon mózgowo-rdzeniowych, układu moczowo-płciowego	okresowe prześwietle- nia płuc, szczepienia ochronne, izolacja osób chorych, badania weterynaryjne zwierząt hodowlanych
Kiła (krętek błady <i>Treponema pallidum</i>)	droga płciowa, przez łożysko matki	owrzodzenie na zewnętrznych narządach płciowych, tzw. stwardnienie pierwotne (u ko- biet także w obrębie wewnętr- znych narządów płciowych), po- większenie węzłów chłonnych, czerwono-brązowa wysypka na stopach, dłoniach, wewnętrznej powierzchni jamy ustnej; bak- teria może powodować choroby innych narządów wewnętrznych	unikanie przygodnych kontaktów płciowych, stosowanie prezerwa- tyw, przestrzeganie podstawowych zasad higieny
Rzeżączka (dwo- inki rzeżączki <i>Neisseria gonorrhoeae</i>)	droga płciowa, przez łożysko matki	swędzenie i infekcje okolic odbytu, u mężczyzn ból, piecze- nie i ropna wydzielina z cewki moczowej, u kobiet dyskomfort w dole brzucha, wysoka tem- peratura, krwawienia między- miesiączkowe; rzeżączka może atakować inne części organizmu, np. gardło czy siatkówkę oka	unikanie przygodnych kontaktów płciowych, stosowanie prezerwa- tyw, przestrzeganie podstawowych zasad higieny
Salmonelloza (pałeczka z ro- dzaju <i>Salmonella</i>)	droga pokarmowa (żywność – głównie jaja i mięso drobiowe skażone odchodami zakażonych zwierząt)	biegunka, gorączka, bóle i skurcze jelit, czasami nudności i wymioty po 6 do 72 godzin od zakażenia	przestrzeganie podsta- wowych zasad higieny osobistej, higiena przy- gotowywania posiłków, właściwe przechowy- wanie żywności

Choroba	Drogi zakażenia	Objawy	Profilaktyka
Tężec (łaseczki tężca <i>Clostridium tetani</i>)	kontakt rany z zabrudzoną ziemią zarażoną bakterią tężca	skurcze mięśni, bóle głowy, szczękocisk, utrudnienie połykania, skurcze mięśni mimicznych, drgawki, unieruchomienie klatki piersiowej (duszność, sinica), u noworodków może być przyczyną śmierci	szczepienia ochronne, osobom nieszczepionym po zarażeniu podaje się surowicę przeciwtężcową
Wąglik (łaseczka wąglika <i>Bacillus anthracis</i>)	choroba odzwierzęca przenoszona drogą skórną (lub przez otartą skórę), drogą oddechową (przez wdychanie kurzu z bakterią lub jej przetrwalnikami), drogą pokarmową (spożywanie zarażonego bakterią mleka lub mięsa)	postać skórna, tzw. czarna krosta; jelitowa (ból brzucha, gorączka, śluzowo-krwista biegunka, może prowadzić do śmierci); postać płucna (wysoka gorączka, dreszcze, kaszel z krwiopluciem, duszność, sinica, co prowadzi do śmierci)	szczepienia osób narażonych na kontakt z bakterią, m.in. weterynarzy, pracowników laboratoriów diagnostycznych, rzeźników; kontrola weterynaryjna zwierząt hodowlanych

Do bakterii chorobotwórczych dla człowieka zalicza się riketsje (*Rickettsia*), bakterie Gram-ujemne o kształcie pałeczkowatym. Dostają się do organizmu za pomocą wektorów, czyli innych organizmów. Wektorami riketsji są m.in. kleszcze, roztocza, pchły, wszy. Wywołują choroby – riketsjozy, z których najgroźniejszą jest tyfus plamisty. Do innych chorób wywoływanych przez riketsje zaliczamy gorączkę Q i gorączkę plamistą.

- antybiotyki** ▶ Skuteczną metodą walki z bakteriami chorobotwórczymi jest stosowanie **antybiotyków**. Są to substancje chemiczne wytwarzane przez żywe bakterie lub uzyskiwane syntetycznie czy półsyntetycznie. Mechanizm działania antybiotyków na bakterie polega na hamowaniu syntezy ściany komórkowej bakterii (np. penicylina), białek komórkowych (np. tetracyklina), kwasów nukleinowych (np. aktynomycyna), a także na zaburzaniu właściwości osmotycznych błon cytoplazmatycznych bakterii. Antybiotyki oprócz działania leczniczego mają skutki uboczne – zabijają nie tylko bakterie chorobotwórcze, lecz także dobrą florę bakteryjną występującą w przewodzie pokarmowym, układzie oddechowym czy na powierzchni skóry człowieka. Zniszczenie pozytywnej flory bakteryjnej prowadzi do awitaminozy (brak witamin, szczególnie z grupy B i witaminy K), osłabienia układu odpornościowego, czego skutkiem są m.in. rozwijające się grzybice wywołane przez grzyby *Candida albicans*, a także powstania populacji bakterii opornych na działanie antybiotyków czy antybiotyzależnych (bakterii, których wzrost zależy od obecności antybiotyku). Leko-
- antybiogram** ▶ oporność bakterii powoduje, że obecnie powszechnie wykonuje się **antybiogram**, czyli badanie wrażliwości określonego gatunku bakterii na działanie konkretnego antybiotyku (**ryc. III.4.1.**).

Ryc. III.4.1. Antybiogram stosuje się w celu ustalenia odpowiedniego antybiotyku dla pacjenta i uniknięcia podawania nieskutecznych antybiotyków, które mogą osłabić jego odporność. W tym celu pobiera się próbkę wydzieliny pacjenta, np. krwi, z której wykonuje się posiew na podłożu bakteriologicznym. Wyhodowaną bakterię następnie przenosi się na inne podłoża, na które zostają naniesione krążki z różnymi antybiotykami, które w różny sposób reagują na antybiotyki.



Skutecznymi sposobami walki z drobnoustrojami są **dezynfekcja** i **sterylizacja**. Dezynfekcja (inaczej odkażanie) ma na celu zahamowanie rozprzestrzeniania się bakterii ze źródła zakażenia na organizmy zdrowe. Dezynfekcja może obejmować skórę i błony śluzowe człowieka, otoczenie chorego czy środowisko jego życia. Podczas stosowania środków chemicznych i mechanicznych większość bakterii ginie. Sterylizacja, czyli wyjaławianie, ma na celu zniszczenie bakterii znajdujących się na przedmiotach lub w płynach. Jest szeroko wykorzystywana w medycynie, np. do wyjaławiania środków opatrunkowych, narzędzi operacyjnych, oraz w mikrobiologii (nauka o budowie i czynnościach życiowych bakterii), do sterylizacji szkła laboratoryjnego czy pożywek bakteryjnych. Wyjaławianie przeprowadza się za pomocą działania temperatury, promieniowania krótkiego i stosowania filtrów.

Znaczenie bakterii

1. Bakterie biorą udział w **krążeniu pierwiastków w przyrodzie**, głównie węgla, azotu, siarki i fosforu (uczestniczą w cyklach biogeochemicznych – krążeniu pierwiastka między organizmem żywym a nieorganicznym środowiskiem).
2. W łańcuchu pokarmowym pełnią funkcję destruentów rozkładających martwą materię organiczną do prostych związków nieorganicznych, które rośliny wykorzystują do przeprowadzenia fotosyntezy.
3. Niektóre bakterie uczestniczą w przemianach związków azotu – procesie nityfikacji (utlenianie amoniaku i soli amonowych do azotanów(III) i azotanów(V), które są pobierane przez rośliny) i denitryfikacji (redukcja azotanów(III) i azotanów(V) do wolnego azotu atmosferycznego).
4. Bakterie mające zdolność wiązania azotu atmosferycznego z rodzaju *Rhizobium* żyją w symbiozie z korzeniami roślin motylkowych, wpływają korzystnie na ich wzrost i rozwój, a także wzbogacają glebę w związki azotu.
5. Bakterie glebowe przekształcają glebę, wzbogacając ją w próchnicę, przewietrzając i zwiększając jej zdolności do zatrzymywania wody.

◀ obieg materii
w przyrodzie

wykorzystanie
bakterii
w przemyśle

6. Bakterie (z rodzaju *Bacteroides*) żyją w symbiozie ze zwierzętami roślinożernymi, zasiedlając ich przewody pokarmowe, ułatwiają trawienie i rozkład celulozy.
7. Bakterie symbiotyczne żyjące w przewodzie pokarmowym człowieka (*Escherichia coli*) produkują witaminy K i z grupy B.
8. Bakterie są źródłem pożywienia dla niektórych organizmów, m.in. protistów i parzydełkowców.
9. W przemyśle spożywczym są **wykorzystywane do produkcji** serów, jogurtów, kefirów, kiszonej kapusty, ogórków oraz do produkcji alkoholu etylowego, wina, piwa.
10. Bakterie są także stosowane w produkcji artykułów przemysłowych, np. kauczuku, tytoniu, jedwabiu czy produktów bawełnianych.
11. Bakterie biorą udział w tworzeniu ropy naftowej, rud żelaza, saletry amonowej i siarki.
12. W przemyśle farmaceutycznym bakterie są stosowane do produkcji szczepionek, antybiotyków (streptomycyna, tetracyklina), surowic, witamin (B₁₂, C).
13. Niektóre zmodyfikowane genetycznie bakterie są wykorzystywane do produkcji aminokwasów, hormonów (wzrostu, insuliny) czy węglowodanów (dekstranu – głównego składnika płynu krwiozastępczego zwiększającego objętość osocza i zmniejszającego lepkość krwi).
14. Bakterie stosuje się do produkcji biogazu (jest wytwarzany przez bakterie żyjące w oborniku podczas fermentacji beztlenowej) jako źródła energii do napędzania pojazdów czy ogrzewania domów.
15. Bakterie są wykorzystywane w rolnictwie do produkcji kiszonek paszowych, a rośliny motylkowe dzięki symbiozie z bakteriami brodawkowymi asymilującymi azot atmosferyczny są stosowane jako zielony nawóz.
16. Niektóre bakterie mające zdolność do rozkładu szkodliwych substancji wykorzystuje się w procesie bioremediacji do oczyszczania wody i gleby z zanieczyszczeń będących efektem działalności człowieka (np. ropy naftowej i jej produktów, detergentów czy środków ochrony roślin).
17. Niektóre bakterie są stosowane jako enzymy restrykcyjne („nożyczki genetyczne” do cięcia określonych sekwencji kwasu DNA) w inżynierii genetycznej.
18. Z ciepłolubnych bakterii uzyskuje się enzym wykorzystywany do syntezy dużej ilości kwasu DNA w warunkach laboratoryjnych (metoda PCR – łańcuchowa reakcja polimerazy).
19. Bakterie saprobiontyczne powodują psucie wielu artykułów spożywczych i przemysłowych (m.in. drewna, papieru, włókien). Bakterie siarkowe produkujące kwas siarkowy niszczą budynki (mury, cegły, zaprawę murarską) oraz konstrukcje żelazne.
20. Bakterie pasożytnicze wywołują **liczne choroby** u człowieka, zwierząt i roślin. Prowadzi to do wyniszczenia organizmu człowieka, a w przypadku roślin i zwie-

bakterie
chorobotwórcze

rząt wykorzystywanych gospodarczo przez człowieka zmniejsza plony i liczebność hodowli.

21. Niektóre bakterie mają zdolność tworzenia biofilmu, czyli kolonii złożonej z kilku lub kilkunastu gatunków, która przylega do stałych powierzchni. Takie struktury są mniej odporne na działanie antybiotyków, antyseptyków (substancji odkażających) czy mechanizmów obronnych człowieka i są źródłem m.in. psucia się zębów czy wielu zakażeń szpitalnych (osiedlają się m.in. na powierzchni implantów sercowych, cewników, rozruszników serca, protez naczyniowych i ortopedycznych).
22. Niektóre gatunki bakterii lub wydzielane przez nie toksyny są wykorzystywane jako broń biologiczna, np. laseczki wąglika.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Porównaj skuteczność stosowania antybiotyków w przypadku chorób wywoływanych przez bakterie Gram-dodatnie i Gram-ujemne.
2. Uzasadnij pozytywne i negatywne skutki stosowania kuracji antybiotykowej przez człowieka.
3. Omów metody zapobiegania następującym chorobom: gruźlicy, wąglikowi, cholercie.
4. Przedstaw w tabeli w zeszycie pozytywne i negatywne znaczenie bakterii dla środowiska przyrodniczego.
5. Wyjaśnij, jaką rolę odgrywają bakterie w krążeniu pierwiastków w przyrodzie.
6. Przedstaw znaczenie dla gospodarki człowieka symbiozy bakterii z rodzaju *Rhizobium* z korzeniami roślin motylkowych.



PODSUMOWANIE LEKCJI

- **Bakterie chorobotwórcze** wywołują schorzenia przez wydzielanie groźnych toksyn: egzotoksyn i endotoksyn. ◀ s. 59
- **Zakażenia bakteryjne** szerzą się następującymi drogami: pokarmową, powietrzną, przez kontakt z zakażoną osobą, kontakt z zakażonymi zwierzętami i glebą. ◀ s. 60
- Skuteczną formą walki z chorobami bakteryjnymi jest stosowanie **antybiotyków**. ◀ s. 62
- **Antybiotyki** zabijają bakterie chorobotwórcze, ale także niszczą florę bakteryjną, która jest niezbędna do prawidłowego funkcjonowania organizmu człowieka. ◀ s. 62
- W celu ustalenia leczenia odpowiednimi antybiotykami stosuje się **antybiogram**. ◀ s. 62
- Bakterie uczestniczą w **obiegu materii w przyrodzie**. ◀ s. 63
- Część bakterii jest **wykorzystywana przez człowieka do produkcji** farmaceutyków, artykułów spożywczych i przemysłowych, w procesach oczyszczania ścieków, ekologicznym nawożeniu gleb oraz w badaniach naukowych. ◀ s. 64
- Wiele bakterii powoduje także **choroby zwierząt i roślin**. ◀ s. 64

PODSUMOWANIE PRZED SPRAWDZIANEM

s. 50 ► Podział bakterii ze względu na odżywianie

Bakterie						
Autotroficzne				Heterotroficzne		
Fotoautotrofy		Chemoautotrofy		Saprofity	Pasożyty	Symbionty
fotosynteza anoksygeniczna bez wydzielania tlenu	fotosynteza oksygeniczna z wydzielaniem tlenu	uzyskują energię z utleniania związków nieorganicznych	uzyskują energię z utleniania związków organicznych	rozkładają martwą materię organiczną	odżywiają się żywymi organizmami, wywołując groźne schorzenia	uzyskują substancje odżywcze, korzystając z innych organizmów, którym w zamian dostarczają substancji wytworzonych przez siebie
bakterie zielone i purpurowe	sinice	bakterie nitryfikacyjne, siarkowe, żelazowe, wodorowe	bakterie metanowe			bakterie brodawkowe

s. 51 ► Podział bakterii ze względu na oddychanie

Bakterie		
Tlenowe (aeroby)	Beztlenowe (anaeroby)	
	bezwzględne (obligatoryjne)	względne (fakultatywne)
	tlen jest dla nich toksyczny	mogą przestawiać metabolizm z oddychania tlenowego na beztlenowe

s. 64 ► Rodzaje toksyn bakterii

Egzotoksyny	Endotoksyny
wydzielane przez komórki bakterii Gram-dodatnich, najbardziej niebezpieczne	wydzielane przez komórki bakterii Gram-ujemnych podczas ich rozpadu

Najważniejsze choroby bakteryjne człowieka to: cholera, trąd, gruźlica, zapalenie płuc, zapalenie opon mózgowych, angina, szkarlatyna, krztusiec, dur brzuszny, borelioza, czerwotka, salmonelloza, kiła, rzeżączka.

BLOK ĆWICZENIOWY

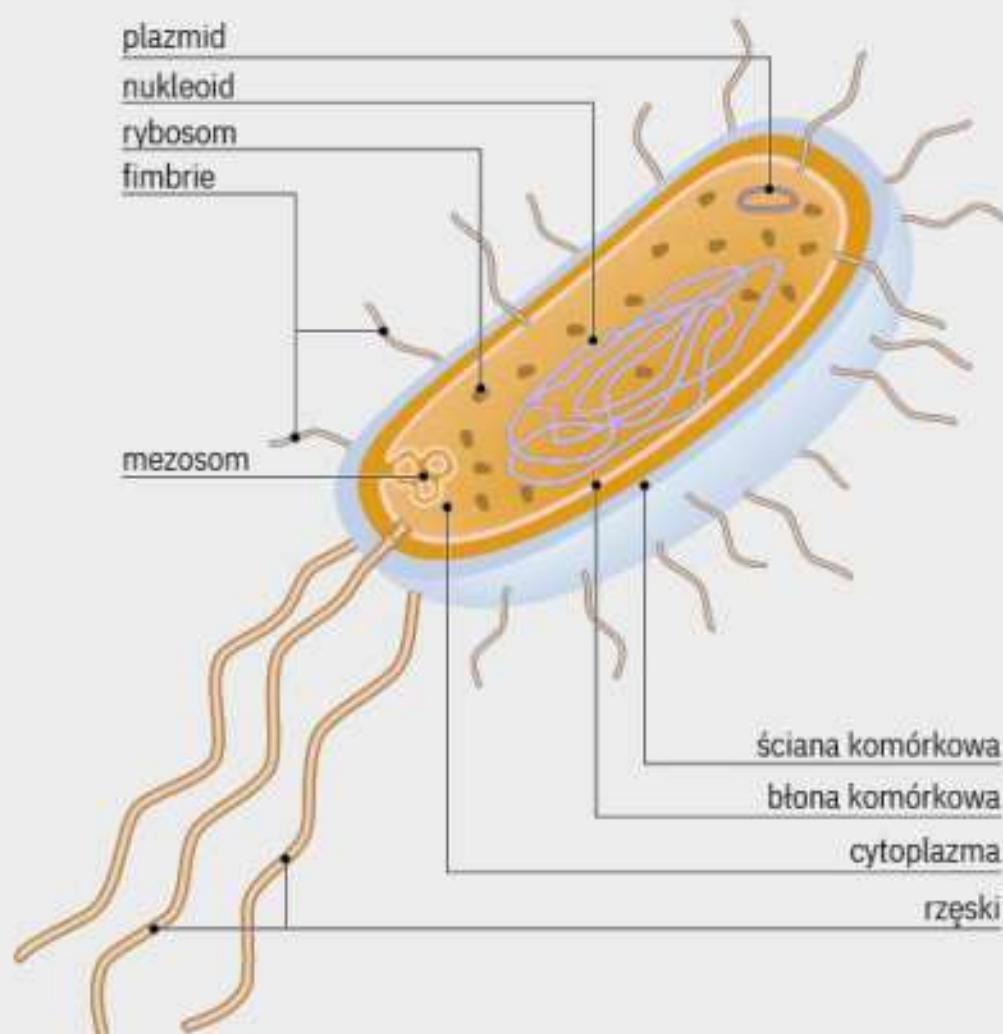
1. (0–3 pkt)

Na rysunku przedstawiono budowę komórki bakteryjnej.

1.1. Wyjaśnij różnicę między genoforem a nukleoidem.

1.2. Określ, uwzględniając elementy budowy, czy przedstawiona bakteria oddycha tlenowo, czy beztlenowo.

1.3. Wyjaśnij, jaką funkcję spełniają plazmidy.



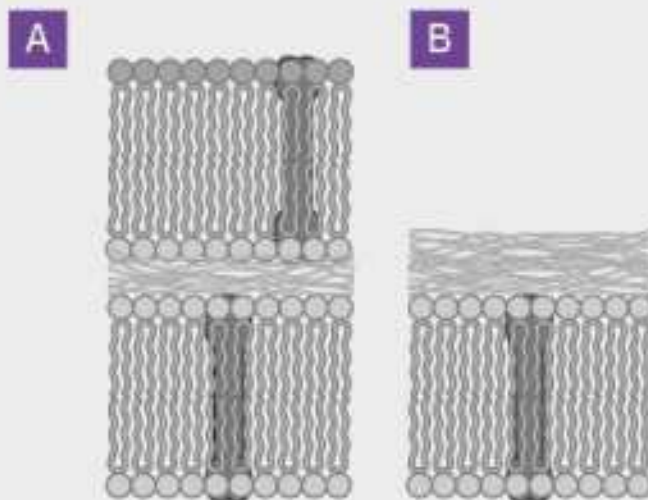
2. (0–3 pkt)

Na rysunku przedstawiono fragmenty ścian komórkowych dwóch bakterii.

2.1. Określ, który rysunek przedstawia budowę ściany komórkowej bakterii Gram dodatnich. Uzasadnij swój wybór.

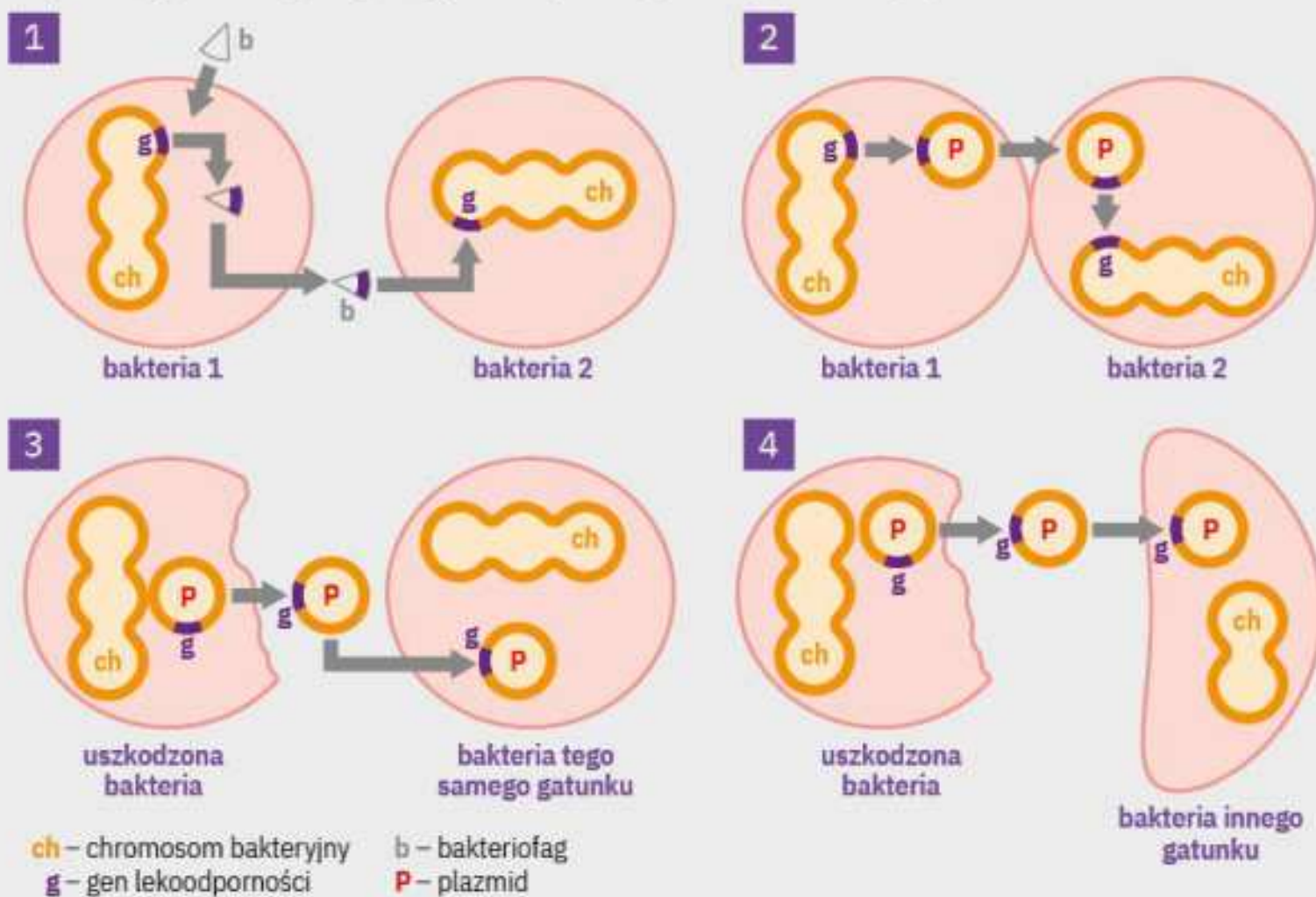
2.2. Wyjaśnij, który rodzaj bakterii – Gram dodatnich lub Gram ujemnych – jest bardziej niebezpiecznym patogenem. Uzasadnij swój wybór.

2.3. Wiele bakterii na zewnątrz ściany komórkowej wytwarza otoczkę śluzową. Omów funkcję, jaką pełni ona dla bakterii chorobotwórczych.



3. (0–3 pkt)

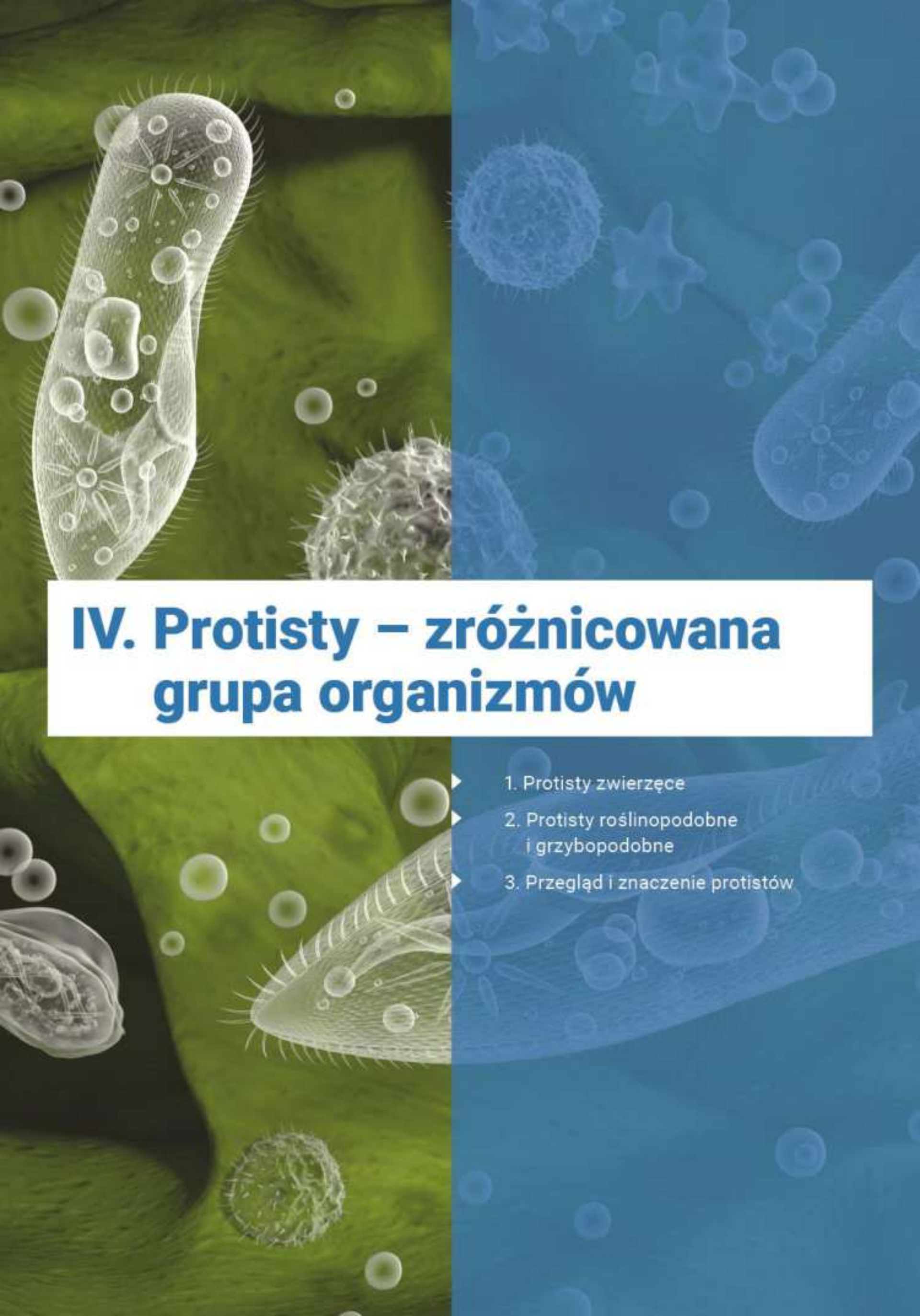
Głównym sposobem rozmnażania bakterii jest podział komórki. Bakterie nie rozmnażają się płciowo, a wymieniają materiał genetyczny podczas procesu płciowego – koniugacji.



3.1. Wskaż numery rysunków, na których jest przedstawiona koniugacja.

3.2. Wyjaśnij, dlaczego koniugacja nie jest rozmnażaniem płciowym.

3.3. Jakie znaczenie podczas koniugacji ma wymiana plazmidów?



IV. Protisty – zróżnicowana grupa organizmów

- ▶ 1. Protisty zwierzęce
- ▶ 2. Protisty roślinopodobne i grzybopodobne
- ▶ 3. Przegląd i znaczenie protistów

Protisty są organizmami eukariotycznymi bardzo niejednorodnymi pod względem budowy i czynności życiowych. Początkowo zaliczane były do trzech królestw: roślin, zwierząt i grzybów. Następnie utworzono dla nich odrębne królestwo Protista, którego wspólną cechą jest eukariotyczna budowa komórki (obecność jądra komórkowego, organelli otoczonych błoną komórkową). Współczesne badania dotyczące filogenezy tej grupy wskazują, że gatunki tworzące Protista mają różnych przodków (są polifiletyczną grupą). Oznacza to, że do Protista zaliczamy wszystkich przedstawicieli Eukaryota, którzy nie należą do królestwa zwierząt, roślin lub grzybów.

Protisty żyją przede wszystkim w środowisku wodnym lub związanym z wodą, a także w tkankach i płynach ustrojowych zwierząt. W celu zwrócenia uwagi na cechy zwierząt, roślin i grzybów występujące u protistów zostały one podzielone na: protisty zwierzęce, roślinopodobne i grzybopodobne.

1. Protisty zwierzęce

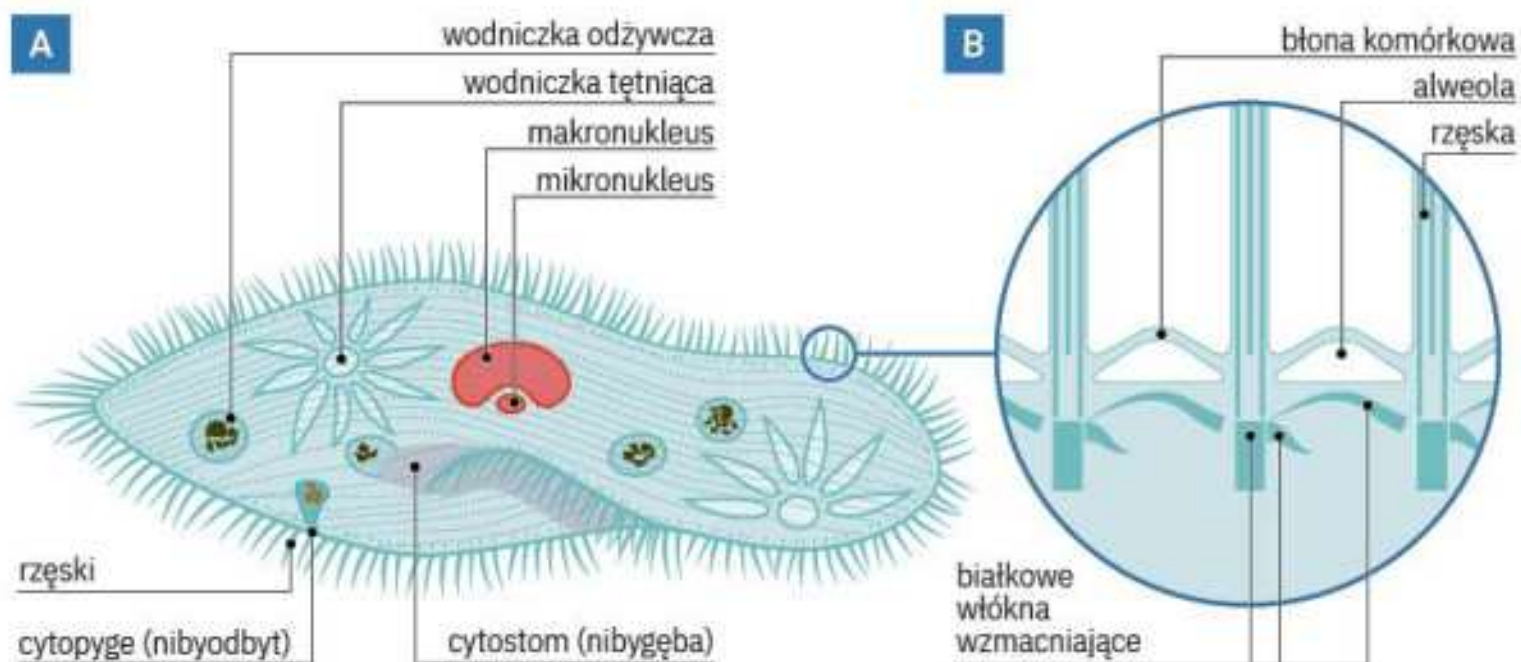
NA TEJ LEKCJI:

- zapoznasz się z budową protistów zwierzęcych;
- poznasz czynności życiowe protistów zwierzęcych;
- dowiesz się, jak przebiega proces koniugacji protistów.

protisty zwierzęce ▶ **Protisty zwierzęce** są bardzo małymi organizmami eukariotycznymi. Ich rozmiary wynoszą od kilku mikrometrów do ponad 1 mm. Ciało występuje w postaci pojedynczej komórki, która w budowie przypomina komórkę zwierzęcą i zawiera wszystkie organelle komórek eukariotycznych: jądro komórkowe, mitochondria, rybosomy, aparat Golgiego, siateczkę śródplazmatyczną. Do trawienia pokarmu **służą wodniczki pokarmowe**, a do **osmoregulacji** – wodniczki tętniące.

jądra komórkowe ▶ U większości gatunków występuje pojedyncze **jądro komórkowe**, u niektórych, np. u pantofelka, są dwa jądra – mikronukleus i makronukleus, tworzące aparat jajowy. **Makronukleus** jest dużym, poliploidalnym jądrem kierującym czynnościami życiowymi komórki, a **mikronukleus** – małym diploidalnym jądrem uczestniczącym w procesach płciowych. Na zewnątrz organizm jest pokryty białkowo-lipidową błoną – **pellikulą** (ryc. IV.1.1.). Jej grubość i budowa jest różna dla poszczególnych gatunków (np. u niektórych na powierzchni tworzą się fałdy, dołki, listki). Nadaje ona komórce kształt i elastyczność oraz uczestniczy w transporcie substancji. U niektórych gatunków pod pellikulą znajduje się pojedyncza warstwa pęcherzyków – tzw. **alweoli**. Pęcherze gazowe prawdopodobnie stabilizują pellikulę i uczestniczą w regulacji przepływu wody i soli mineralnych.

pellikula ▶



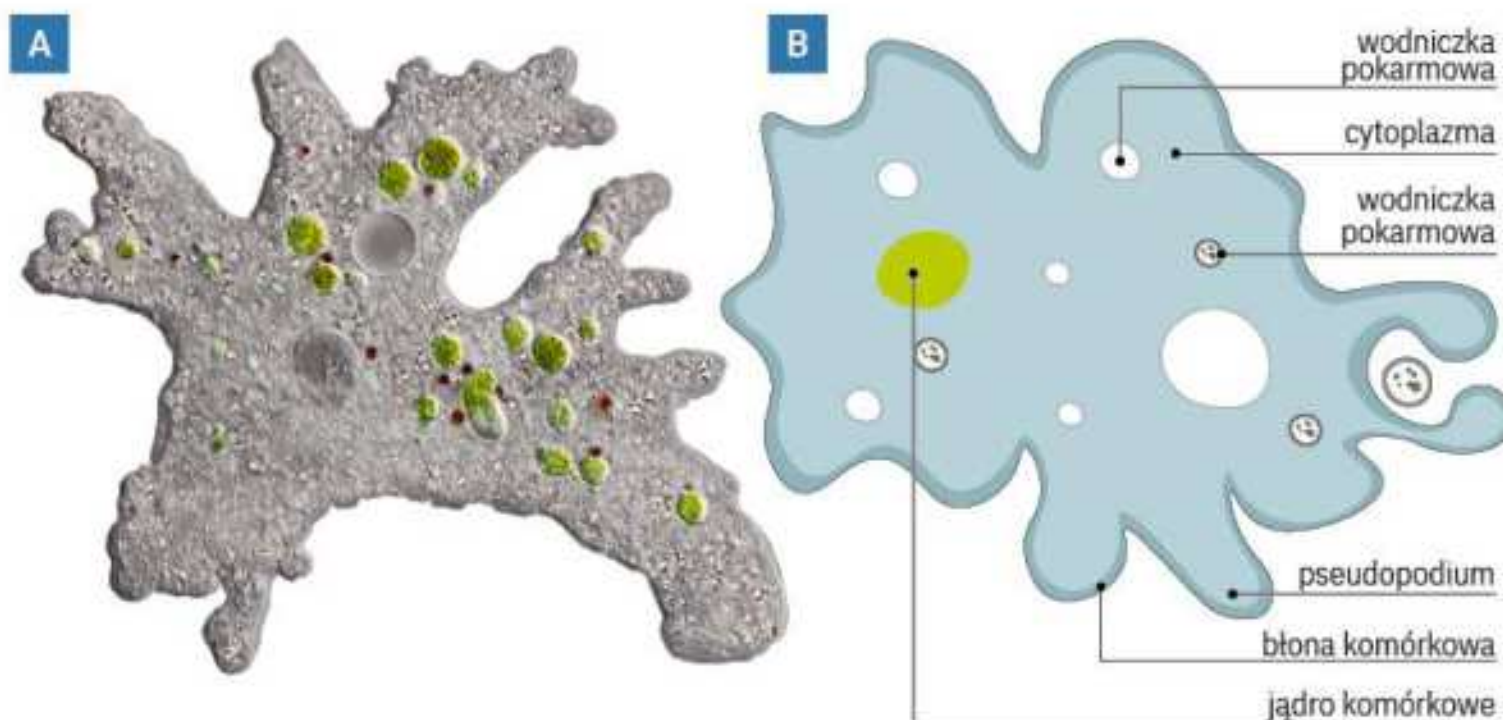
Ryc. IV.1.1. Schemat budowy: A – pantofelka, B – pelikuli.

Poruszanie się i reakcja na bodźce

◀ poruszanie się

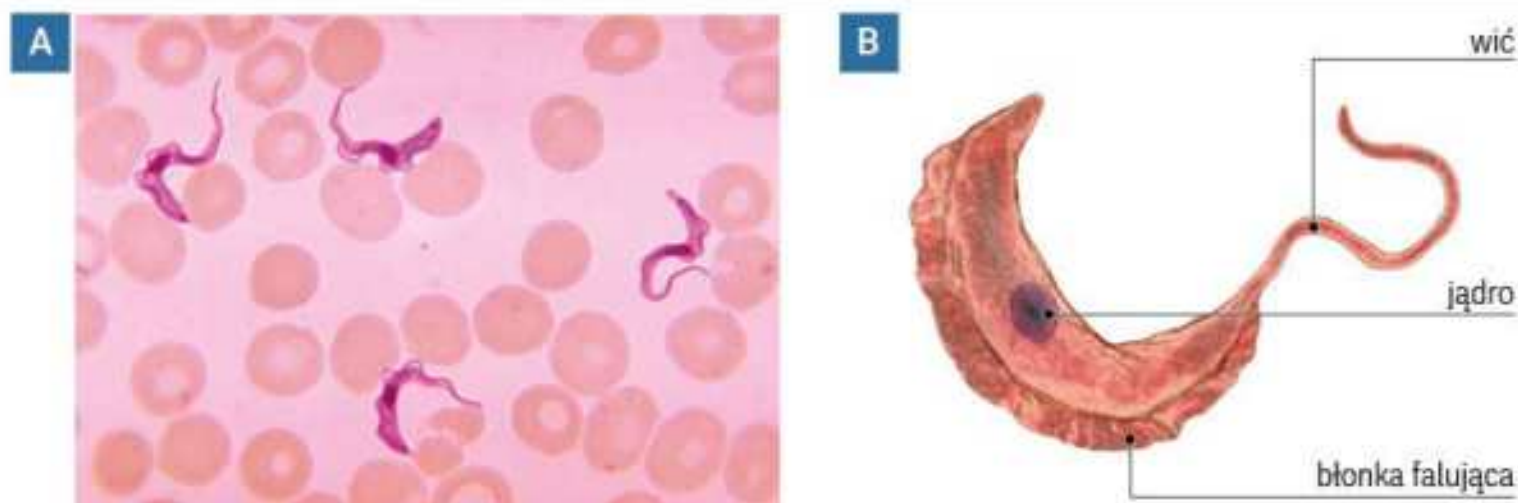
Grubość pelikuli decyduje o sposobie poruszania się. Cienka i elastyczna pelikula umożliwia przyjmowanie różnych kształtów i przemieszczanie się za pomocą wypustek cytoplazmatycznych – tzw. **pseudopodiów (nibynózek, ryc. IV.1.2.)**. W kierunku nibynózek przelewa się pozostała cytoplazma, co powoduje przesuwanie ciała po podłożu. Ten rodzaj ruchu określa się jako pseudopodialny lub ameboidalny, a organizmy, które w taki sposób się poruszają, nazywamy pęczakami. Wiele gatunków wykorzystuje **ruch pseudopodialny** do zdobywania pokarmu.

◀ pseudopodia



Ryc. IV.1.2. Pęczak (*Ameba* sp.) z wysuniętymi pseudopodiami (A – mikrofotografia, B – model).

Gatunki o grubej pellikuli przyjmują stały kształt i nie mogą tworzyć nibynózek. Poruszają się ruchem postępowym za pomocą wici lub rzęsek (**ryc. IV.1.3.**). Taki ruch nazywamy **unidulipodialnym**, a organizmy w taki sposób poruszające się – wiciowcami.



Ryc. IV.1.3. U świdrowca między komórką a wicią rozciąga się błonka falująca – fałd błony komórkowej ułatwiający poruszanie się (A – mikrofotografia, B – model).

Ruch ułatwia organizmom zdobywanie pokarmu i unikanie niekorzystnych warunków środowiska. Reakcja ruchowa – **taksja** – może być spowodowana działaniem m.in. światła (**fototaksja**), związków chemicznych (**chemotaksja**) lub temperatury (**termotaksja**). Taksje mogą być ujemne (ucieczka od bodźca), np. oddalanie się pantofelka od miejsca o dużym stężeniu kwasu moczowego, jak i dodatnie, które umożliwiają pobieranie pokarmu. Reakcją na niekorzystne warunki środowiskowe u niektórych gatunków jest tworzenie cyst przetrwalnikowych. Protista pokrywa się grubą otoczką białkowo-cukrową i w takiej postaci ma zwolniony metabolizm.

Odżywianie

organizmy
heterotroficzne

- Protisty zwierzęce są organizmami heterotroficznymi. Wyróżnia się wśród nich **saprofagi** (odżywiają się martwą materią organiczną), **pasożyty** i **drapieżniki**. Sposób pobierania pokarmu zależy od wielkości cząsteczek pokarmowych. Odżywianie odbywa się na drodze wchłaniania i endocytozy (fagocytozy i pinocytozy). Drobnocząsteczkowe związki organiczne, np. cukry, do których trawienia nie są potrzebne enzymy, są wchłaniane całą powierzchnią komórki na drodze **dyfuzji lub transportu aktywnego**.

Duże cząsteczki pokarmowe lub całe organizmy są pobierane na drodze endocytozy – **fagocytozy** i **pinocytozy**. Z błony komórkowej tworzy się wpuklenie, które otacza pokarm. Po oderwaniu się od błony komórkowej pęcherzyk z pokarmem staje się wodniczką pokarmową.

Fagocytoza i pinocytoza mogą zachodzić na całej powierzchni komórki lub na obszarze cytostomu u gatunków pokrytych pellikulą (np. u pantofelka, **ryc. IV.1.1.**). Cytostom jest miejscem o cienkiej pellikuli, co umożliwia proces endocytozy. Niestrawione resztki pokarmowe są usuwane na drugim obszarze powierzchni komórki – **cytopyge**.

cytopyge

Osmoregulacja i wydalanie

Zbędne produkty przemiany materii protisty usuwają przez błonę komórkową na zasadzie dyfuzji. Proces ten łączy się z osmoregulacją – kontrolą i utrzymaniem wewnątrz organizmu właściwego stężenia różnych substancji. Osmoza polega na przenikaniu przez błonę komórkową wody z roztworu o niższym stężeniu (hipotonicznego) do roztworu o stężeniu wyższym (hipertonicznego). U słodkowodnych gatunków występuje różnica stężeń między hipertonicznym wnętrzem komórek a hipotonicznym środowiskiem życia. Powoduje to ciągły napływ wody do organizmu w celu wyrównania różnicy stężeń. Do usuwania nadmiaru wody służą **wodniczki tętniące**. Ich rytmiczne skurcze wyrzucają do środowiska zewnętrznego wodę wraz z produktami przemiany materii.

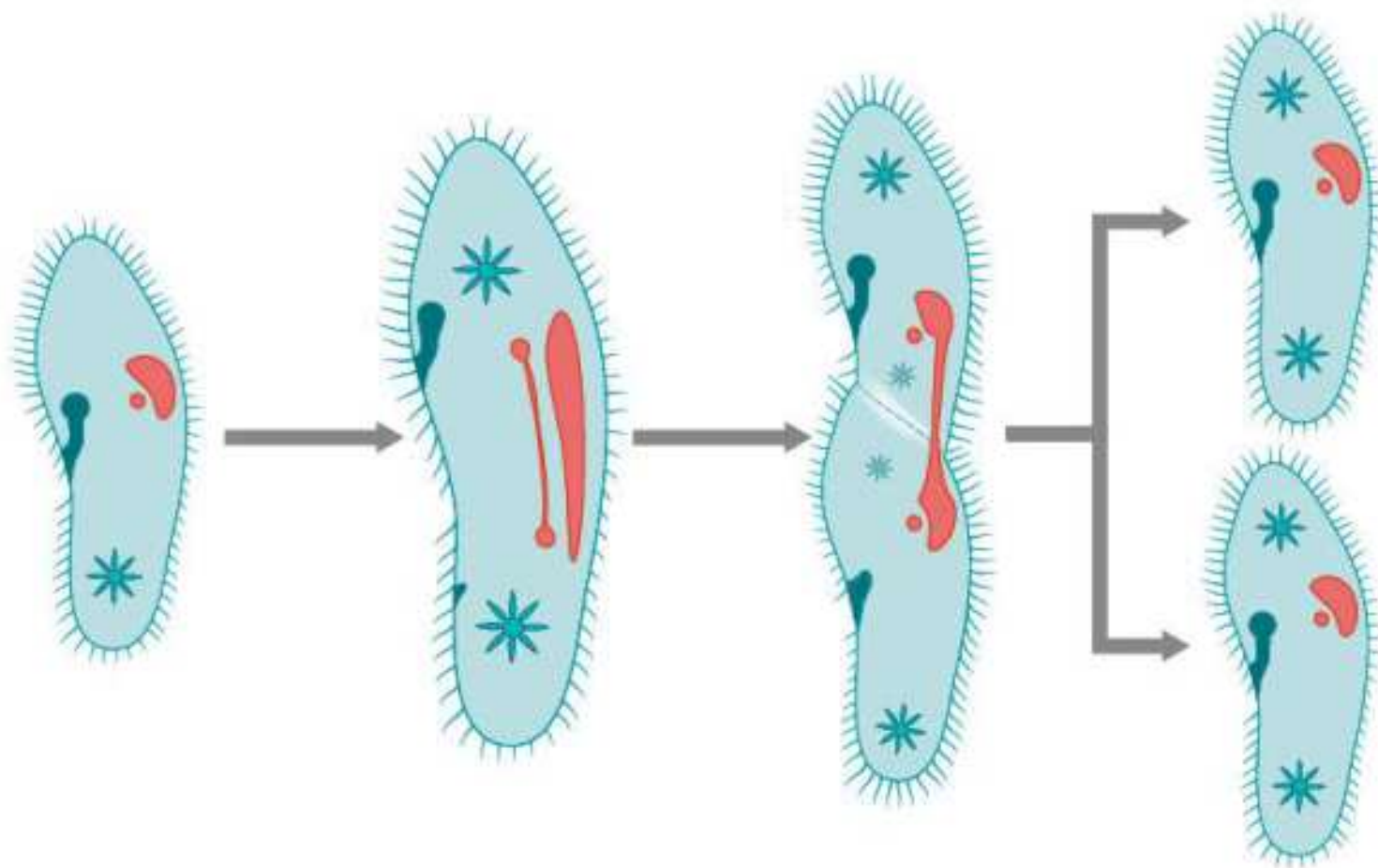
◀ wodniczka tętniąca

Morskie i pasożytnicze gatunki nie mają wodniczek tętniących, ponieważ są izotoniczne (w równowadze) w stosunku do środowiska życia.

Rozmnażanie

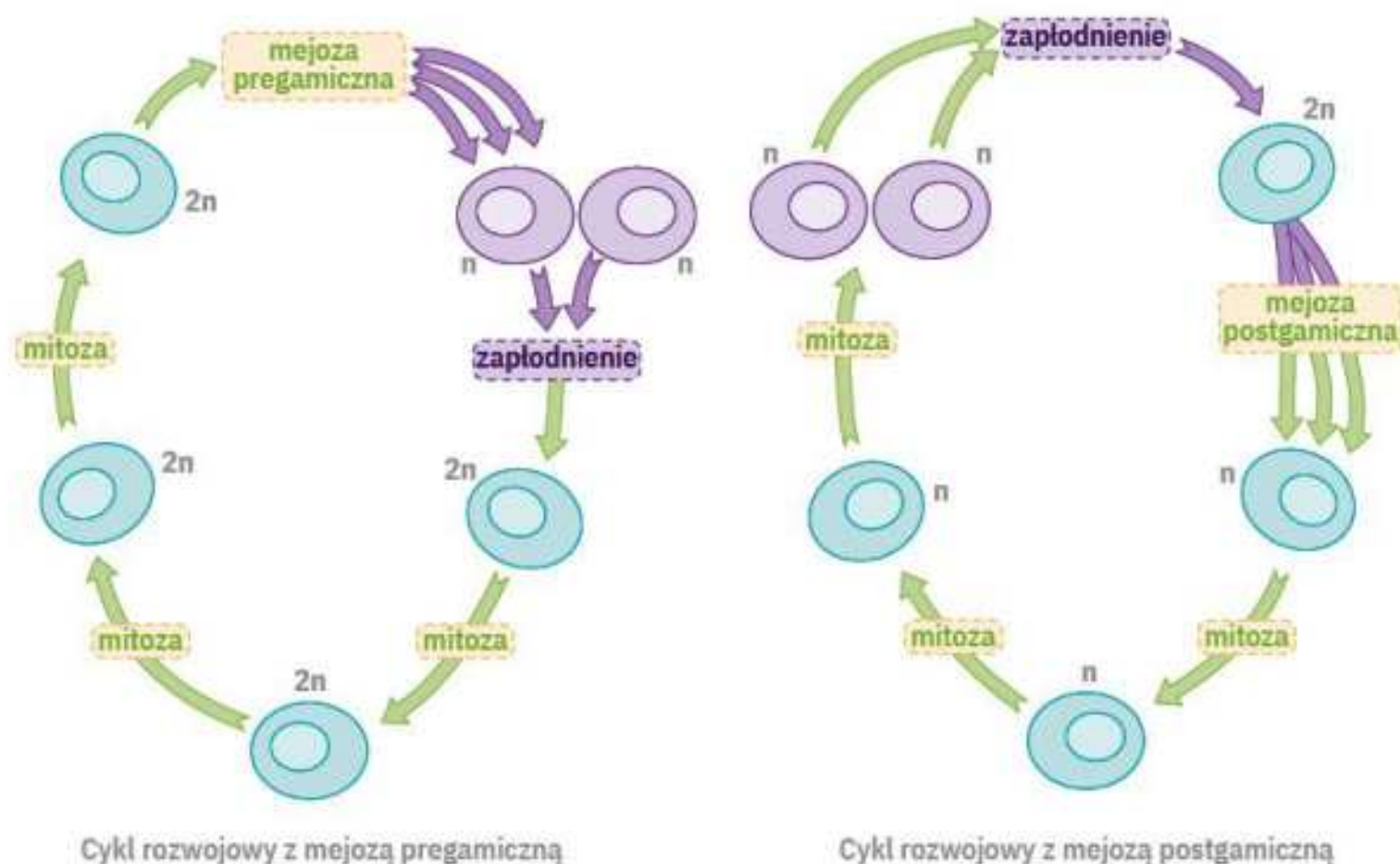
◀ rozmnażanie się

Protisty zwierzęce rozmnażają się zarówno bezpłciowo, jak i płciowo. Rozmnażanie bezpłciowe następuje przez podział komórki (**ryc. IV.1.4.**). U niektórych gatunków pasożytniczych, np. zarodźca malarii, obserwuje się podział wielokrotny – tzw. **schizogonię**, czyli wielokrotny podział jądra, po którym następuje podział cytoplazmy. Prowadzi to do powstania w krótkim czasie dużej liczby osobników potomnych.



Ryc. IV.1.4. Podział poprzeczny pantofelka. Pozwala on na szybkie zwiększenie liczby osobników bez zmiany materiału genetycznego, co wyraźnie zmniejsza szanse na przetrwanie pantofelków w zmiennych warunkach środowiska.

Rozmnażanie płciowe występuje dość rzadko. Polega na łączeniu się gamet haploidalnych (n), podczas którego następuje wymieszanie się materiału genetycznego. Powstaje diploidalna zygota ($2n$), z której rozwija się dojrzały organizm. Następowanie po sobie fazy haploidalnej i diploidalnej jest nazywane **przemianą faz jądrowych**. Wyróżnia się dwa typy przemiany faz jądrowych: z dominującą fazą diploidalną lub z dominującą fazą haploidalną (**ryc. IV.1.5.**).

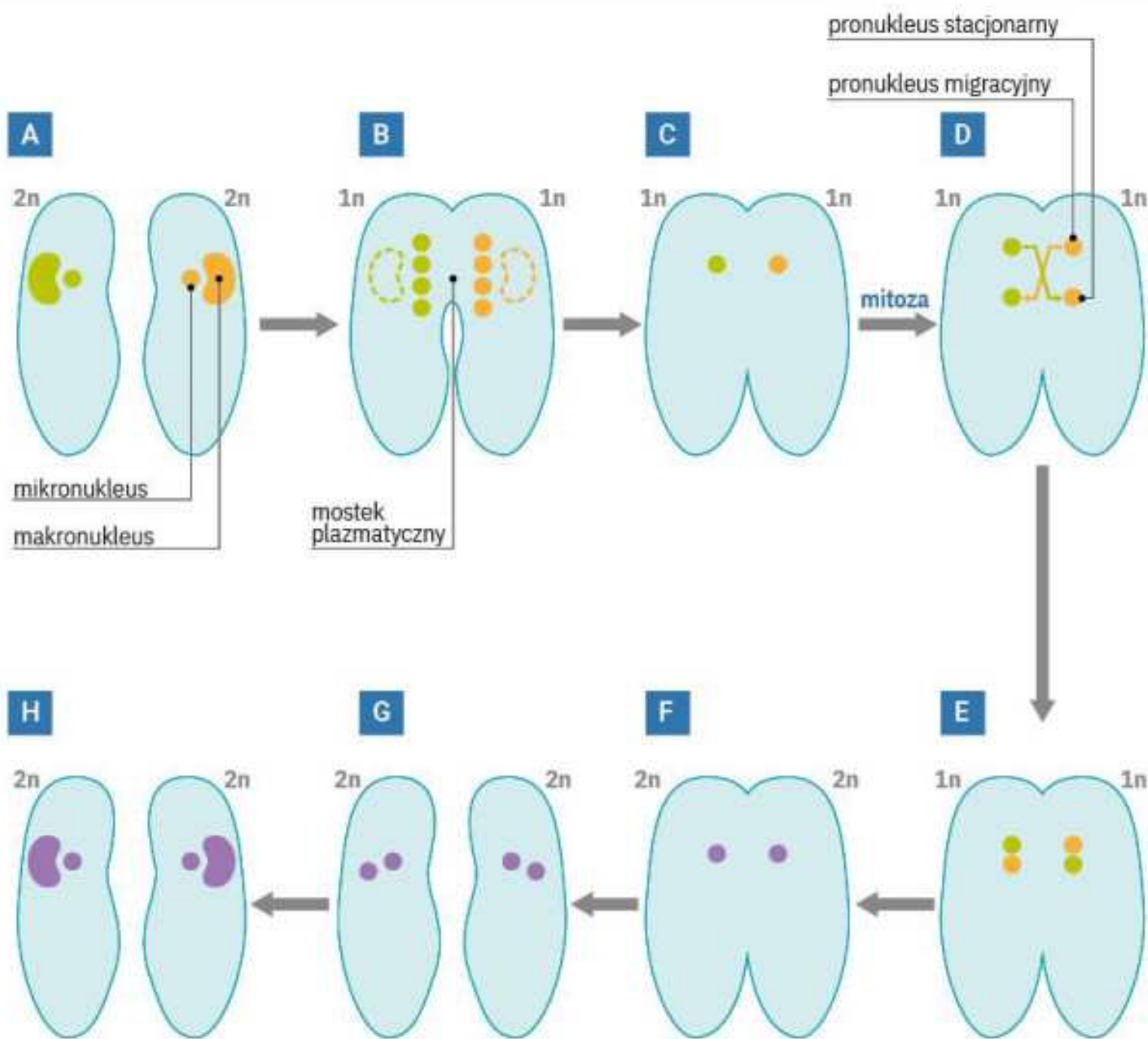


Ryc. IV.1.5. Przemiana faz jądrowych protistów zwierzęcych: A – z mejozą pregamiczną i dominującą fazą diploidalną, B – z mejozą postgamiczną i dominującą fazą haploidalną.

- mejoza pregamiczna ▶ Podczas dominacji fazy diploidalnej, która jest postacią troficzną (długotrwałą, zdolną do podziałów, wzrostu i odżywiania), fazę haploidalną reprezentują tylko gamety. Powstanie gamet poprzedza mejoza (**mejoza pregamiczna – przedzapłodnieniowa**). Jeśli dominuje faza haploidalna, która stanowi postać troficzną, stadium diploidalne jest reprezentowane jedynie przez zygotę, powstałą w wyniku łączenia się gamet. Zygota przechodzi podział mejotyczny, po czym powstają haploidalne postacie troficzne (**mejoza postgamiczna – pozapłodnieniowa**). U większości gatunków postać troficzna jest haploidalna (np. ameba, zarodek malarii). U pantofelki postać troficzna jest diploidalna.
- mejoza postgamiczna ▶

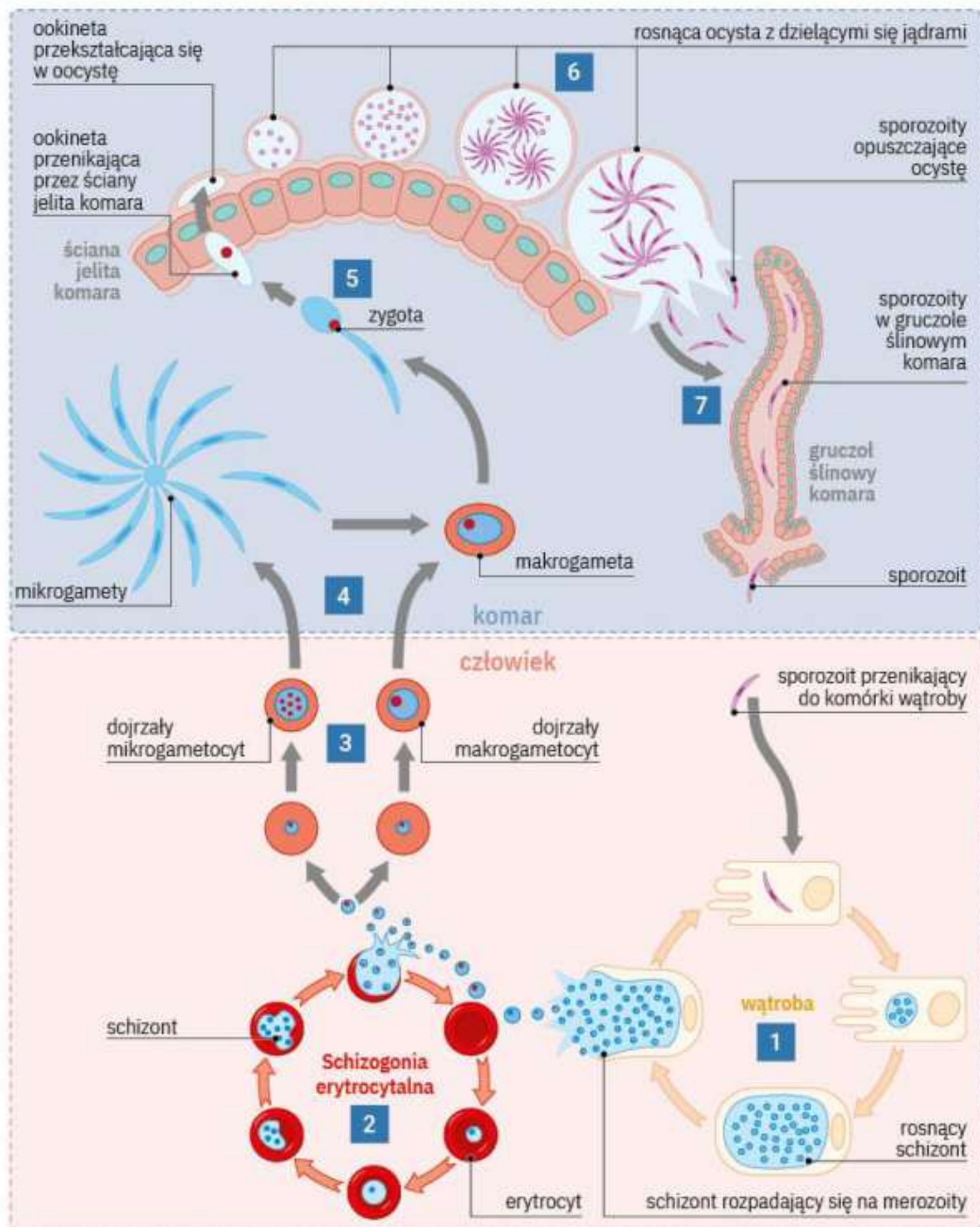
Koniugacja – proces płciowy

- koniugacja ▶ U niektórych gatunków, np. pantofelka, zachodzą procesy płciowe zwiększające różnorodność genetyczną. Takim procesem jest **koniugacja**, podczas której nie wzrasta liczba osobników, a jedynie wymienia się materiał genetyczny (**ryc. IV.1.6.**).



Ryc. IV.1.6. Schemat procesu koniugacji u orzęsków. A – dwa osobniki przed koniugacją, B – połączenie dwóch orzęsków, mejoza mikronukleusa, stopniowy zanik makronukleusa, C – zanikają trzy z czterech jąder haploidalnych w każdym z koniugatów, D – mitozą jądra haploidalnego i powstanie pronukleusów, E – przejście jąder migracyjnych do sąsiednich komórek, F – połączenie się pronukleusów i powstanie dwóch jąder diploidalnych o wymieszanym materiale genetycznym, G – rozdzielanie się orzęsków i podział mitotyczny jądra $2n$, H – odtworzenie mikronukleusa ($2n$) i makronukleusa (wiele n) w obu orzęskach.

Specyficzny cykl rozwojowy z mejozą postgamiczną przechodzi zarodek malarii. Człowiek jest żywicielem pośrednim – w jego krwi zachodzi schizogonia, a żywicielem ostatecznym jest komar widliszek, w którego organizmie zachodzi rozmnażanie płciowe i wytworzenie stadiów inwazyjnych (**ryc. IV.1.7.**).



Ryc. IV.1.7. Cykl rozwojowy zarodźca malarii. 1. Po ukłuciu komara formy inwazyjne – sporozoity dostają się do komórek wątroby, gdzie dzielą się wielokrotnie na merozoity, które atakują kolejne komórki wątroby. 2. Niektóre merozoity przedostają się do erytrocytów i dzielą się wielokrotnie, atakując następne krwinki. 3. Część form inwazyjnych przekształca się w postacie macierzyste gamet. 4. Podczas ponownego ukąszenia formy te zostają wessane z krwią do przewodu pokarmowego komara. 5. Gamety dojrzewają, dochodzi do zapłodnienia, a zygota przekształca się w ookinetę, a następnie w oocystę. 6. Oocysta dzieli się wielokrotnie w śliniankach komara, dając postacie inwazyjne. 7. W czasie ukąszenia komara sporozoity dostają się do organizmu kolejnego człowieka.

Obserwacja

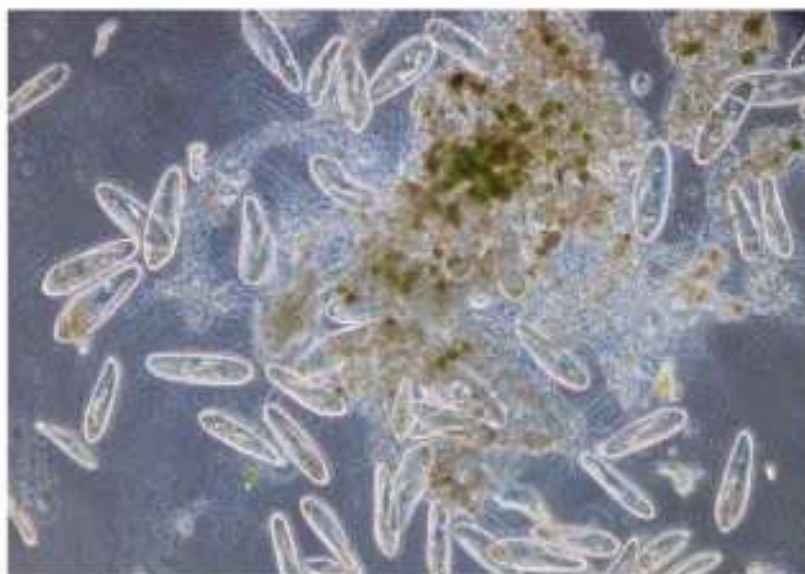


Obserwacje mikroskopowe pantofelków

Zakładanie hodowli pantofelków

Odrobinę siana z łąki lub suchych liści włóż do szklanego słoika lub zlewki i zalej wodą z naturalnego zbiornika wodnego, np. stawu. Całość pozostaw, nie zakręcając, na 14 dni w ciepłym i ciemnym miejscu.

Aby dokonać obserwacji, przenieś pipetą krople wody z warstw powierzchniowych na szkiełko podstawowe i wykonaj preparat mikroskopowy. Pod mikroskopem zaobserwujesz poruszające się pantofelki.



ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Przedstaw związek między sposobami odżywiania się protistów zwierzęcych a ukształtowaniem powierzchni ciała.
2. Wyjaśnij przystosowania protistów zwierzęcych do heterotroficznego sposobu odżywiania.
3. Porównaj w zeszycie zjawisko osmoregulacji protistów słodkowodnych, morskich i pasożytniczych.
4. Porównaj przebieg i znaczenie procesu koniugacji bakterii i protistów zwierzęcych.



PODSUMOWANIE LEKCJI

- **Protisty zwierzęce** to organizmy jednokomórkowe przypominające w budowie komórkę zwierzęcą. ◀ s. 70
- Powierzchnię ciała protistów pokrywa **pellikula**. ◀ s. 70
- Protisty zwierzęce **poruszają się za pomocą wici**, rzęsek, nibynózek. ◀ s. 71
- Protisty mają **jedno lub wiele jednakowych jąder komórkowych**. U pantofelka są dwa różne jądra komórkowe: makronukleus (kierujący czynnościami życiowymi komórki) i mikronukleus (uczestniczący w procesach płciowych). ◀ s. 70
- **Odżywiają się heterotroficznie** na drodze wchłaniania lub endocytozy (fagocytozy i pinocytozy). U gatunków pokrytych pellikulą endocytoza zachodzi na obszarze cytostomu, a wydalanie niestrawionych resztek pokarmowych dokonuje się przez cytopyge. ◀ s. 72
- Zbędne produkty przemiany materii są usuwane na drodze dyfuzji przez błonę komórkową. Słodkowodne gatunki hipertoniczne w stosunku do środowiska usuwają nadmiar wody przez **wodniczki tętniące**. ◀ s. 73
- Protisty **rozmnażają się bezpłciowo** przez mitotyczny podział komórki oraz płciowo z przemianą faz jądrowych (z mejozą postgamiczną i mejozą pregamiczną). ◀ s. 73
- U niektórych gatunków występuje proces płciowy – **koniugacja** – polegający na wymianie materiału genetycznego bez zwiększenia liczby osobników. ◀ s. 74

2. Protisty roślinopodobne i grzybopodobne

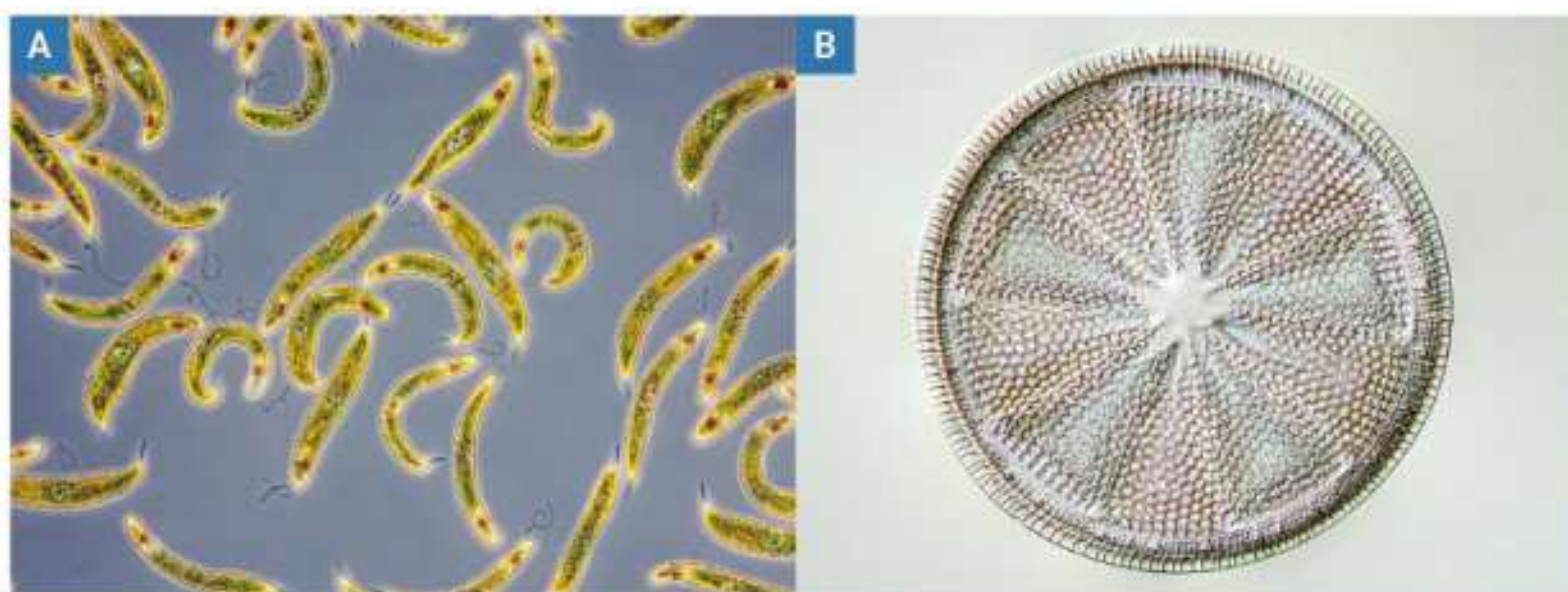
NA TEJ LEKCJI:

- dowiesz się, czym charakteryzują się protisty roślinopodobne i grzybopodobne;
- poznasz przemiany pokoleń;
- prześledzisz czynności życiowe protistów roślinopodobnych.

protisty
roślinopodobne

► Komórki **protistów roślinopodobnych** mają szereg cech komórek roślinnych, m.in. chloroplasty i celulozową ścianę komórkową. **Chloroplasty** są otoczone przez trzy lub cztery błony komórkowe w przeciwieństwie do podwójnej błony komórkowej chloroplastów roślinnych. Różna liczba błon w chloroplastach jest wynikiem **endosymbiozy wtórnej**. Organizmy te wykazują zróżnicowanie budowy morfologicznej: od form jednokomórkowych po formy kolonijne i wielokomórkowe.

Wśród form jednokomórkowych wyróżnia się m.in. **formy wiciowe oraz kokalne** – biernie unoszone w wodzie (**ryc. IV.2.1.**).



Ryc. IV.2.1. Formy jednokomórkowe protistów roślinopodobnych: (A) wiciowiec (euglena zielona), (B) forma kokalna (okrzemka).

plecha ► Formy wielokomórkowe tworzą **plechy**, nieodróżnicowane na tkanki i wyspecjalizowane organy (liście, korzenie, łodygi). Wyróżnia się trzy rodzaje plech: nitkowate, plektenchymatyczne i tkankowe.

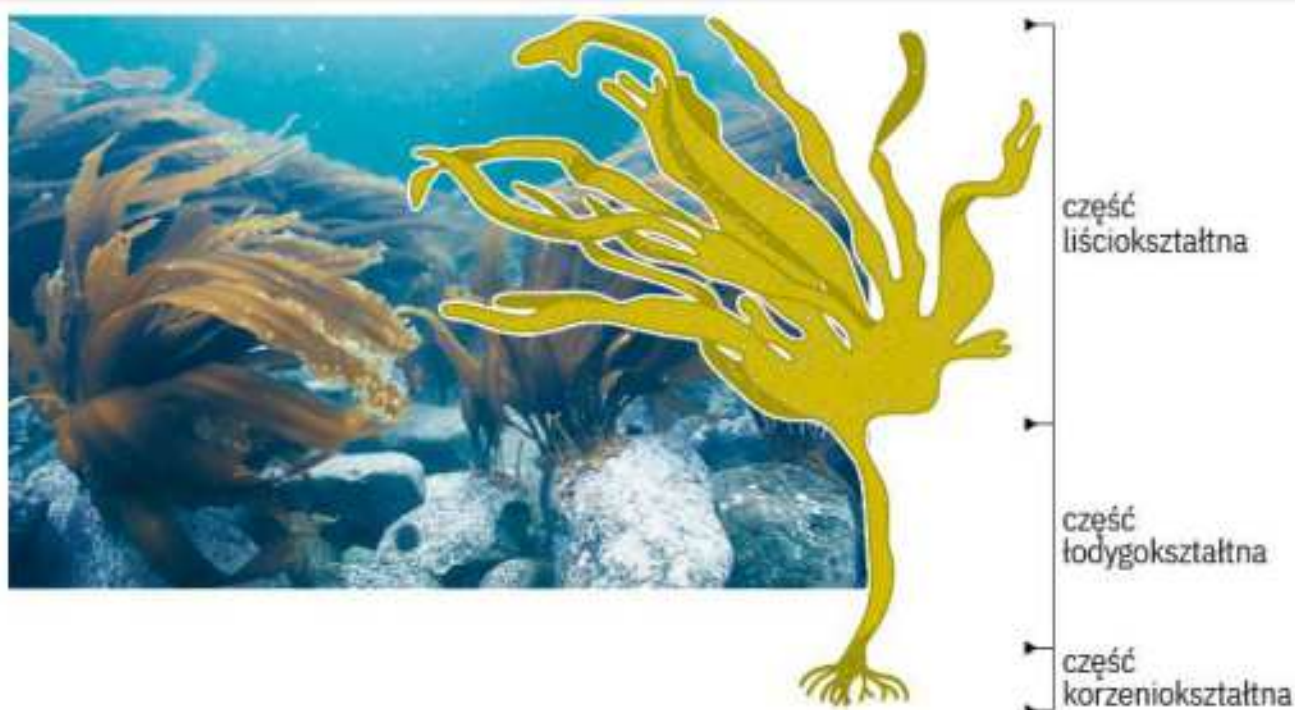
Plechy nitkowate składają się z komórek ułożonych liniowo. Niekiedy mogą tworzyć rozgałęzione nici. Komórki w jednej nici mogą być nieodróżnicowane, a u form osiadłych często następuje ich specjalizacja do pełnienia określonej funkcji. W plechach plektenchymatycznych wielokomórkowe nici łączą się ze sobą za pomocą substancji śluzowych i ściśle przylegają, tworząc tzw. nibytkanę – **plektenchymę**.

plektenchyma

Najbardziej zróżnicowaną plechą jest **plecha tkankowa**, charakterystyczna dla np. listownicy czy morskczynu (ryc. IV.2.2.). W budowie zewnętrznej (morfologicznej) tej plechy wyróżnia się część **liściokształtną**, **łodygokształtną** i **korzeniokształtną**. W budowie wewnętrznej (anatomicznej) wyodrębnia się rdzeń, którego komórki odpowiadają za transport produktów fotosyntezy, oraz korę z komórkami z chloroplastami.



Ryc. IV.2.2. Morskczyn pęcherzykowaty (*Fucus vesiculosus*), którego wysokość plechy dochodzi do 1 m. Do podłoża jest przytwierdzony za pomocą tarczki. Na końcach rozgałęzień plechy umieszczone są organy rozmnażania.



Ryc. IV.2.3. Listownica – budowa morfologiczna plechy.

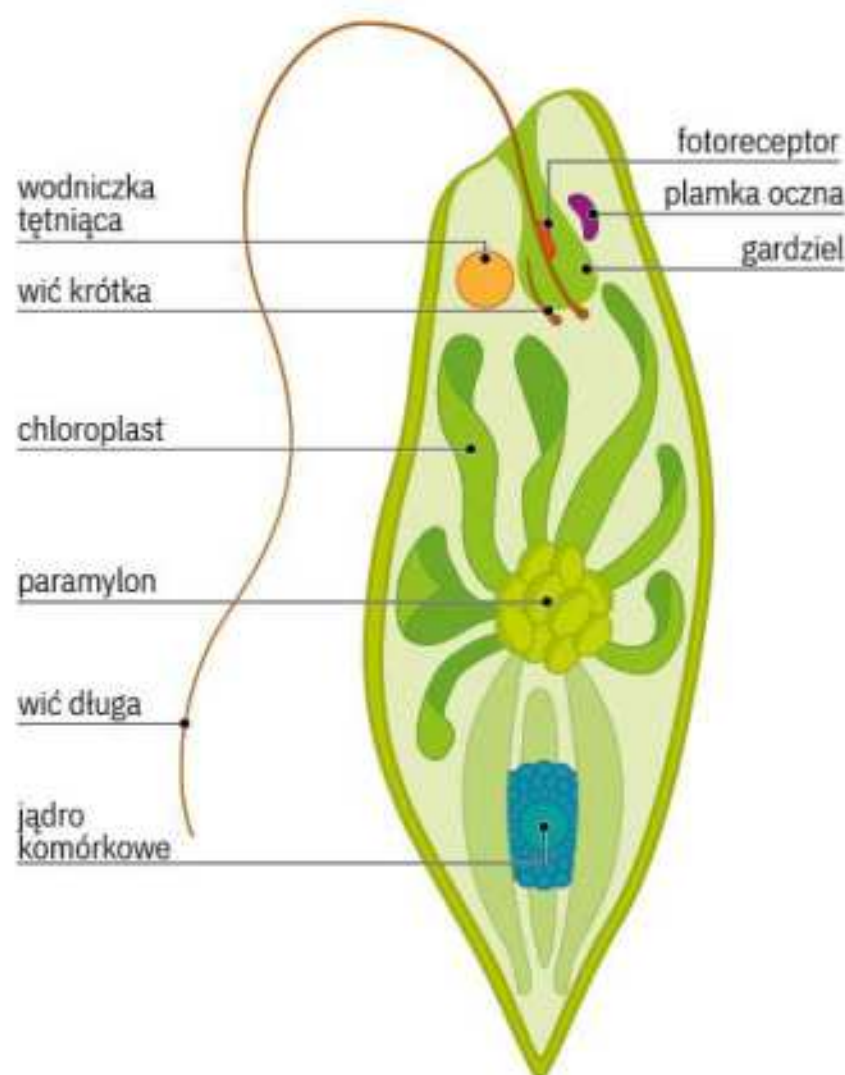
Odżywianie

◀ odżywianie

Protisty roślinopodobne są organizmami samożywymi. Proces fotosyntezy zachodzi w chloroplastach, które zawierają **barwniki fotosyntetyczne**. Podstawowym barwnikiem jest chlorofil, który w zależności od pionowego występowania gatunków w zbiorniku wodnym występuje w postaci chlorofilu *a*, *b* i *c* (absorbują światło o innej długości fali świetlnej). Dodatkowo chlorofilowi towarzyszą inne barwniki, np. **karotenoidy** (pomarańczowy karoten, czerwony likopen, żółte ksantofile: fukoksantyna, luteina) czy **barwniki fikobilinowe** (czerwona fikocerytryna i niebieska fikocyjanina). Produkty fotosyntezy (skrobia, paramylon i tłuszcz) są magazynowane jako **materiały zapasowe** w cytoplazmie komórki, ścianie komórkowej czy w specjalnych strukturach, tzw. **pirenoidach** (znajdujących się w chloroplastach).

◀ materiały zapasowe

miksotrofizm ➤ U niektórych gatunków występuje zjawisko **miksotrofizmu**. Miksotrofem jest euglena zielona, która w zależności od dostępu do światła zmienia sposób odżywiania – gdy występuje dostateczna ilość światła, jest samożywna, a przy braku lub niedostatecznej ilości światła odżywia się cudzożywnie (**ryc. IV.2.4.**)



Ryc. IV.2.4. Euglena zielona (*Euglena viridis*) – gatunek odżywiający się miksotroficznie. Dzięki obecności chloroplastów może przeprowadzać fotosyntezę, a przy niedostatecznej ilości światła przechodzi na cudzożywność. Plamka oczna (stigma, światłoczuła) pozwala na odróżnianie światła od ciemności, a fotoreceptor reaguje na natężenie światła. W przedniej części komórki znajduje się wgłębienie – gardziel, z której wyrastają dwie nici – długa nić służy do aktywnego poruszania się.

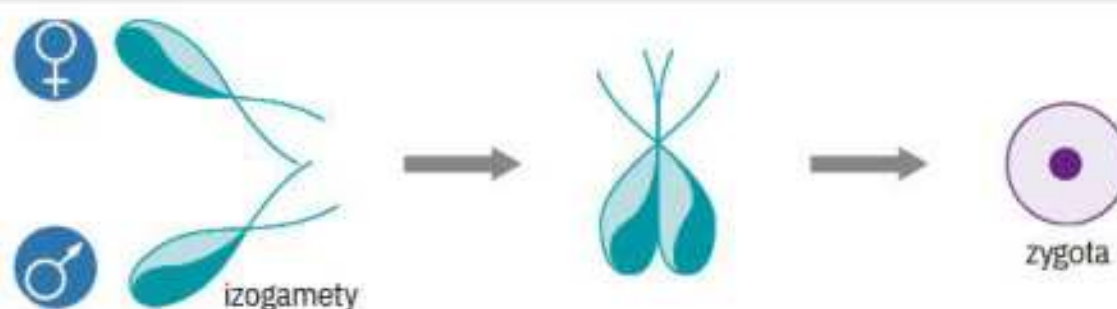
rozmnażanie ➤ Rozmnażanie

Protisty roślinopodobne rozmnażają się bezpłciowo przez podział komórki (podział podłużny, najprostsze formy jednokomórkowe), przez fragmentację plechy (formy wielokomórkowe) oraz za pomocą rozmnożek (duże formy brunatnic). **Rozmnożki** są specjalnymi strukturami, które po oderwaniu się od organizmu macierzystego dają początek nowym osobnikom potomnym. Powszechnym sposobem rozmnażania bezpłciowego jest wytwarzanie zarodników (spor). **Zarodniki** są przeważnie zaopatrzone w wici, za pomocą których się poruszają. Takie zarodniki nazwano **zoosporami** (pływkami) w odróżnieniu do zarodników bez zdolności ruchu – **aplanospor**. Zarodniki powstają w specjalnych strukturach – **zarodniach** (sporangiach). w wyniku procesu mejozy (są haploidalne).

Wielokomórkowe gatunki protistów rozmnażają się płciowo. Gamety powstają w specjalnych jednokomórkowych organach – gametangiach. **Gametangia**, w których powstają gamety żeńskie – komórki jajowe – to **lęgnie**, a gametangia wytwarzające gamety męskie – plemniki – to **plemnie**. Gamety łączą się w procesie zapłodnienia – gamii – tworząc zygotę, która daje początek nowemu organizmowi. W zależności od rodzaju gamet wyróżnia się następujące typy zapłodnienia: izogamię, anizogamię i oogamię.

Izogamia to proces zapłodnienia, w którym biorą udział dwie identyczne morfologicznie gamety (izogamety) – komórka jajowa i plemnik zaopatrzone w wici (ryc. IV.2.5.).

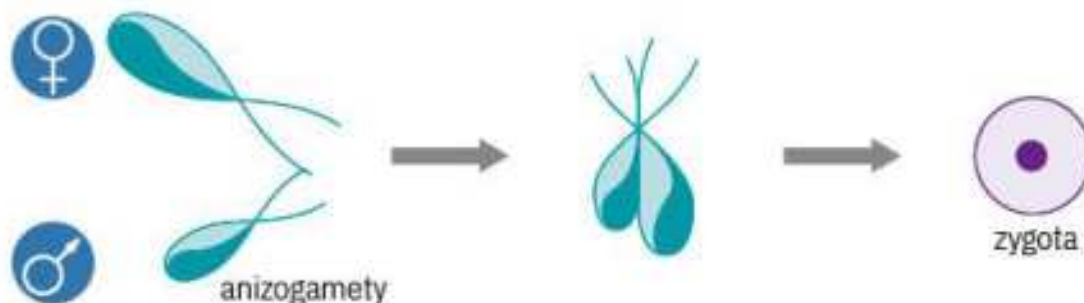
◀ izogamia



Ryc. IV.2.5. Izogamia.

Anizogamia to proces zapłodnienia, w którym biorą udział dwie gamety różniące się wielkością (większa gameta pełni funkcję komórki jajowej, ryc. IV.2.6.).

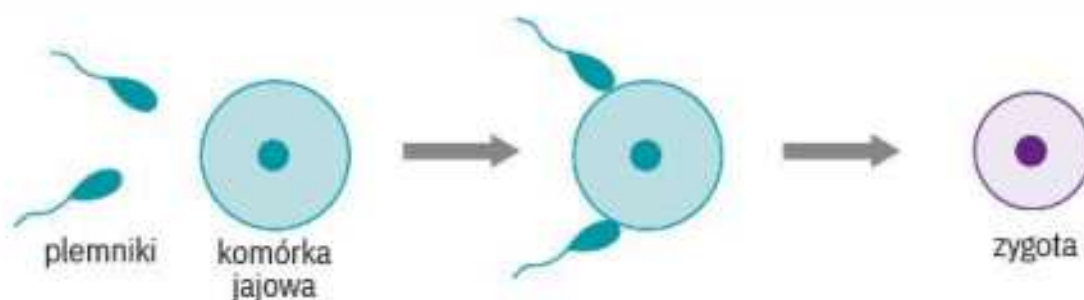
◀ anizogamia



Ryc. IV.2.6. Anizogamia.

Oogamia to proces zapłodnienia, w którym uczestniczą dwie różne gamety – duża nieruchliwa gameta żeńska – komórka jajowa – i mała ruchliwa z wicią gameta męska – plemnik (ryc. IV.2.7.).

◀ oogamia



Ryc. IV.2.7. Oogamia.

W cyklu życiowym protistów roślinopodobnych występuje przemiana faz jądrowych związana z przemianą pokoleń (podobnie jak u roślin). Regularne następowanie po sobie pokolenia diploidalnego rozmnażającego się bezpłciowo za pomocą zarodników – sporofitu – i haploidalnego rozmnażającego się płciowo za pomocą gamet – gametofitu – nazywamy **przemianą pokoleń**. W zależności od różnic w budowie morfologicznej między gametofitem i sporofitem wyróżniamy przemianę pokoleń izomorficzną i przemianę heteromorficzną z dominacją jednego z pokoleń – gametofitu lub sporofitu.

zygota kielkująca

zygota

2n

zarodnie

mejoza

sporofit

gametofit męski

plemniki - 1n

gametofit żeński

komórka jajowa - 1n

zapłodnienie

komórka jajowa

82

Protisty grzybopodobne

Protisty grzybopodobne różnią się od grzybów budową ściany komórkowej i strzępek. Ich ściana komórkowa jest zbudowana z **celulozy**, a komórki strzępek są zaopatrzone w **wici** – w odróżnieniu od grzybów, które mają chitynową ścianę komórkową i bezwiciowe komórki. Ich ciało jest zbudowane z nitkowatych, wielokomórkowych lub komórczakowych strzępek. Są organizmami cudzożywnymi – saprofitami lub pasożytami. Niektóre, jak śluzowce, mają ciało w postaci **śluznia** (plazmodium) – wielojądrowej masy cytoplazmy, która porusza się ruchem pełzawkowym. Dzięki tej zdolności mogą się odżywiać na drodze fagocytozy, pochłaniając cząsteczki organiczne, bakterie czy protisty zwierzęce.

◀ protisty grzybopodobne

◀ śluznia

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Przedstaw cechy budowy protistów roślinopodobnych wspólne z komórkami roślinnymi.
2. Wyjaśnij, jakie znaczenie ma różnorodność barwników fotosyntetycznych protistów roślinopodobnych.
3. Omów znaczenie zjawiska miksotrofizmu w adaptacji do zmiennych warunków środowiska.
4. Przedstaw na przykładach różnice między przemianą pokoleń izomorficzną a heteromorficzną.
5. Porównaj budowę chemiczną ściany komórkowej u poznanych protistów roślinopodobnych i grzybopodobnych.



PODSUMOWANIE LEKCJI

- **Protisty roślinopodobne** to w większości organizmy jednokomórkowe przypominające w budowie komórkę roślinną. Mogą tworzyć kolonie lub wielokomórkowe plechy. ◀ s. 78
- **Plechy** protistów roślinopodobnych nie tworzą tkanek. ◀ s. 78
- Protisty **odżywiają się autotroficznie**, a proces fotosyntezy zachodzi w chloroplastach zawierających różne barwniki fotosyntetyczne. ◀ s. 79
- **Materiały zapasowe** są gromadzone w cytoplazmie komórki, ścianie komórkowej, a także w pirenoidach. ◀ s. 79
- U niektórych gatunków protistów występuje **miksotrofizm**, czyli zmiana sposobu odżywiania w zależności od dostępu światła. ◀ s. 80
- Protisty **rozmnażają się bezpłciowo** (przez podział komórki, fragmentację plechy, rozmnożki i zarodniki) oraz płciowo za pomocą gamet (izogamia, anizogamia i oogamia). ◀ s. 80
- W cyklu rozwojowym protistów wyróżniamy **dwa typy przemiany pokoleń**: izomorficzną i heteromorficzną. ◀ s. 82
- **Protisty grzybopodobne** mają ścianę komórkową zbudowaną z celulozy i zdolność do poruszania się. ◀ s. 83

3. Przegląd i znaczenie protistów

NA TEJ LEKCJI:

- zapoznasz się z przeglądem systematycznym protistów;
- dowiesz się, jakie choroby są wywoływane przez protisty;
- zrozumiesz znaczenie protistów w przyrodzie i gospodarce człowieka.

Protisty były pierwszymi organizmami eukariotycznymi na Ziemi (z gr. *protos* – pierwszy, najdawniejszy). Systematyka tej grupy nie jest jednoznaczna i w literaturze można spotkać wiele różniących się klasyfikacji. Związki między poszczególnymi grupami protistów nadal pozostają niejasne.

protisty zwierzęce

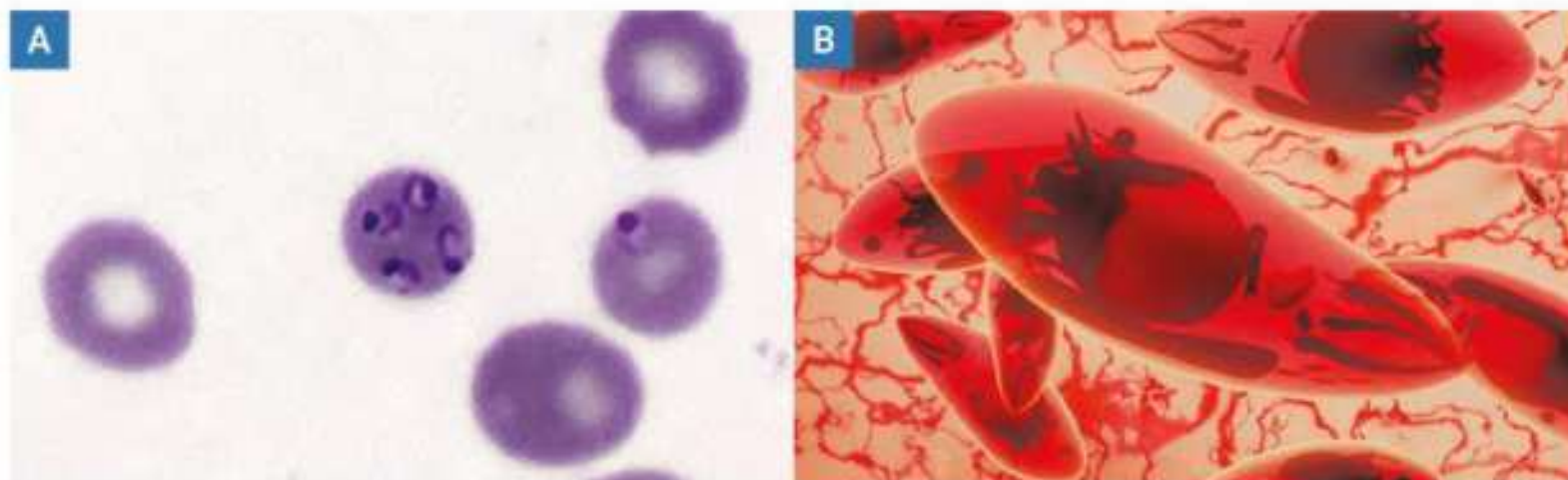
► Protisty zwierzęce

Protisty zwierzęce są jednokomórkowymi organizmami o kształcie ciała wydłużonym lub kulistym, otoczonymi błoną komórkową. Poruszają się za pomocą wici, rzęsek lub nibynózek w środowiskach wodnych lub wilgotnych środowiskach lądowych. Formy pasożytnicze żyją w organizmie żywiciela. Są organizmami cudzożywymi. Mają zazwyczaj jedno jądro komórkowe (wyjątek stanowią orzęski, u których występują dwa jądra) i wodniczki tętniące umożliwiające proces osmoregulacji (z wyjątkiem gatunków morskich i pasożytniczych).

Wśród protistów zwierzęcych wyodrębnia się następujące grupy: sporowce, orzęski, kinetoplastydy, ameby, *Parabasalia*, otwornice, promienionózki.

Sporowce (*Apicomplexa* lub *Sporozoa*)

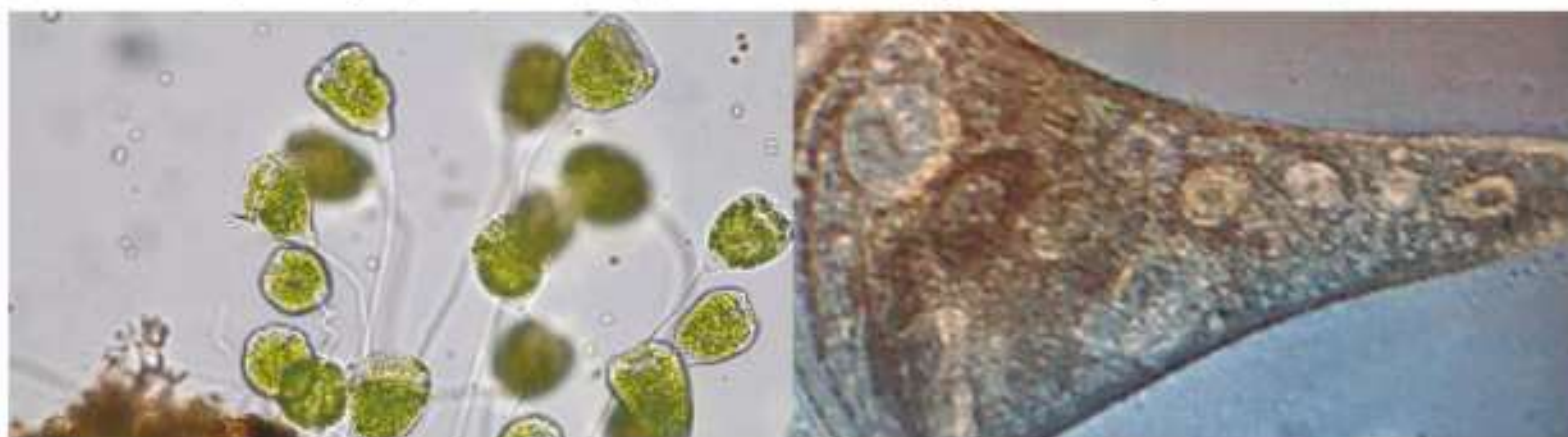
Są to jednokomórkowe, wyspecjalizowane pasożyty zwierząt wywołujące poważne choroby, m.in. malarię. Nie mają organelli ruchu, a poruszają się przez wyginanie ciała. Cechą charakterystyczną sporowców jest podział komórki – schizogonia, który stanowi przystosowanie do pasożytniczego trybu życia. Przedstawicielami sporowców są m.in. zarodek malaryczny *Plasmodium malariae* oraz *Toxoplasma gondii* (ryc. IV.3.1.).



Ryc. IV.3.1. Sporowce pasożytnicze człowieka: (A) zarodek malaryczny *Plasmodium malariae* (plasmodium malarie), (B) *Toxoplasma gondii*.

Orzęski (Ciliata)

Orzęski poruszają się za pomocą rzęsek w środowisku słodkowodnym i słonowodnym. Ruchy rzęsek są niezwykle skoordynowane, co pozwala na ruch do przodu i tyłu oraz obracanie się wokół własnej osi. Niektóre gatunki są osiadłe, a ruch rzęsek ułatwia im zdobycie pokarmu. Ciało orzęsek jest pokryte pelikulą. Orzęski różnią się od pozostałych protistów zwierzęcych obecnością dwóch jąder: dużego makronukleusa i małego mikronukleusa. U większości z nich występuje proces płciowy – koniugacja. Wśród orzęsków można wyróżnić gatunki symbiotyczne żyjące w różnych odcinkach przewodu pokarmowego ssaków roślinożernych. Orzęski ułatwiają ssakom trawienie celulozy. Do orzęsków zaliczamy m.in. pantofelka (*Paramecium*), wirczyka (*Vorticella*) i trębacza (*Stentor*) (ryc. IV.3.2, ryc. IV.3.3.).



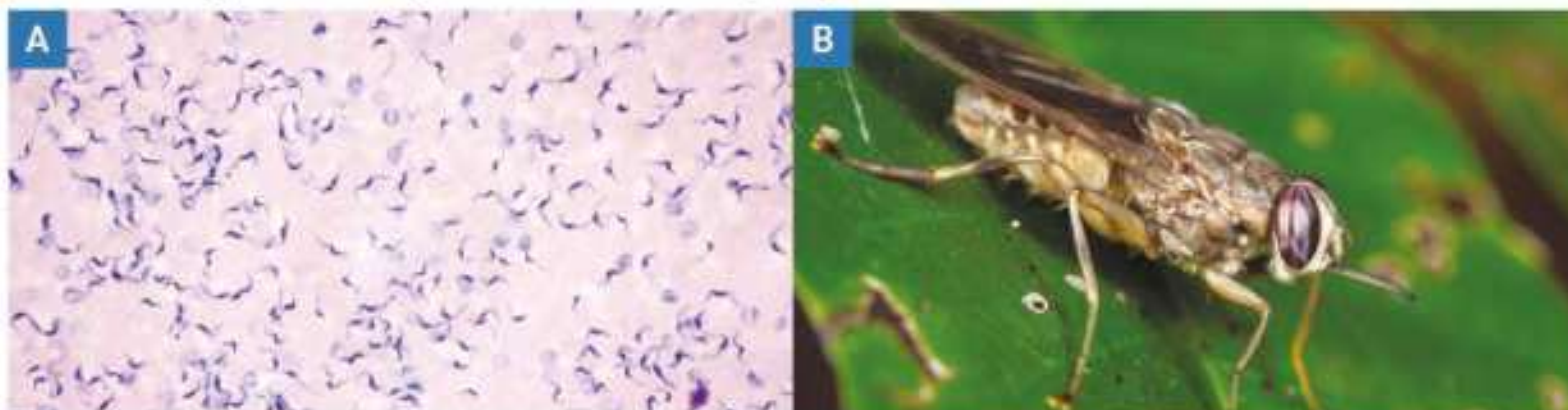
Ryc. IV.3.2. Wirzyk – drapieżny orzęsek, który przyczepia się do podłoża za pomocą kurczliwych nóżek, kształtem podobny do odwróconego dzwonu.

Ryc. IV.3.3. Trębacz – pospolity orzęsek osiadły w wodach słodkich, często hodowany w laboratorium, odznaczający się niezwykłymi zdolnościami do regeneracji. Makronukleus występuje w postaci łańcucha koralików.

Kinetoplastydy (Kinetoplastida)

Do kinetoplastydów zalicza się zarówno organizmy wolno żyjące, jak i pasożytnicze (pasożyty człowieka i zwierząt kręgowych).

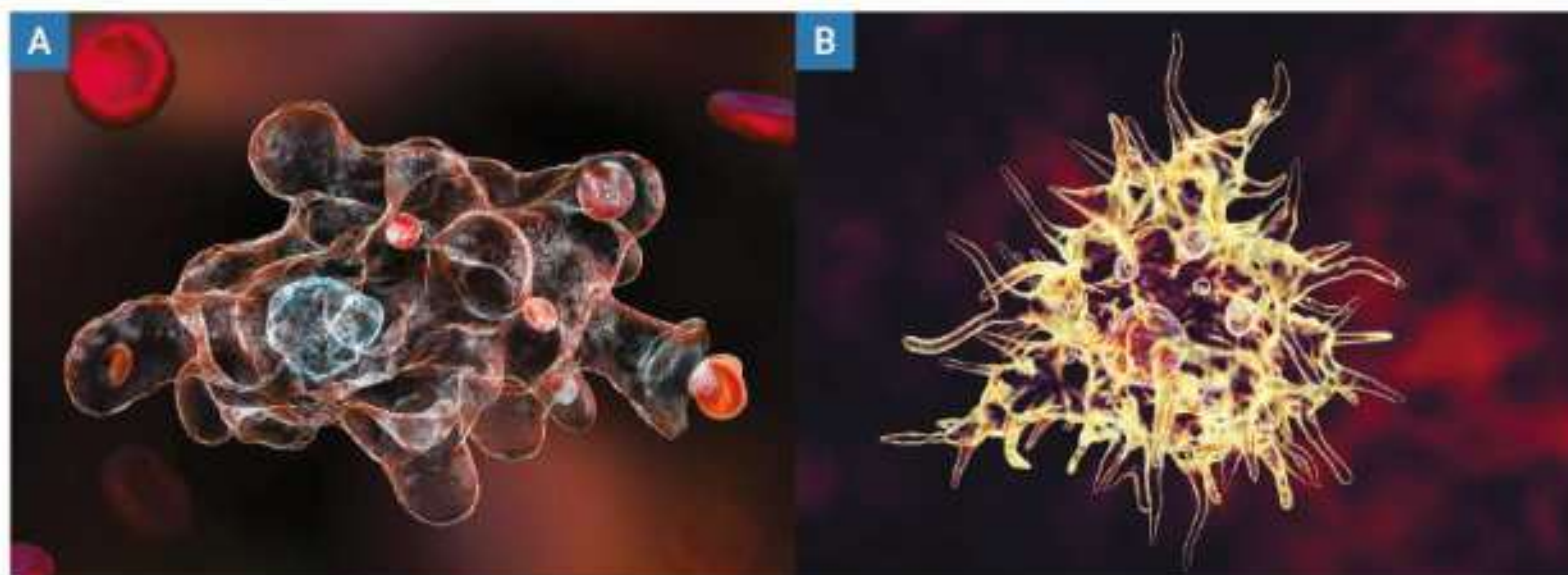
Cechą charakterystyczną tej grupy jest kinetoplast – struktura, która znajduje się u nasady wici i budową przypomina mitochondrium. Kinetoplast dostarcza energii niezbędnej do aktywnego poruszania się. U pasożytów występuje błonka falująca, która umożliwia poruszanie się w płynach ustrojowych żywiciela. Przedstawicielami tej grupy są świdrowce (*Trypanosomatidae*, czyt. trypanosomatide) wywołujące wiele groźnych chorób, jak świdrowiec gambijski (*Trypanosoma gambiense*) i rodezyjski (*Trypanosoma rhodesiense*, czyt. rodes) powodujący śpiączkę afrykańską przenoszoną przez muchy tse-tse (*Glossina* sp.) (ryc. IV.3.4.).



Ryc. IV.3.4. Świdrowiec gambijski we krwi człowieka (A) i mucha tse-tse (B), której zasięg występowania wyznacza obszar zapadania na śpiączkę afrykańską.

Ameby (Amoebozoa)

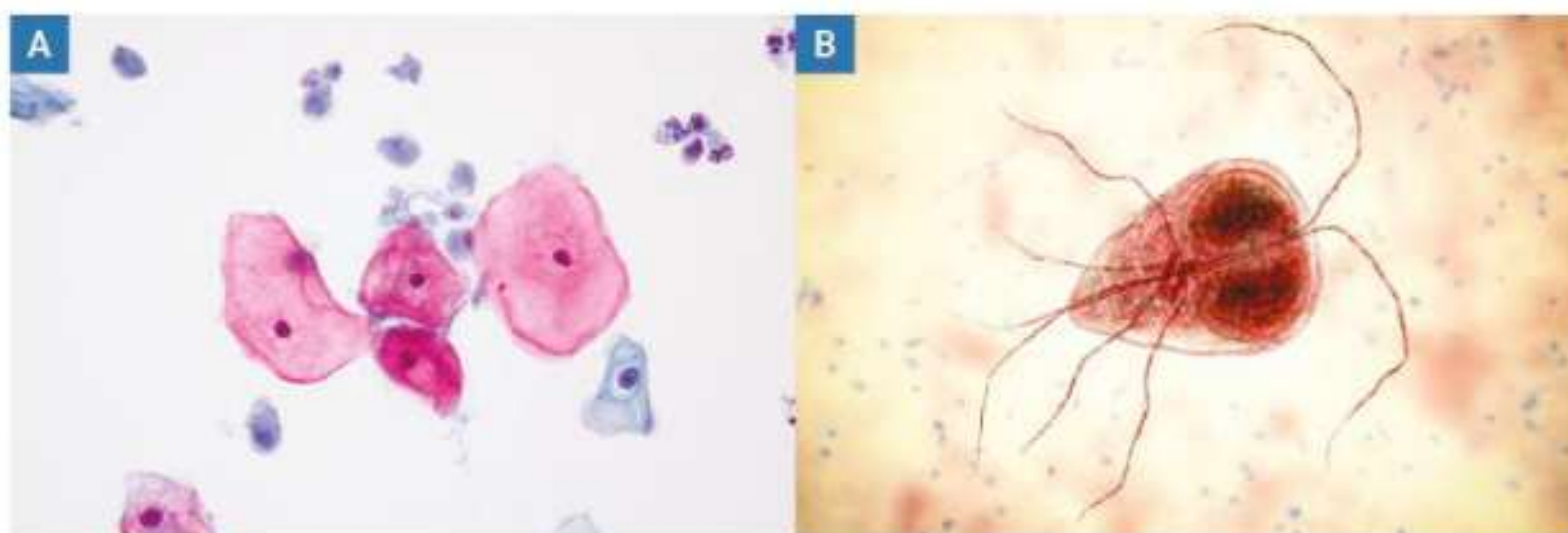
Charakterystyczną cechą przedstawicieli tej grupy są cytoplazmatyczne nibynóżki (pseudopodia), które są płatkowate i zaokrąglone na końcu. Ameby żyją w glebie, w wodach słodkich i słonych oraz jako pasożyty w innych organizmach. Pasożytniczymi amebami są pełzak czerwonki (*Entamoeba histolytica*), który powoduje groźną chorobę przewodu pokarmowego człowieka – czerwonkę pełzakową oraz *Acanthamoeba*, będąca przyczyną zapalenia rogówki oka (ryc. IV.3.5.).



Ryc. IV.3.5. Pełzak czerwonki *Entamoeba histolytica* (A) i *Acanthamoeba* (B).

Parabasalia (Parabasalia)

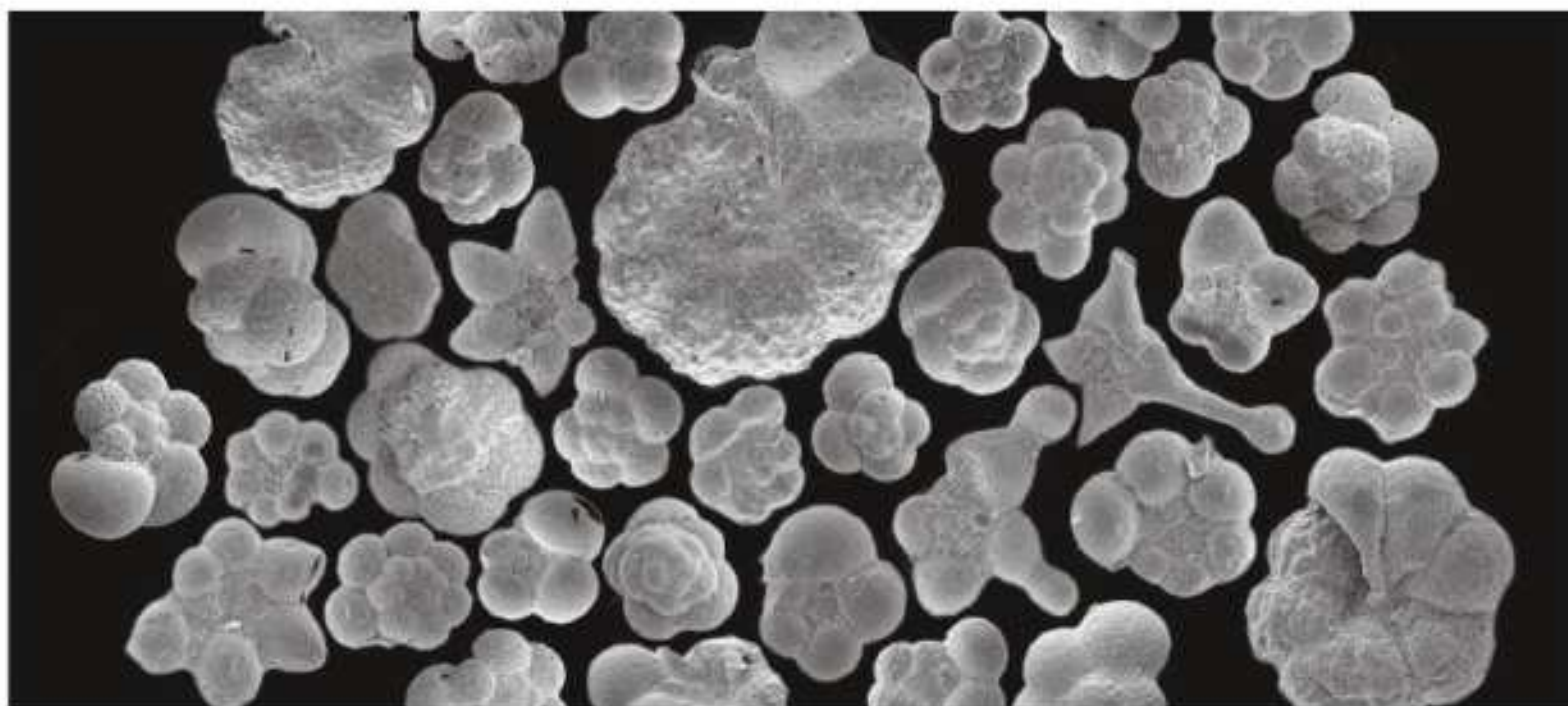
Cechą charakterystyczną tych jednokomórkowych wiciowców zwierzęcych jest brak mitochondriów. Energię uzyskują podczas oddychania beztlenowego. Jedna z wici może przekształcić się w błonkę falującą, co wyraźnie zwiększa przystosowanie do przemieszczania się w ciele żywiciela. Do tej grupy zaliczamy gatunki pasożytnicze, takie jak rzęsiśtek pochwoy (*Trichomonas vaginalis*) i ogoniastek jelitowy zwany lamblą (*Giardia lamblia*) (ryc. IV.3.6.).



Ryc. IV.3.6. Rzęsiśtek pochwoy *Trichomonas vaginalis* (A) żyjący w drogach moczowo-płciowych człowieka, przenoszony drogą płciową; lamblia *Giardia lamblia* (B) bytująca w jelicie cienkim człowieka można się nią zarazić przez spożycie zanieczyszczonej wody.

Otwornice (*Foraminifera*)

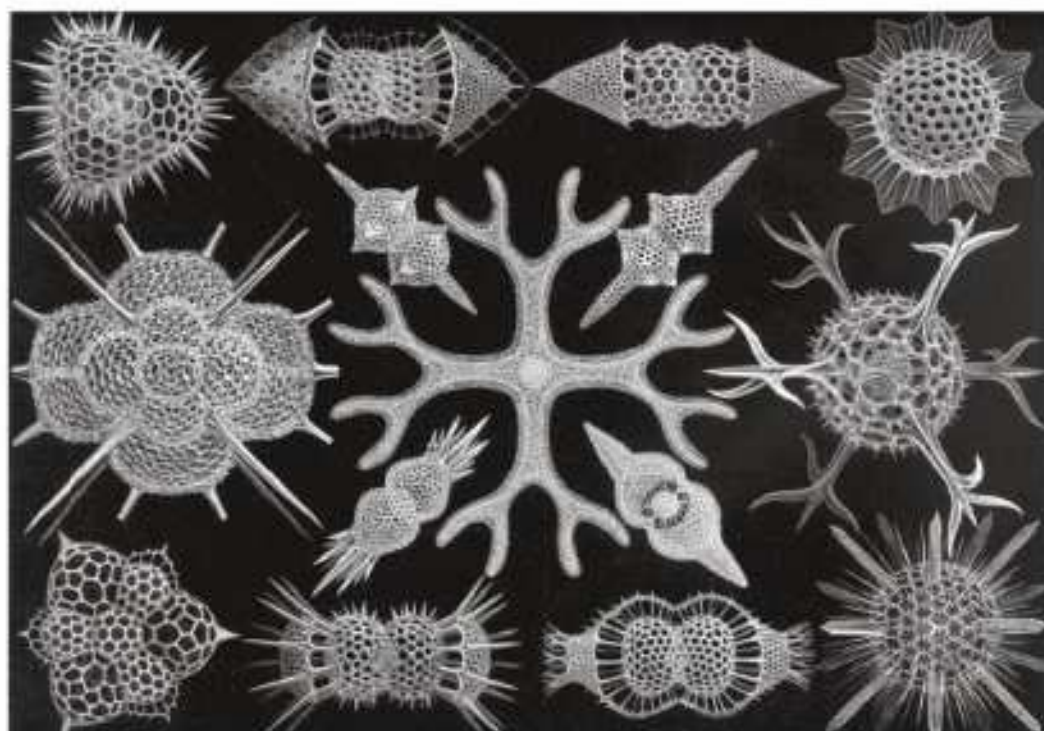
Prawie wszystkie otwornice są organizmami morskimi, pokrytymi wapiennymi skorupkami zbudowanymi z substancji organicznych przesyconych węglanem wapnia. Skorupki mają otworki, przez które wysuwają się cytoplazmatyczne nibynóżki (stąd nazwa „noszący otworki”). Skorupki otwornic po ich śmierci opadają na dno zbiorników i tworzą pokłady skał osadowych (**ryc. IV.3.7.**).



Ryc. IV.3.7. Otwornice są wykorzystywane jako tzw. skamieniałości przewodnie do określania warstw skał osadowych dzięki dobrze zachowanym skorupkom.

Promienionóżki (*Actinopoda*)

Promienionóżki są organizmami wolno żyjącymi głównie w wodach słonych. Ich nazwa pochodzi od długich, cienkich i rozmieszczonych promieniście nibynózek, które często są wzmocnione igiełkami z krzemionki. Część promienionózek wytwarza krzemionkowy lub zbudowany z węglanu wapnia szkielet (**ryc. IV.3.8.**).



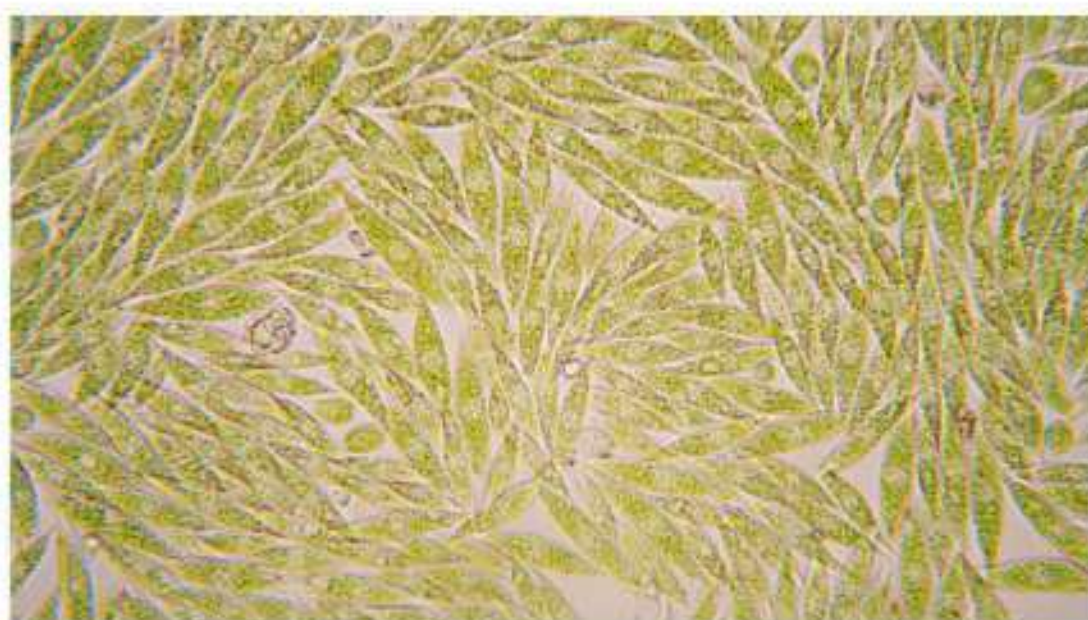
Ryc. IV.3.8. Szkielety obumarłych promienionózek, opadając na dno zbiornika wodnego, tworzą skały osadowe.

Protisty roślinopodobne

Do protistów roślinopodobnych należą organizmy o różnorodnej budowie: od jednokomórkowych, kolonijnych, po wielokomórkowe o plesze przypominającej rośliny lądowe. Ich komórki są przeważnie otoczone ścianą komórkową, a we wnętrzu komórki znajdują się chloroplasty z trzema lub czterema błonami.

Eugleniny (*Euglenophyta*)

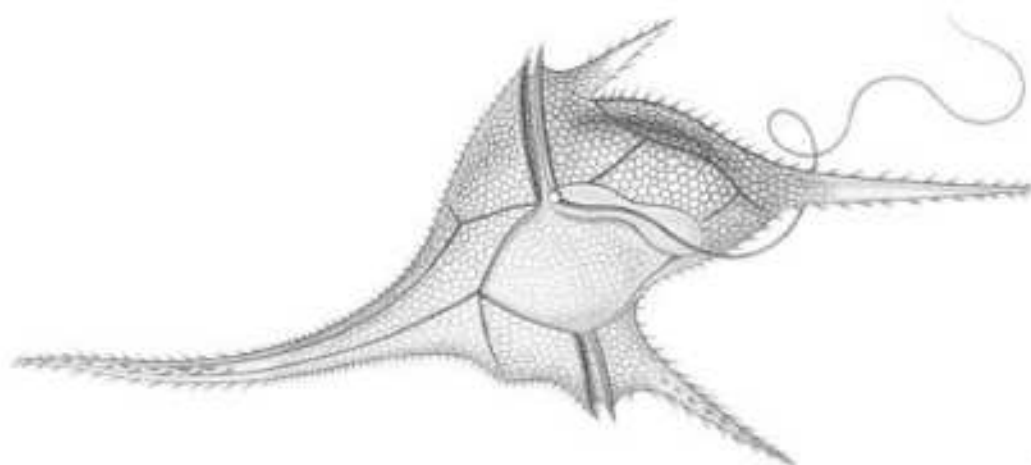
Eugleniny (klejnotki) są jednokomórkowymi, zwykle słodkowodnymi organizmami poruszającymi się za pomocą wici. Spotykane są także w wodach słonawych i glebie. Nie mają ściany komórkowej, a ich ciało pokrywa pellicula (**ryc. IV.3.9.**). Eugleniny są traktowane jako wskaźniki czystości wód (bioindykatory).



Ryc. IV.3.9. Euglena zielona *Euglena viridis* żyje w niewielkich zbiornikach słodkowodnych i toleruje zanieczyszczenia materią organiczną, co jest związane ze zdolnością do miksotrofizmu.

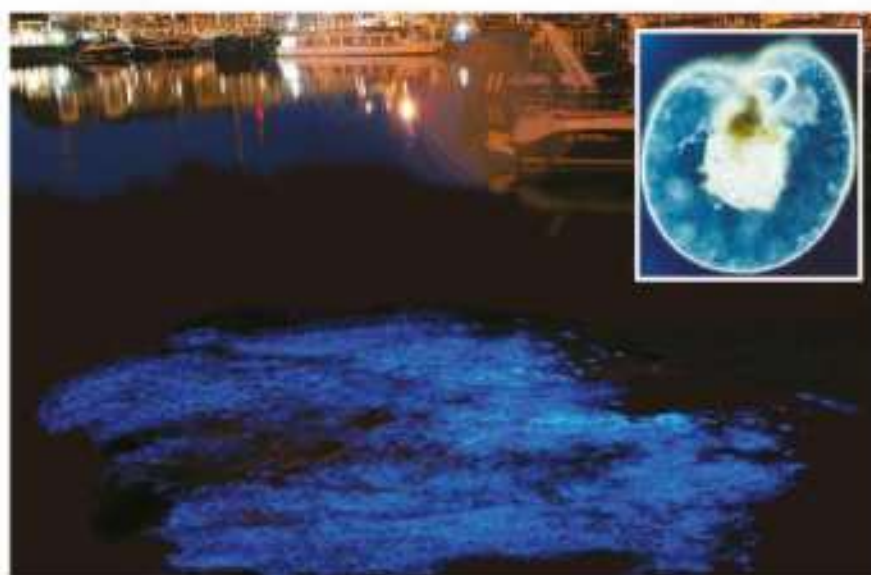
Tobołki (*Pyrrophyta*)

Są to przeważnie organizmy jednokomórkowe, rzadziej kolonijne. Występują w wodach słonych. Znaczna część tych organizmów to endosymbionty (organizmy żyjące wewnątrz innych i przynoszące im korzyści) koralowców, małży, meduz, które dostarczają gospodarzowi produktów fotosyntezy. Najlicniejszą grupę tobołków stanowią bruzdnice (*Dinoflagellata*). Wyróżniają się one obecnością jądra, w którym zawsze można obserwować chromosomy – niezależnie od fazy podziału komórkowego (**ryc. IV.3.10.**).



Ryc. IV.3.10. Ciało bruzdnic jest okryte pancerzykiem składającym się z płytek celulozowych z dwiema bruzdami – podłużną i poprzeczną – w których znajdują się dwie wici.

Bruzdnice w ekosystemach morskich często przyczyniają się do zakwitów wód. Niektóre z nich produkują szkodliwe toksyny, które mogą powodować wymieranie bezkręgowców i ryb. Przedstawiciel bruzdnic – nocoświatlik (*Noctiluca miliaris*, czyt. noktilukamiliaris) w wyniku podrażnienia (np. przez falę morską) emituje zielonkawe światło, powodując zjawisko tzw. świecenia morza (bioluminescencja; **ryc. IV.3.11.**)



Ryc. IV.3.11. Nocoświatlik *Noctiluca miliaris* – świecący składnik planktonu morskiego.

Okrzemki (*Bacillariophyta*)

Okrzemki (*Bacillariophyta*, czyt. bacillariofyt) to najczęściej jednokomórkowe organizmy żyjące w morzach lub wodach słodkich. Wchodzą w skład planktonu lub osiedlają się na dnie zbiorników wodnych. Często wiosną powodują brązowe zakwity wód ze względu na żłocisto-brązowy barwnik – fukoksantynę. Krzemionkowa ściana komórkowa okrzemek zwana pancerzykiem składa się z dwóch zachodzących na siebie części: większej – wieczka – i mniejszej – denka (**ryc. IV.3.12.**).



Ryc. IV.3.12. Pancerzyki okrzemek. Podczas podziału komórki pancerzyk dzieli się i potomna komórka otrzymuje jedną część. Druga część pancerzyka jest odbudowywana od nowa, zawsze jest nią denko. Aby zapobiec minimalizacji rozmiarów ciała, okrzemka co pewien czas odrzuca stary pancerzyk i następuje szybki wzrost ciała, niekiedy połączony z rozmnażaniem płciowym. Z pancerzyków obumarłych okrzemek z trzeciorzędu powstały pokłady diatomitu.

Złotowiciowce (*Chrysophyta*)

Złotowiciowce (*Chrysophyta*, czyt. chrysofyt) to organizmy wchodzące w skład planktonu słodkowodnego i morskiego. Nazwa pochodzi od charakterystycznego żłocistego zabarwienia, które jest wynikiem obecności żółto-brązowych i brązowych karotenoidów. Większość gatunków złotowiciowców jest jednokomórkowa. Niektóre słodkowodne, jak przedstawiciele rodzaju *Dinobryon*, mogą tworzyć kolonie (**ryc. IV.3.13.**).



Ryc. IV.3.13. *Dinobryon* – kolonijny słodkowodny złotowiciowiec. Komórki złotowiciowców są zwykle opatrzone dwoma wiciami.

Brunatnice (*Phaeophyta*)

Brunatnice (*Phaeophyta*, czyt. feofyta) są organizmami wielokomórkowymi o plesze przypominającej rośliny lądowe. W zdecydowanej większości występują wzdłuż wybrzeży mórz strefy umiarkowanej i chłodnej, tworząc gęste zarośla. Wiele gatunków brunatnic określa się jako „wodorosty”. Strefa wzdłuż wybrzeży jest szczególnie narażona na silne działanie wiatru i fal morskich oraz częstych odpływów. Brunatnice wytworzyły szereg przystosowań, m.in. ściany komórkowe mają zbudowane z celulozy i galaretowatych polisacharydów, co chroni je przed wiatrem i wysychaniem podczas odpływów. Swoją żółtawobrunatną barwę zawdzięczają barwnikowi – fukoksantynie (ryc. IV.3.14., ryc. IV.3.15.).



Ryc. IV.3.14. Morszczyn pęcherzykowaty (*Fucus vesiculosus*, czyt. fukus wesikulosus) występujący w wodach Morza Północnego i północnych rejonach Atlantyku. Plecha morszczynu jest cennym źródłem jodu stosowanego przy leczeniu niedoczynności tarczycy. W Polsce morszczyn to gatunek chroniony. Można go spotkać tylko w Zatoce Gdańskiej.



Ryc. IV.3.15. Wielkomorszcz gruszkonośny (*Macrocystis pyrifera*, czyt. makrocystis pyrifera) osiąga niekiedy gigantyczne rozmiary – tworzy podwodne lasy. Plecha tego gatunku ma pęcherze wypełnione powietrzem, które ułatwiają unoszenie się w wodzie.



Ryc. IV.3.16. Wykwit piankowaty (*Fuligo septica*, czyt. fuligo septika) wyróżnia się cytrynowożółtą śluznią. Jest spotykany na martwych pniach drzew, opadłych liściach, a także na żywych roślinach. Pojawia się głównie w lecie i jesienią, po deszczach, na terenie całej Polski.

Protisty grzybopodobne

Protisty grzybopodobne są zbudowane z nitkowatych strzępek lub wielojądrowych śluzni. Mają ścianę komórkową utworzoną z celulozy. Są saprofitami lub pasożytami. Zalicza się do nich śluzowce i lęgniowce.

Śluzowce (*Myxomycota*)

Śluzowce (*Myxomycota*, czyt. myksomykota) występują na martwych, butwiejących pniach drzew i ściółce leśnej. W cyklu rozwojowym przyjmują postać wielojądrowego pęczaka – śluzni (ryc. IV.3.16.).

Lęgniowce (Oomycota)

Lęgniowce (*Oomycota*, czyt. oomykota) żyją w wodzie lub glebie. Ich ciało jest uformowane z nitkowatych strzępek. Lęgniowce odżywiają się martwymi szczątkami organicznymi lub pasożytują na innych organizmach (ryc. IV.3.17., ryc. IV.3.18.).



Ryc. IV.3.17. Roztoczki (*Saprolegnia*) rozwijają się na ciele ryb akwariowych, tworząc białe plamy podobne do pleśni, co jest przyczyną chorób i śmierci ryb.



Ryc. IV.3.18. Fitoftora (*Phytophthora infestans*) powoduje groźną chorobę ziemniaków – zarzę ziemniaczaną. Szczególnie dogodnym okresem do rozprzestrzeniania się tej choroby są mokre lata, podczas których lęgniowiec produkuje ruchliwe zarodniki – pływki.

Znaczenie protistów

1. Gatunki zamieszkujące wody słodkie i morskie są głównymi **producentami materii organicznej**. ◀ producenci materii organicznej
2. Jako organizmy samożywne w procesie fotosyntezy zużywają dwutlenek węgla i wydzielają tlen jako produkt uboczny.
3. Uczestniczą w **krażeniu pierwiastków** w przyrodzie, głównie azotu, fosforu i węgla.
4. Są konsumowane w łańcuchu troficznym przez inne organizmy. Niektóre z nich stanowią pokarm dla człowieka, szczególnie w krajach azjatyckich i Japonii.
5. Plechy dużych gatunków tworzą morskie zarośla, które stanowią środowisko życia wielu gatunków zwierząt, miejsce schronienia przed drapieżnikami czy miejsce rozrodu, np. miejsce tarła ryb, a rozkładające się szczątki stanowią pożywienie dla saprofitów.
6. Plechy morskich brunatnic ze względu na zawartość jodu są wykorzystywane do produkcji mieszanek ziołowych i kosmetyków, a algina obecna w ścianie komórkowej: do produkcji lodów i kosmetyków, w przemyśle papierniczym, w przemyśle spożywczym jako stabilizator do produkcji lodów, kremów i sosów oraz do impregnacji tkanin w przemyśle włókienniczym.
7. Z pancerzyków obumarłych gatunków żyjących kilkadziesiąt milionów lat temu powstały **pokłady skał osadowych** na dnie zbiorników wodnych: dolomitu z krzemionkowych pancerzyków okrzemek czy wapiennych z pancerzyków otwornic. ◀ gatunki tworzące skały osadowe

8. Okrzemki ze względu na obecność pancerzyków są używane jako **bioindykatory** do oceny stanu czystości wody a także do odtwarzania dawnych warunków środowiskowych w badaniach pleoekologicznych.

gatunki
symbiotyczne

► 9. **Gatunki symbiotyczne** żyjące w przewodzie pokarmowym zwierząt kręgowych przeżuwaczy (np. owce, krowy) czy bezkręgowców (termitów) ułatwiają trawienie i przyswajanie błonnika, za co w zamian uzyskują substancje pokarmowe.

10. Plechy brunatnic są wykorzystywane jako nawóz do użyźniania gleb i składnik pasz dla zwierząt domowych.

11. Gatunki wchodzące w skład **fitoplanktonu** (okrzemki, bruzdnice) są przyczyną zakwitów wód. W wyniku występowania dużej ilości składników pokarmowych w wodzie w górnych partiach zbiornika gromadzi się duża masa fitoplanktonu. Dopływ światła słonecznego do głębszych warstw zostaje ograniczony i następuje zahamowanie procesu fotosyntezy, co obniża stężenie tlenu. Prowadzi to do śmierci wielu gatunków zwierząt, np. ryb. W wodzie przeważają procesy rozkładu, w wyniku których uwalniane są toksyczne substancje, dodatkowo pogarszające jakość wody.

gatunki
chorobotwórcze

► 12. Niektóre gatunki są pasożytami roślin, zwierząt i człowieka. Wywołują **groźne choroby**, np. malarię, śpiączkę afrykańską czy czerwonkę pełzakową (**tab. IV.3.1.**).

Tab. IV.3.1. Najważniejsze choroby wywoływane przez protisty

Choroba i nazwa pasożyta	Drogi zakażenia	Objawy	Profilaktyka
Czerwonka pełzakowa (ameboza, dezynteria, pełzak czerwonki <i>Entamoeba histolytica</i>)	droga pokarmowa w wyniku spożycia wody z formami przetrwalnymi pasożyta; pasożytuje w jelicie grubym lub wątrobie człowieka	silne bóle brzucha, zaparcia, krwisto-słuzowe biegunki, niedokrwistość, odwodnienie, zapalenie wątroby; nieleczona czerwonka może prowadzić do śmierci	przestrzeganie podstawowych zasad higieny osobistej, higiena urządzeń sanitarnych, dokładne mycie owoców i warzyw
Lamblioza (lamblia jelitowa, ogoniaszek jelitowy <i>Giardia lamblia</i>)	spożywanie wody zanieczyszczonej fekaliami lub cystami pasożyta; pasożytuje w jelicie cienkim człowieka	silne wymioty, biegunki, bóle brzucha, wzdęcia, wodniste, sfermentowane stolce, reakcje uczuleniowe	zachowanie podstawowych zasad higieny, dokładne mycie owoców i warzyw przed spożyciem, ochrona wody i żywności przed zanieczyszczeniem
Rzęsistkowica (rzęsistek pochwy <i>Trichomonas vaginalis</i>)	drogą płciową bezpośrednio; rzadziej pośrednio przez pościel, ręczniki, bieliznę, urządzenia sanitarne; pasożytuje w drogach moczowo-płciowych człowieka	stany zapalne dróg moczowych i rodnych u kobiet, u mężczyzn często zarażenie przebiega bezobjawowo	przestrzeganie podstawowych zasad higieny, stosowanie prezerwatyw, unikanie przygodnych kontaktów seksualnych

Choroba i nazwa pasożyta	Drogi zakażenia	Objawy	Profilaktyka
Malaria (zimnica), jeden z czterech gatunków zarodźca <i>Plasmodium</i>	przeniesienie form inwazyjnych (sporozoitów) ze śliną komara podczas ukłucia; pasożytuje w komórkach wątroby i erytrocytach człowieka	dreszcze, wysoka gorączka nawet do 40°C, bóle głowy, nudności, wymioty, anemia, osłabienie, objawy mogą powtarzać się co 24, 48 czy 72 godziny w zależności od gatunku zarodźca	środki odstraszające komary, moskitiery, osuszanie terenów, na których masowo występują komary, stosowanie leków antymalarycznych; w związku z poznaniem sekwencji genomu komara <i>Anopheles gambiae</i> są prowadzone prace nad stworzeniem genetycznie zmodyfikowanego komara odpornego na zarodźca malarii
Toksoplazmoza (<i>Toksoplasma gondii</i>)	choroba odzwierzęca, żywicielem pośrednim* są ptaki i ssaki (w tym człowiek), a ostatecznym* koty; zarażenie drogą pokarmową przez kontakt z zakażoną żywnością, wodą, przez łóżysko, kontakt z kocimi odchodami	objawy grypopodobne, gorączka, powiększenie węzłów chłonnych, zapalenie mózgu i opon mózgowych; szczególnie niebezpieczna dla kobiet w ciąży – powoduje poważne wady rozwojowe płodu oraz poronienia	przestrzeganie podstawowych zasad higieny przygotowywania posiłku, obróbka termiczna mięsa, unikanie kontaktu z dziko żyjącymi kotami

* Żywiciel pośredni to organizm, w którym lub na którym żyją postacie larwalne albo inwazyjne pasożyta. Żywiciel ostateczny to organizm, w którym pasożyt osiąga dojrzałość płciową.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Przedstaw przykłady pozytywnej i negatywnej roli protistów w życiu człowieka.
2. Wyjaśnij pojęcie *zakwity wód* i podaj konsekwencje tego zjawiska dla organizmów żywych i środowiska.
3. Wymień przykłady protistów żyjących w symbiozie z innymi organizmami. Wskaż korzyści dla obu stron tej współpracy.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- Niektóre gatunki pasożytnicze są przyczyną **groźnych chorób człowieka** (malaria – różne gatunki zarodźca, rzęsistkowica – rzęsistek pochwowy, lamblioza – lamblia jelitowa, toksoplazmoza – *Toxoplasma gondii*, czerwotka – pelzak czerwotki). ◀ s. 92
- Gatunki samożywne pełnią w ekosystemach wodnych **funkcję producentów materii organicznej**, cudzożywne są **konsumentami**. ◀ s. 91
- Wiele gatunków żyje w **symbiozie** z innymi organizmami. ◀ s. 92
- Gatunki mające pancerzyki tworzą **skały osadowe** i są wykorzystane do określania wieku tych skał. ◀ s. 91

PODSUMOWANIE PRZED SPRAWDZIANEM

s. 70 ► Porównanie budowy i czynności życiowych protistów zwierzęcych, roślinopodobnych i grzybopodobnych

Protista	zwierzęce	roślinopodobne	grzybopodobne
Organizacja ciała	jednokomórkowe	jednokomórkowe, kolonijne, wielokomórkowe w postaci plechy	jednokomórkowe, wielojądrowe śluznie (komórczaki)
Pokrycie komórki	błona komórkowa wraz z przylegającą cytoplazmą (pellikula), czasem wapienny lub krzemionkowy pancerzyk	celulozowa ściana komórkowa	celulozowa ściana komórkowa lub jej brak
Sposób poruszania się	• pełzakowaty • za pomocą wici lub rzęsek	• za pomocą wici • brak ruchu	• pełzakowaty • brak ruchu
Sposób odżywiania	cudzożywne (pasożyty, drapieżniki)	samożywne lub mikсотroficzne	cudzożywne (saprofity, pasożyty)
Sposób rozmnażania	bezpłciowo: podział komórki płciowo: przemiana faz jądrowych proces płciowy – koniugacja	bezpłciowo: podział komórki, fragmentacja plechy, rozmnożenia, zarodniki płciowo – przemiana pokoleń	bezpłciowo: zarodniki

s. 78 ► Charakterystyka protistów roślinopodobnych

Grupa	Organizacja ciała	Barwniki fotosyntetyczne			Pokrycie ciała	Materiał zapasowy	Wici
		chlorofile	ksantofile	fikobiliny			
eugleniny	jednokomórkowe	a, b	diadinoksantyna	–	pellikula	paramylon	obecne
bruzdnice	jednokomórkowe, czasem kolonijne	a, c	diadinoksantyna	–	celulozowe płytki	skrobia, tłuszcz	obecne dwie
okrzemki	jednokomórkowe, czasem kolonijne	a, c	fukoksantyna	–	dwuczęściowy, krzemionkowy pancerzyk	chryzominaryna, tłuszcze	tylko u gamet
złotowiciowce	jednokomórkowe czasem kolonijne	a, c	fukoksantyna, luteina	–	ściana pektynowa z domieszką celulozy lub jej brak	chryzominaryna, tłuszcze	obecne dwie
brunatnice	wielokomórkowe	a, c	fukoksantyna	–	celulozowa ściana komórkowa	chryzominaryna, tłuszcze	tylko u gamet

BLOK ĆWICZENIOWY

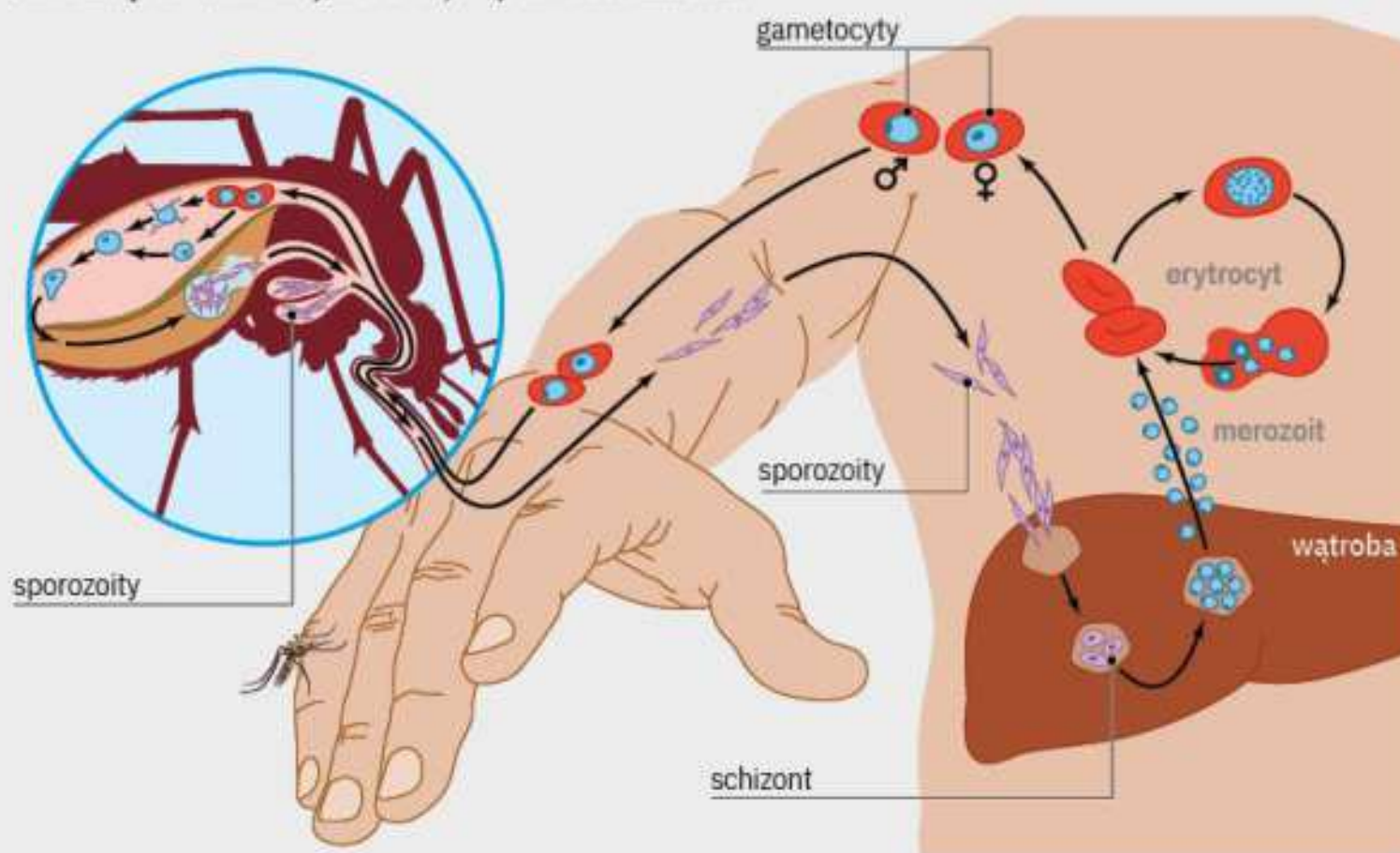
1. (0–1 pkt)

U protistów występuje odżywianie autotroficzne, heterotroficzne i miksotroficzne.

Wyjaśnij znaczenie miksotrofizmu w kontekście zmian warunków środowiska.

2. (0–3 pkt)

Schemat przedstawia cykl rozwojowy zarodźca malarii.



2.1. Wskaż żywiciela ostatecznego i pośredniego tego pasożyta.

2.2. Określ, jaki rodzaj mejozy – postgamiczna czy pregamiczna – występuje w tym cyklu.

2.3. Podaj dwie metody zapobiegania malarii.

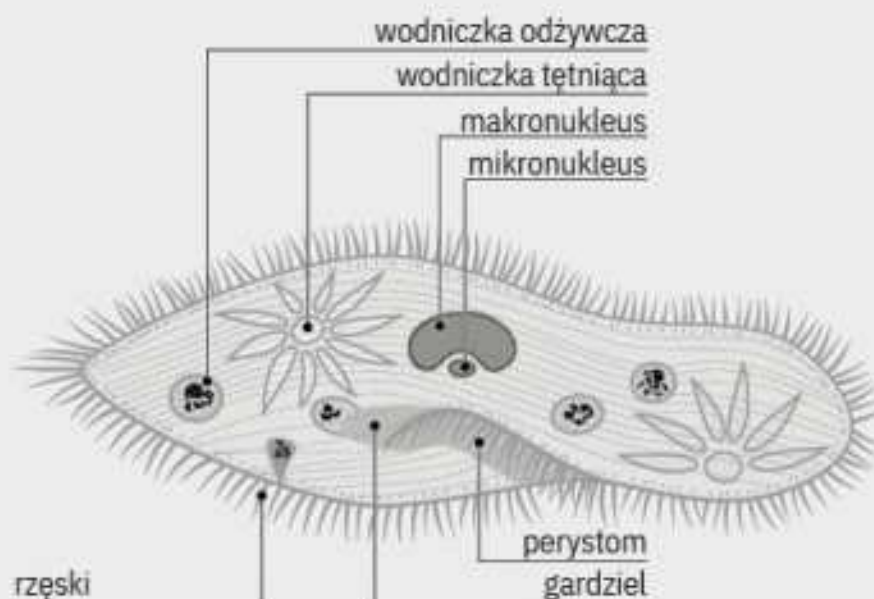
3. (0–3 pkt)

Na rysunku znajduje się przedstawiciel protistów zwierzęcych – pantofelek. Pantofelek żyje w środowisku słodkowodnym.

3.1. Podaj, która struktura komórkowa jest odpowiedzialna za osmoregulację.

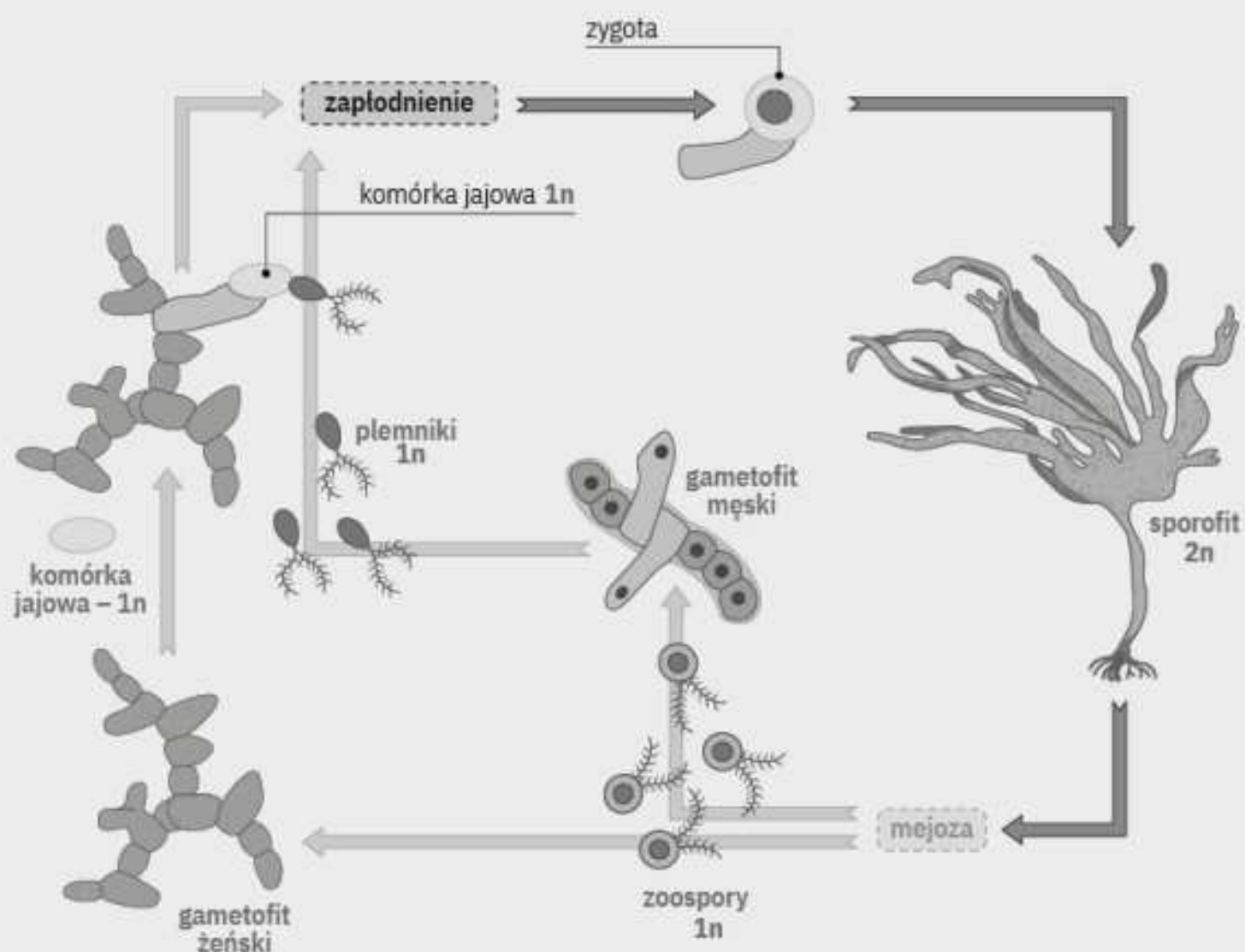
3.2. Wyjaśnij, dlaczego wymieniona w poprzednim podpunkcie struktura nie odgrywa istotnej roli u protistów morskich.

3.3. Przedstaw, jaką funkcję pełni cytosom i cytopyge.



4. (0–3 pkt)

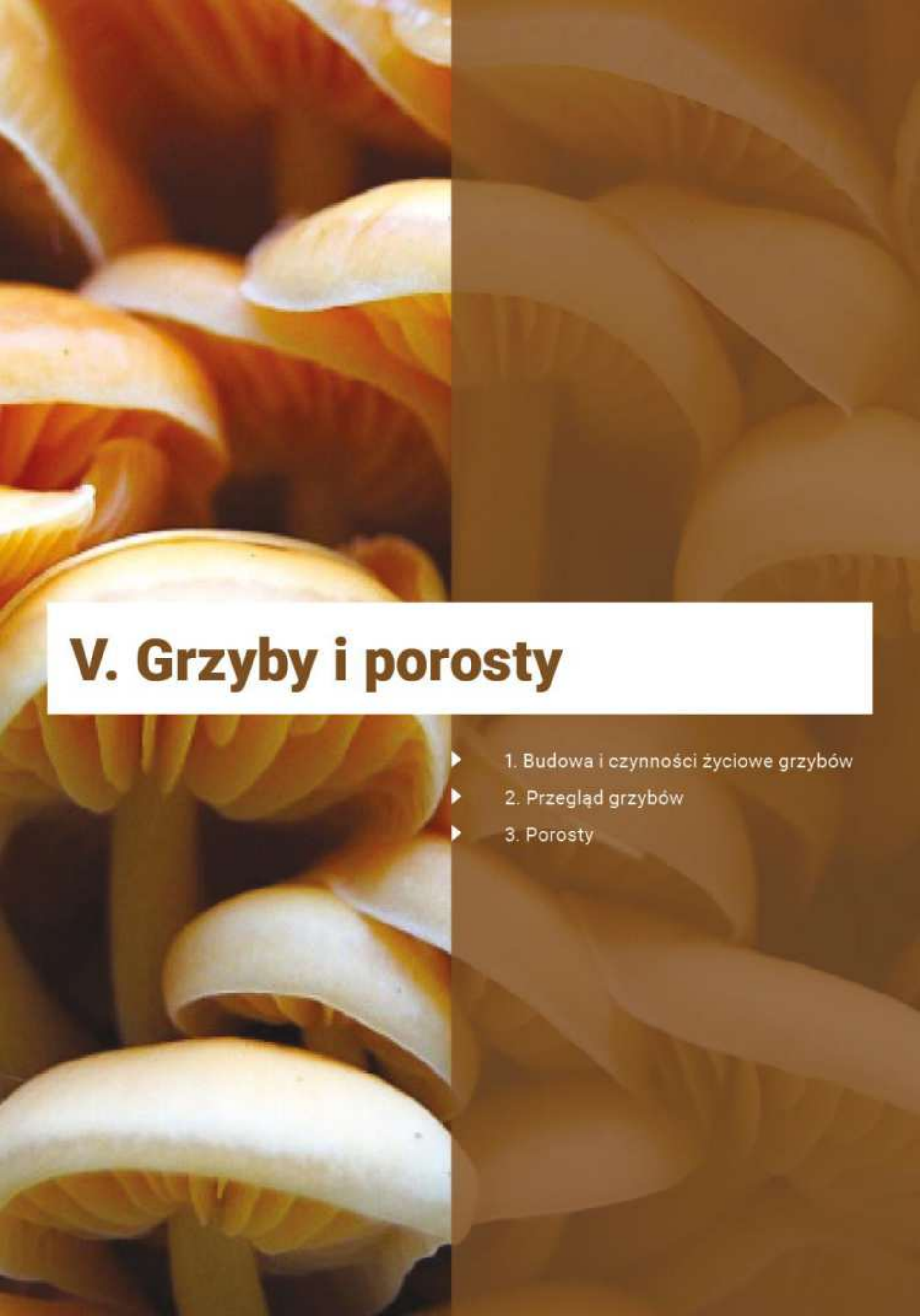
Schemat przedstawia przemianę pokoleń.



4.1. Określ typ przemiany pokoleń. Uzasadnij swoją odpowiedź.

4.2. Wskaż, które pokolenie – gametofit czy sporofit – jest pokoleniem dominującym.

4.3. Określ rodzaj gamii. Odpowiedź uzasadnij.

The background of the slide is a close-up photograph of several mushrooms. The mushrooms have light-colored, possibly cream or pale yellow, caps with distinct gills. The stems are also light-colored. The lighting is soft, highlighting the texture of the mushroom caps and gills. The image is slightly blurred in some areas, creating a sense of depth.

V. Grzyby i porosty

- ▶ 1. Budowa i czynności życiowe grzybów
- ▶ 2. Przegląd grzybów
- ▶ 3. Porosty

1. Budowa i czynności życiowe grzybów

NA TEJ LEKCJI:

- dowiesz się, jak są zbudowane grzyby;
- poznasz czynności życiowe grzybów.

grzyby ▶ **Grzyby** są wielokomórkowymi lub komórczakowymi beztkankowymi organizmami heterotroficznymi szeroko rozpowszechnionymi w przyrodzie. Większość z nich zasiedla wilgotne i zacienione środowiska lądowe o umiarkowanej temperaturze (od 4°C do 40°C), gdzie znajduje się duża ilość materii organicznej, z której czerpią niezbędne do życia składniki pokarmowe. Brak zdolności ruchu i obecność ściany komórkowej, a także podobieństwo rozmnażania bezpłciowego bliższe roślinom spowodowały, że jeszcze do niedawna zaliczano je do królestwa roślin. Dopiero dokładne badania spowodowały oddzielenie grzybów od roślin, ponieważ nie są one samożywne i nie zawierają barwników aktywnych fotosyntetycznie. Sposób odżywiania bliski zwierzętom umiejscowił grzyby między królestwem roślin i zwierząt. Współczesne badania molekularne wskazują, że grzyby są bardziej spokrewnione ze zwierzętami niż z roślinami. Przypuszcza się, że miały one wspólnego przodka, na co wskazuje obecność wici u starszych ewolucyjnie grzybów – skocz-kowców – oraz u jednokomórkowych – przodków współczesnych zwierząt. Ocena za pomocą zegara molekularnego wskazuje, że linie rozwojowe grzybów i zwierząt rozdzieliły się ok. 1 miliarda lat temu. Grzyby jako organizmy zbudowane z **komórek eukariotycznych** zawierają jądro, mitochondria, rybosomy, centriole i aparat Golgiego. Wykazują także swoiste cechy, takie jak **chitynowa ściana komórkowa** (**polisacharyd budujący także ściany komórkowe stawonogów**) oraz materiał zapasowy w postaci **glikogenu**, **tłuszczów** i **wolutyny**. W wakuolach i ścianach komórkowych grzybów występują barwniki, które nadają właściwy kolor poszczególnym gatunkom. Stało się to podstawą do zaklasyfikowania grzybów do odrębnej jednostki – królestwa grzybów (*Fungi*).

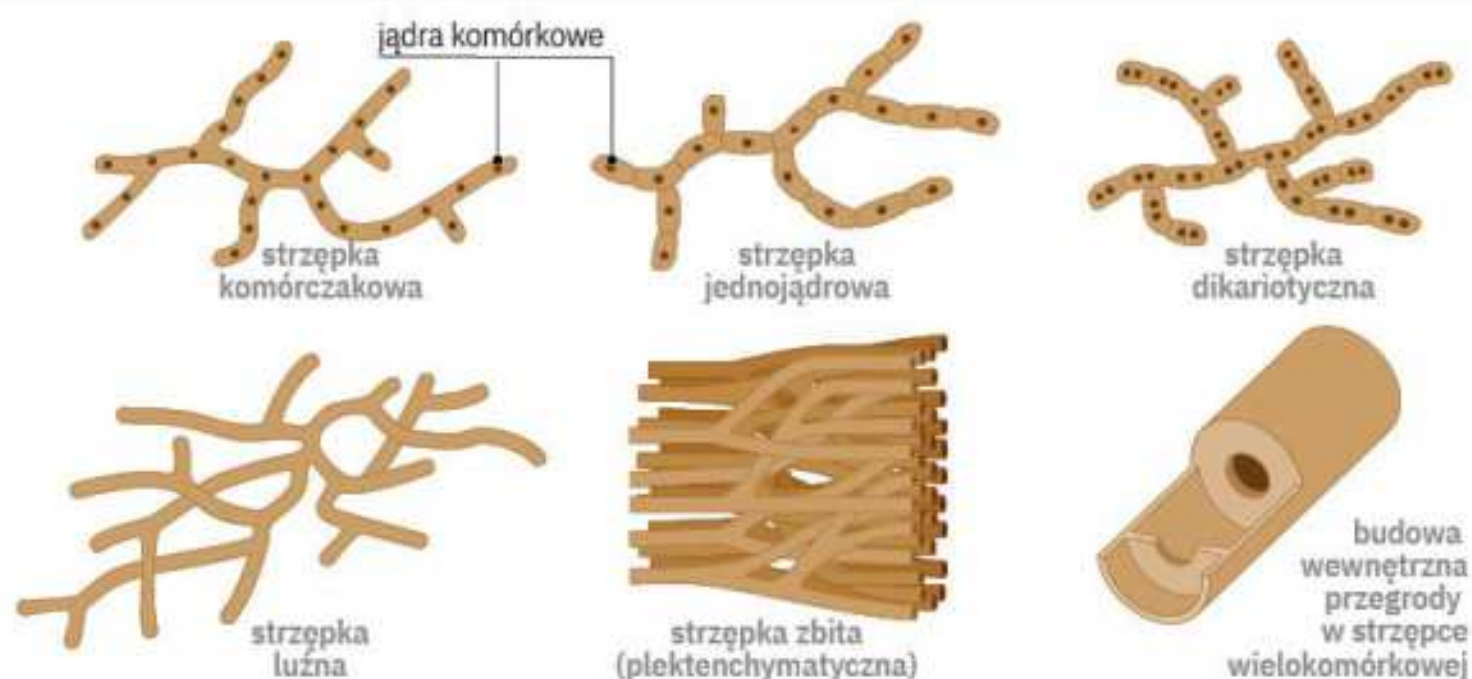
chitynowa ściana
komórkowa

- plechowce** ▶ Grzyby są **plechowcami** (ich ciało nie jest zróżnicowane na tkanki i organy) jednokomórkowymi (jak drożdże) i wielokomórkowymi. Większość grzybów to organizmy wielokomórkowe z jednym, dwoma lub wieloma jądrami komórkowymi (komórczaki). Ciało grzybów – **grzybnia** – jest zbudowane z wydłużonych i silnie rozgałęzionych **strzępek** (**ryc. V.1.1.**). W strzępkach grzybów wielokomórkowych (workowców i podstawczaków) znajdują się poprzeczne przegrody (septy) z otworami, które pozwalają na swobodny przepływ cytoplazmy i organelli komórkowych wraz z jądrem na obszarze całej strzępki.

grzybnia

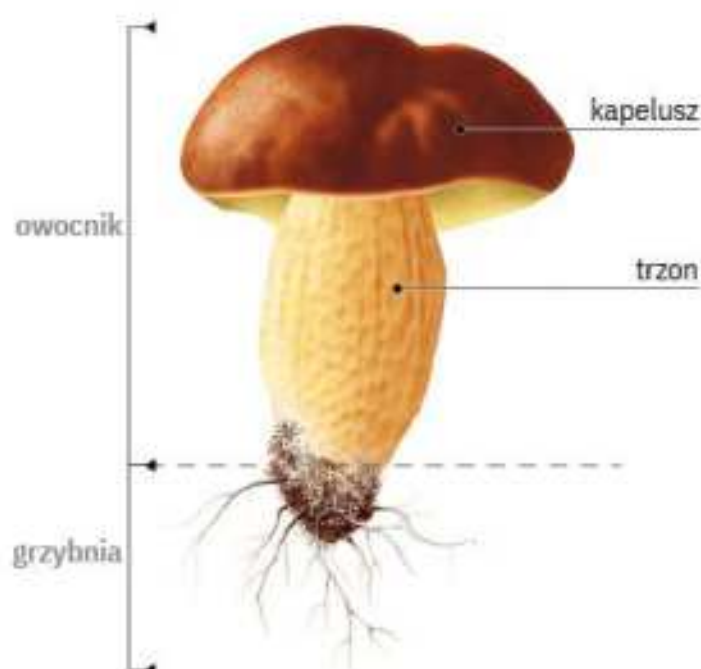
strzępki

Strzępki u większości grzybów tworzą chwytniki, którymi grzyb przymocowuje się do podłoża i pobiera wodę z solami mineralnymi. U grzybów pasożytniczych wytworem strzępek są ssawki (haustoria), za pomocą których wnikają do komórek żywiciela.



Ryc. V.1.1. Typy strzępek grzybni.

Strzępki u większości grzybów są luźno ułożone i tworzą **plechy nitkowate** (luźne). U niektórych gatunków mogą przylegać do siebie ciasno, splatając się i tworząc nibytkankę, tzw. **plechę plektenchymatyczną**. Przykładem takiej plechy są **owocniki workowców i podstawczaków** (ryc. V.1.2.). W owocnikach po procesie mejozy powstają haploidalne zarodniki, które służą grzybom do rozmnażania bezpłciowego.



Ryc. V.1.2. Owocnik podstawczaka zbudowany z kapelusza i trzonu. Do podłoża owocnik jest przytwierdzony strzępkami grzybni.

Odżywianie grzybów

Grzyby są heterotrofami (organizmami cudzożywymi). Do tej grupy zaliczamy saprofity, pasożyty oraz grzyby symbiotyczne. **Grzyby saprofityczne** (np. muchomor, pieczarka) pobierają składniki pokarmowe poprzez wchłanianie ich bezpośrednio z podłoża, do którego wydzielają **hydrolityczne enzymy trawienne** (trawienie zewnątrzkomórkowe). Enzymy rozkładają złożone związki organiczne do związków prostych (cukrów prostych, aminokwasów, kwasów tłuszczowych), łatwiej pobieranych przez grzyby za pomocą strzępek. Grzyby wykorzystują te substancje do budowy własnego ciała, a ich nadmiar gromadzą w cytoplazmie w postaci tłuszczu, glikogenu i wolutyny (substancja zapasowa charakterystyczna dla bakterii). **Grzyby pasożytnicze** (np. buławinka czerwona, rdza żdźbłowa) pobierają związki organiczne wprost z żywych organizmów roślinnych i zwierzęcych, w tym ludzi. **Grzyby symbiotyczne** żyją w symbiozie z komórkami sinic i zielenic, tworząc porosty, lub

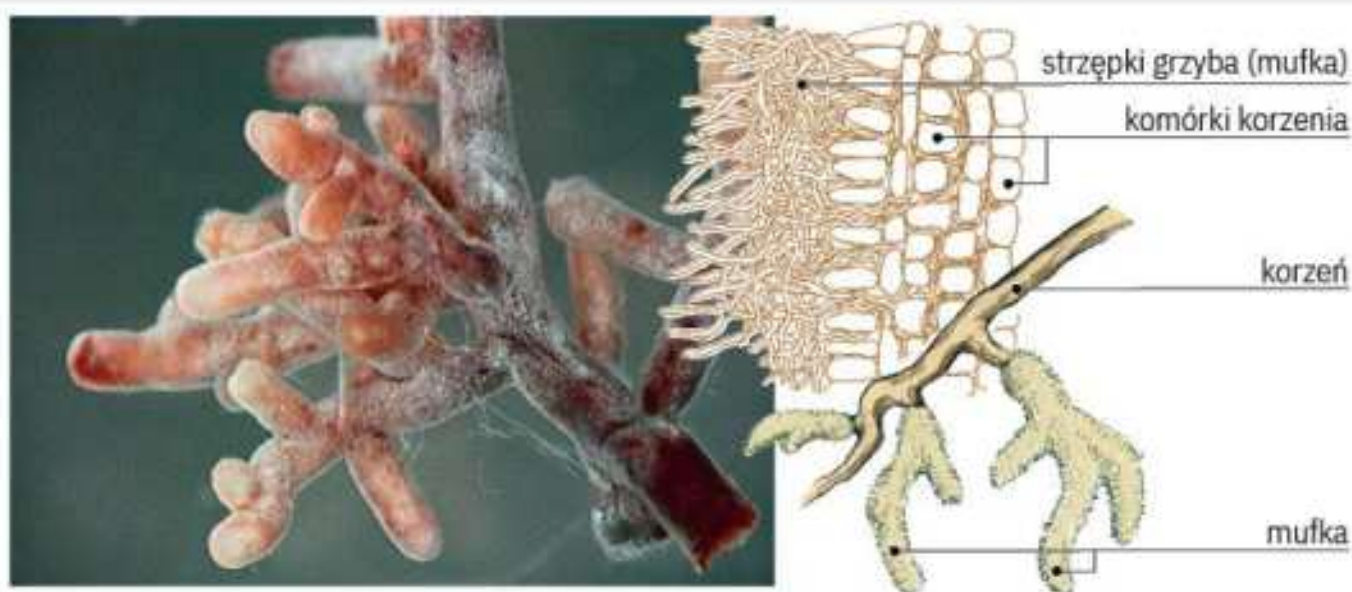
◀ odżywianie grzybów

◀ grzyby saprofityczne

z korzeniami roślin nasiennych. W zamian za produkty fotosyntezy grzyby dostarczają wody i soli mineralnych oraz substancji wzrostowych, a także stanowią ochronę przed działaniem patogenów.

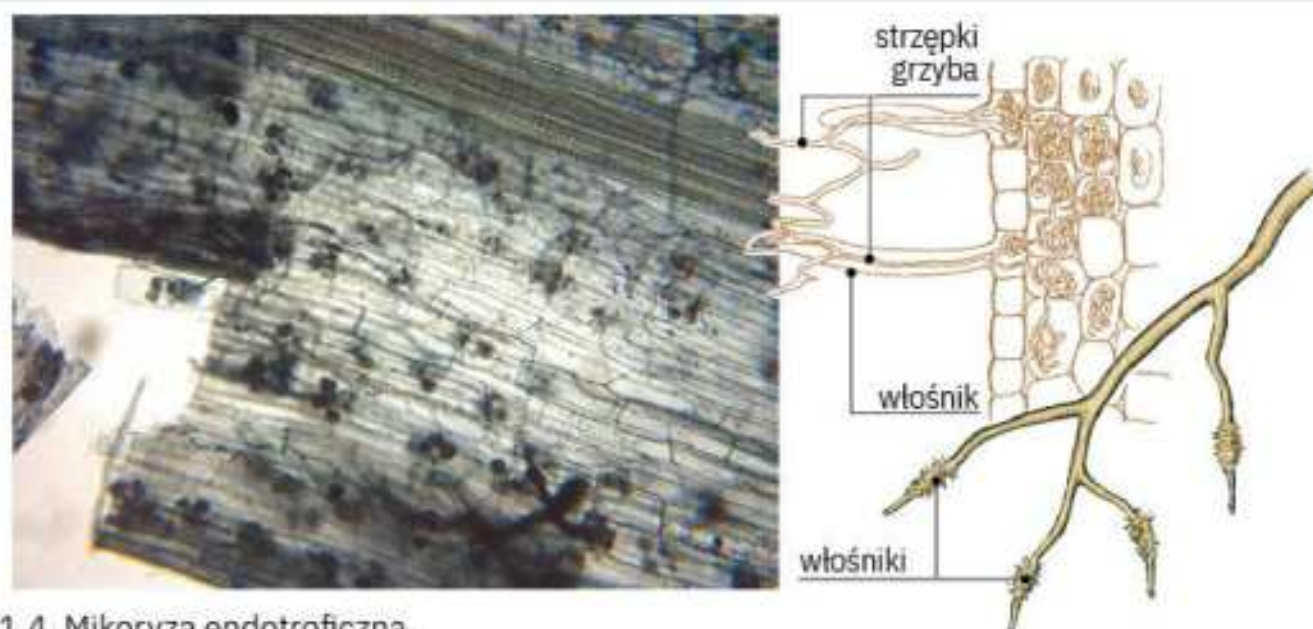
mikoryza ▶ Symbiozę grzybów z korzeniami roślin nasiennych nazywamy **mikoryzą**. Jest ona przykładem mutualizmu, czyli zależności, w której obie strony odnoszą podobne korzyści. Wyróżnia się dwa typy mikoryzy: **ektotroficzną (zewnętrzną)** i **endotroficzną (wewnętrzną)**.

mikoryza ektotroficzna ▶ W **mikoryzie ektotroficznej** strzępki grzyba wnikają do przestworów międzykomórkowych i oplatają komórki korzenia, tworząc tzw. mufkę. Strzępki przejmują funkcję włosników korzenia – pobierają wodę z solami mineralnymi. Włosniki zaczynają stopniowo zanikać. Ten typ mikoryzy wykazuje około 10% rodzin roślin wyższych (głównie rośliny drzewiaste, np. koźlak i brzoza oraz osika, borowik szlachetny i buk oraz mleczaż rydz i sosna lub świerk) (**ryc. V.1.3.**).



Ryc. V.1.3. Mikoryza ektotroficzna.

mikoryza ektotroficzna ▶ W **mikoryzie endotroficznej** strzępki grzyba wnikają do wnętrza komórek korzenia i nie powodują ograniczenia jego wzrostu. Ten typ mikoryzy występuje u większości roślin (80–90%), np. u roślin zielnych i krzewinek (**ryc. V.1.4.**).



Ryc. V.1.4. Mikoryza endotroficzna.

Grzyby drapieżne polują na ofiary, wydzielając do środowiska m.in. trujący odurzające, a następnie przekształconymi strzępkami chwytając je – głównie drobne zwierzęta glebowe (niczenie i pierścienice) (ryc. V.1.5.).

Ryc. V.1.5. Maczużnik bojowy (*Cordyceps militaris* L., czyt. kordyceps militaris), grzyb pasożytujący na gąsienicach i poczwarkach owadów, głównie ciem.



oddychanie
grzybów

Oddychanie grzybów

Większość grzybów energię potrzebną do przeprowadzenia przemian metabolicznych uzyskuje w obecności tlenu. Niektóre, np. drożdże, **oddychają beztlenowo** w procesie fermentacji, w której w warunkach beztlenowych przekształcają cukier na alkohol etylowy i dwutlenek węgla. Człowiek wykorzystał ten proces do produkcji alkoholu, sera czy pieczywa. Wydzielający się dwutlenek węgla służy do spulchniania ciasta i powoduje jego wyrastanie. Energia powstała w wyniku oddychania jest gromadzona w postaci związków wysokoenergetycznych (ATP).

Eksperyment

Badanie oddychania beztlenowego grzybów

Wprowadzenie: Grzyby oddychają tlenowo i beztlenowo. Niektóre grzyby, np. drożdże, w warunkach beztlenowych przeprowadzają proces fermentacji alkoholowej, której produktem jest m.in. gaz – dwutlenek węgla.

Problem badawczy: Czy drożdże podczas fermentacji alkoholowej wydzielają dwutlenek węgla?

Hipoteza badawcza: Podczas fermentacji alkoholowej drożdże wydzielają dwutlenek węgla.

Instrukcja przeprowadzenia doświadczenia: Przygotowanie próby kontrolnej i badawczej.

Próba badawcza: Do kolby wlej 200 ml wody i rozpuść w niej 20 g cukru, a następnie dodaj 10 g drożdży. Kolbę zamknij szczelnie korkiem i umieść w zlewce z wodą, którą następnie podgrzej do temperatury 30°C.

Próba kontrolna: Do kolby wlej 200 ml wody i rozpuść w niej 20 g cukru; do tej kolby nie dodawaj drożdży. Kolbę zamknij szczelnie korkiem i umieść w zlewce z wodą, a następnie podgrzej do temperatury 30°C.

Po 30 minutach do kolb w obu próbach (badawczej i kontrolnej) wprowadź rurki, których drugi koniec powinien być umieszczony w zlewce z wodą wapienną.

Wyniki: Przeprowadź obserwację zlewek z wodą wapienną. W próbie badawczej woda wapienna w zlewce zmętniała, a w próbie kontrolnej pozostała bez zmian.

Wniosek: Sformułuj wniosek.

Wyjaśnienie: Drożdże oddychają beztlenowo. W wyniku tego procesu (fermentacji alkoholowej) powstaje etanol – alkohol etylowy – i dwutlenek węgla, który w reakcji z wodą wapienną powoduje jej mętnienie.



Rozmnażanie grzybów

rozmnażanie bezpłciowe

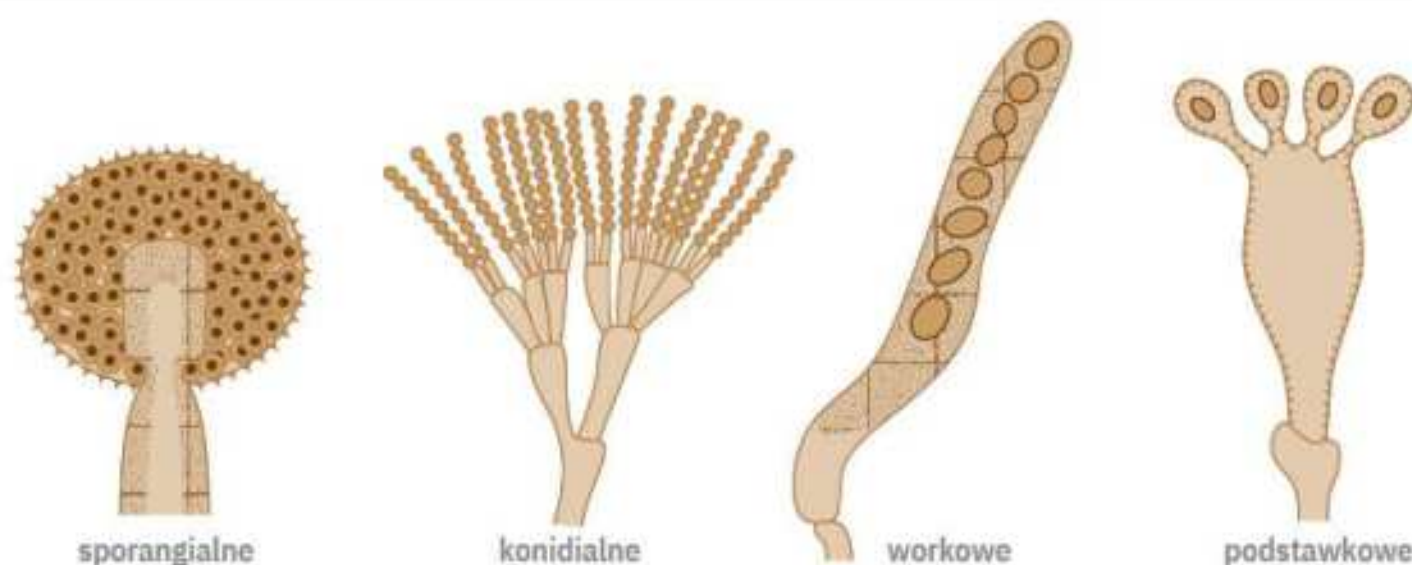
► Grzyby rozmnażają się zarówno bezpłciowo, jak i płciowo. **Rozmnażanie bezpłciowe** zachodzi u grzybów przez:

- fragmentację plechy – z każdego fragmentu macierzystej plechy powstaje nowa;
- pączkowanie – komórki tworzą uwypuklenia w kształcie pączków, które po oderwaniu się formują nową komórkę;

aplanospory

► ■ zarodniki (spory) – **aplanospory** u gatunków lądowych (nie mają zdolności do poruszania się) oraz zoospory u gatunków wodnych (zarodniki ruchliwe, pływki).

Zarodniki, które powstają wewnątrz zarodni, nazywa się **endosporami** (np. zarodniki workowe u workowców czy **zarodniki sporangialne** u sprzężniaków), a zarodniki powstające poza zarodnią – **egzosporami**. Przykładem egzospor są **zarodniki konidialne** (konidia), które powstają w wyniku rozpadu strzępek zarodnikotwórczych na jedno- lub kilkujądrowe komórki (**ryc. V.1.6.**).



Ryc. V.1.6. Typy zarodników u grzybów.

Zarodniki, których wytworzenie poprzedza mejoza, nazywa się **mejosporami**. Mejosporami są **zarodniki workowe** (askospory) u workowców, powstające wewnątrz specjalnych zarodni – worków – oraz **zarodniki podstawkowe** (bazydiospory) u podstawczaków powstające przez odcięcie komórek na zarodniach – podstawkach (**ryc. V.1.6.**).

Zarodniki, których powstanie poprzedza mitoza, nazywa się **mitosporami**. Mito-sporami są zarodniki konidialne i sporangialne.

rozmnażanie płciowe

► **Rozmnażanie płciowe** u grzybów jest bardzo zróżnicowane. Może przyjmować formy: gametogamii, gametangiogamii i somatogamii. **Gametogamia** polega na łączeniu się gamet, które mogą mieć postać izo-, anizo- i oogamii. Gamety powstają w specjalnych strukturach – gametangiach, **żeńskich lęgniach** i **męskich plemniach**. Na drodze gametogamii rozmnażają się skoczkwce.

Gametangiogamia polega na łączeniu się całych gametangiów, przy czym zawartość plemni za pomocą tzw. włostka przelewa się do lęgni. Gametangiogamia zachodzi u sprzężniaków i workowców. U podstawczaków nie powstają gametangia i grzyby rozmnażają się na drodze **somatogamii**, czyli łączenia się dwóch różnych płciowo haploidalnych strzępek grzybni.

U workowców i podstawczaków proces płciowy jest rozłożony w czasie. Połączenie cytoplazmy gametangiów u workowców lub strzępek u podstawczaków – **plazmogamia** – prowadzi do powstania strzępek **dwujądrowych** (dikariotycznych), w których jądra układają się obok siebie, tworząc pary tzw. **jąder sprzężonych**. Dopiero po plazmogamii następuje połączenie się jąder **dikariotycznych** w jedno diploidalne jądro zygotyczne.

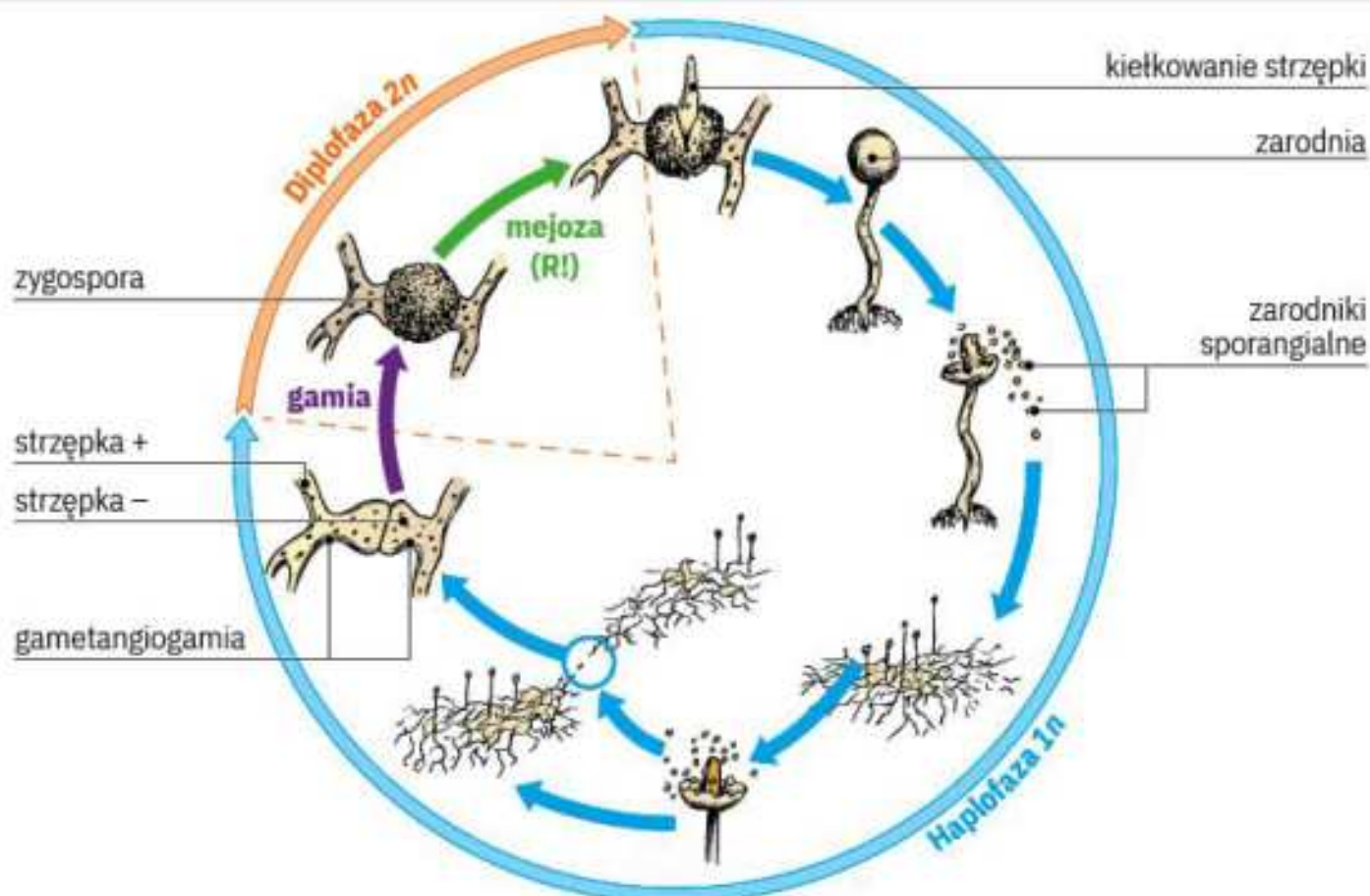
Cykle rozwojowe grzybów

cykle rozwojowe grzybów

U grzybów w cyklach rozwojowych wyróżnia się dwie podstawowe fazy: **diploidalną (2n)** i **haploidalną (1n)**. Często jedna z nich jest wyraźnie skrócona. U niektórych grzybów występuje trzeci stan jądra – **dikariofaza**, czyli faza jąder sprzężonych ($n + n$). Zachodzi ona wówczas, gdy kariogamia (złanie jąder) nie następuje bezpośrednio po plazmogamii, czyli złaniu cytoplazmy.

Cykl rozwojowy sprzężniowców

Sprzężniowce rozmnażają się bezpłciowo za pomocą **zarodników sporangialnych** (nieruchliwych apalnospór) lub **konidialnych**. Proces płciowy, który zachodzi u tych grzybów, to **gametangiogamia**. W cyklu rozwojowym faza haploidalna (1n) dominuje nad fazą diploidalną (2n) i dikariofazą ($n+n$) (ryc. V.1.7.).



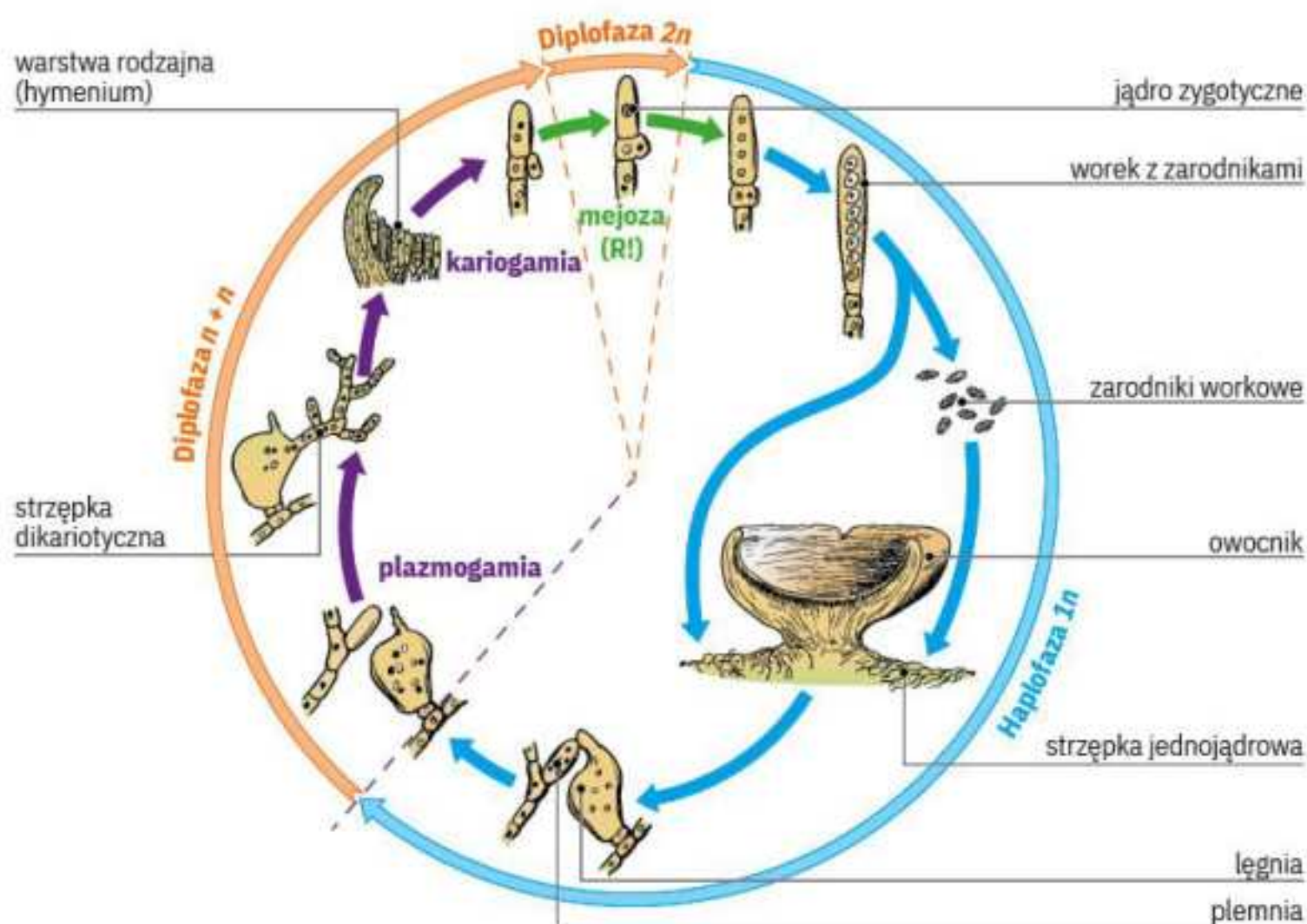
Ryc. V.1.7. Cykl rozwojowy sprzężniowców na przykładzie pleśniaka białego.



W cyklu rozwojowym następuje **plazmogamia**, czyli łączenie zawartości dwóch gametangiów utworzonych na różno płciowych (różnoimiennych) strzępkach grzybni oznaczonych (+) i (-). W wyniku połączenia powstaje **zygospora przetrwalnikowa** otoczona grubą, często kolczastą ścianą komórkową, odporna na niekorzystne warunki środowiskowe. Zygospora jako forma przetrwalnikowa niekiedy przez wiele miesięcy pozostaje nieaktywna. W sprzyjających warunkach dochodzi w niej do złącia różnoimiennych jąder, czyli **kariogamii**, w wyniku czego powstają diploidalne jądra zygotyczne ($2n$). Następnie zachodzi mejoza, która prowadzi do wytworzenia haploidalnych strzępek ($1n$). Zygospora pęka, uwalniając haploidalne strzęпки, na których szczycie formują się zarodnie wypełnione **sporangialnymi zarodnikami**. Zarodniki kiełkują w nową haploidalną grzybnie, która może rozmnażać się płciowo lub bezpłciowo za pomocą nieruchliwych **aplanospor**.

Cykl rozwojowy workowców

Workowce rozmnażają się bezpłciowo przez **podział komórki, pączkowanie, zarodniki konidialne i workowe**, a płciowo przez **gametangio gamię**. W cyklu rozwojowym workowców następuje przemiana faz jądrowych. Pokoleniem dominującym jest faza haploidalna ($1n$). Najkrócej trwa faza diploidalna ($2n$) (**ryc. V.1.8.**).

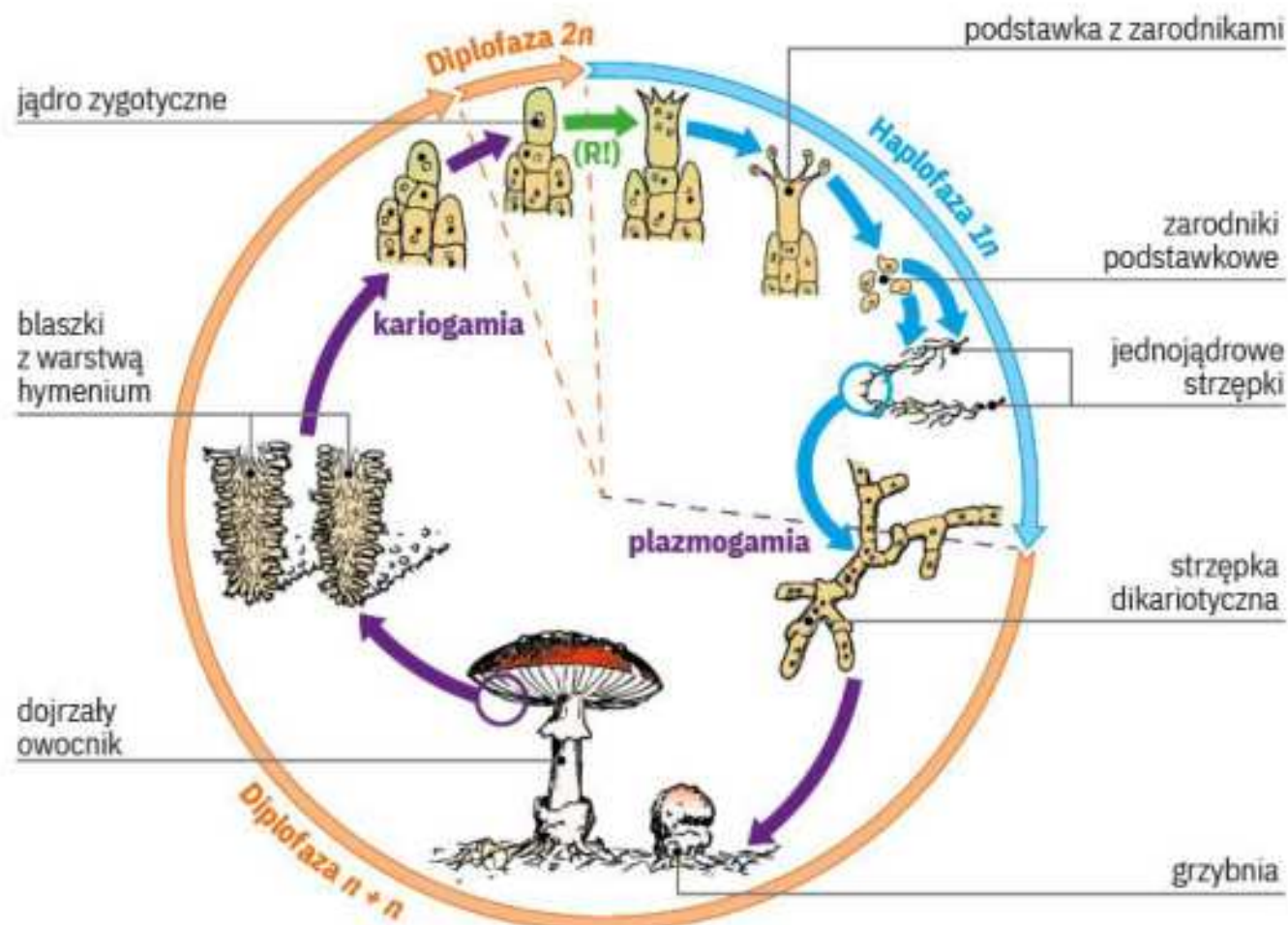


Ryc. V.1.8. Cykl rozwojowy podstawczaka na przykładzie dzieżki pomarańczowej.

Workowce wytwarzają wielojądrowe gametangia: **plemnie** i **lęgnie**. Powstają one z wielokomórkowych, podobnych zewnątrz, ale zróżnicowanych płciowo grzybni, które wyrastają z zarodników. Plemnica łączy się za pomocą charakterystycznego wyrostka – **włostka** – z lęgnią. Przez włostek następuje **plazmogamia**, czyli przeniesienie cytoplazmy wraz z jądrem komórkowym z plemni do lęgny. Zróżnicowane płciowo jądra układają się obok siebie parami i tworzą **pary jąder sprzężonych** ($n + n$), które przechodzą do strzępek wyrastających z zapłodnionej lęgny i formują tzw. **grzybnię dikariotyczną**. Strzępki grzybni dikariotycznej rosną, tworząc **warstwę hymenium** (tzw. warstwę rodzajną) – z niej wytworzą się zarodniki. Następnie szczytowe komórki strzępek dikariotycznych przekształcają się w zarodnie zwane **workami**, w których dochodzi do złączenia się jąder sprzężonych, czyli **kariogamii**. W wyniku kariogamii powstaje diploidalne jądro zygotyczne ($2n$). Dzieli się ono mejozy, dając cztery haploidalne jądra (n). Każde jądro przechodzi dodatkowo mitozę, w efekcie czego powstaje osiem haploidalnych zarodników workowych (n) – **askospor**. Uwolnione z zarodni zarodniki w sprzyjających warunkach kiełkują w haploidalną grzybnię, która może rozmnażać się bezpłciowo.

Cykl rozwojowy podstawczaków

Podstawczaki rozmnażają się bezpłciowo przez **zarodniki konidialne** i **podstawkowe** oraz płciowo na drodze **somatogamii**. W cyklu rozwojowym podstawczaków występuje przemiana faz jądrowych, w której przeważa dikariofaza ($n + n$). Faza haploidalna (n) jest skrócona, a faza diploidalna ($2n$) ogranicza się jedynie do jądra zygotycznego.



Ryc. V.1.9. Cykl rozwojowy workowca na przykładzie muchomora czerwonego.



Podstawczaki nie wytwarzają gametangiów. Proces płciowy polega na łączeniu się różnopłciowych, wielokomórkowych, haploidalnych (n) strzępek grzybni, w wyniku czego następuje **plazmogamia**. Powstają strzępki z parami jąder sprzężonych ($n + n$). Plazmogamia zachodzi pod powierzchnią ziemi. W określonych warunkach środowiska (np. opady deszczu czy zmiana temperatury) strzępki rozrastają się i wytwarzają owocnik, który najczęściej ma postać kapelusza osadzonego na trzonie. Spodnia strona kapelusza nosi nazwę **hymenoforu**. Znajduje się w nim warstwa rodzajna – **hymenium** – w której tworzą się zarodnie zwane podstawkami. Hymenium u podstawczaków przyjmuje postać blaszek (np. u rydza, pieczarki) lub rurek (np. u borowika, maślaka) (**ryc. V.1.10.**).



Ryc. V.1.10. Blaszki (A) rydza (*Lactarius* sp., czyt. laktarius) i (B) rurki borowika (*Caloboletus* sp., czyt. kaloboletus).

W szczytowych komórkach strzępek dikariotycznych warstwy rodzajnej owocnika dochodzi do zlewania się jąder sprzężonych, czyli **kariogamii**. Powstaje diploidalne jądro zygotyczne ($2n$), które przechodzi podział mejotyczny, w wyniku czego powstają cztery haploidalne (n) **zarodniki podstawkowe** (basidiospory). Zarodniki podstawkowe wnikają do czterech wyrostków wytworzonych przez komórkę szczytową strzępek dikariotycznych. W ten sposób powstaje **zarodnia, zwana podstawką**, z czterema zarodnikami podstawkowymi. Dojrzałe zarodniki odcinają się od zarodni, a rozsiewane przez wiatr kietkują w sprzyjających warunkach środowiska w nowe haploidalne grzybnie.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wyjaśnij, dlaczego grzyby stanowią oddzielne królestwo.
2. Przedstaw przystosowania grzybów do heterotroficznego sposobu odżywiania.
3. Wyjaśnij, dlaczego grzyby zaliczamy do plechowców.
4. Przedstaw różnice w sposobach rozmnażania bezpłciowego grzybów w formie tabeli w zeszycie. Uwzględnij podstawowe typy grzybów.
5. Porównaj cykl rozwojowy workowców i podstawczaków. Uwzględnij rozdział czasowy między plazmogamią i kariogamią.
6. Omów symbiozy między grzybami a innymi organizmami z uwzględnieniem korzyści tej współpracy dla obu stron.



PODSUMOWANIE LEKCJI

- **Grzyby** to eukariotyczne, heterotroficzne organizmy różniące się budową i czynnościami życiowymi od komórek roślinnych i zwierzęcych. ◀ s. 98
- **Komórki grzybów** są nieruchome, otoczone ścianą komórkową zbudowaną z chityny, nie zawierają plastydów, chlorofilu ani celulozy, a na materiał zapasowy składają się glikogen, tłuszcz i wolutyna. ◀ s. 98
- Grzyby mogą być jednokomórkowymi lub wielokomórkowymi **plechowcami**. ◀ s. 98
- Wielokomórkowe ciało grzyba zbudowane z wydłużonych i rozgałęzionych **strzępek** (jedno-, wielojądrowych lub komórczakowych) nosi nazwę **grzybni**. ◀ s. 98
- Grzyby mogą być **symbiontami**, **saprofitami** i **pasożytami**. ◀ s. 99
- Grzyby **oddychają tlenowo i beztlenowo** w procesie fermentacji. ◀ s. 101
- Grzyby **rozmnażają się bezpłciowo** przez pączkowanie, fragmentację plechy i zarodniki (konidialne, sporangialne, workowe, podstawkowe). ◀ s. 102
- Grzyby **rozmnażają się płciowo** na drodze gametogamii (izo-, anizo- lub oogamii), gametangiogamii i somatogamii. ◀ s. 102
- W **cyklach rozwojowych grzybów** wyróżnia się fazę diploidalną ($2n$), fazę haploidalną ($1n$) oraz (u niektórych workowców i podstawczaków) dikariofazę ($n + n$). ◀ s. 103
- Niektóre grzyby wchodzi w symbiozę z korzeniami roślin – **mikoryzę**. ◀ s. 100

2. Przegląd grzybów

NA TEJ LEKCJI:

- zapoznasz się z przeglądem grzybów;
- dowiesz się, jakie choroby są wywoływane przez grzyby;
- zrozumiesz znaczenie grzybów w przyrodzie i gospodarce człowieka.

Dział biologii zajmujący się systematyką, budową morfologiczną i anatomiczną oraz czynnościami życiowymi grzybów (*Fungi*) to **mykologia**. Grzyby są grupą niezwykle zróżnicowaną i obejmującą ponad 120 tys. opisanych gatunków. Klasyfikacja grzybów opiera się przede wszystkim na sposobach rozmnażania oraz typach wytwarzanych owocników.

Wyróżnia się pięć gromad grzybów: skoczkwce (*Chytridiomycetes*), sprzężniowce (*Zygomycetes*), kłębniaczkowce (*Glomeromycetes*), workowce (*Ascomycetes*), podstawczaki (*Basidiomycetes*). ◀ podział grzybów

Skoczkowce (*Chytridiomycetes*)



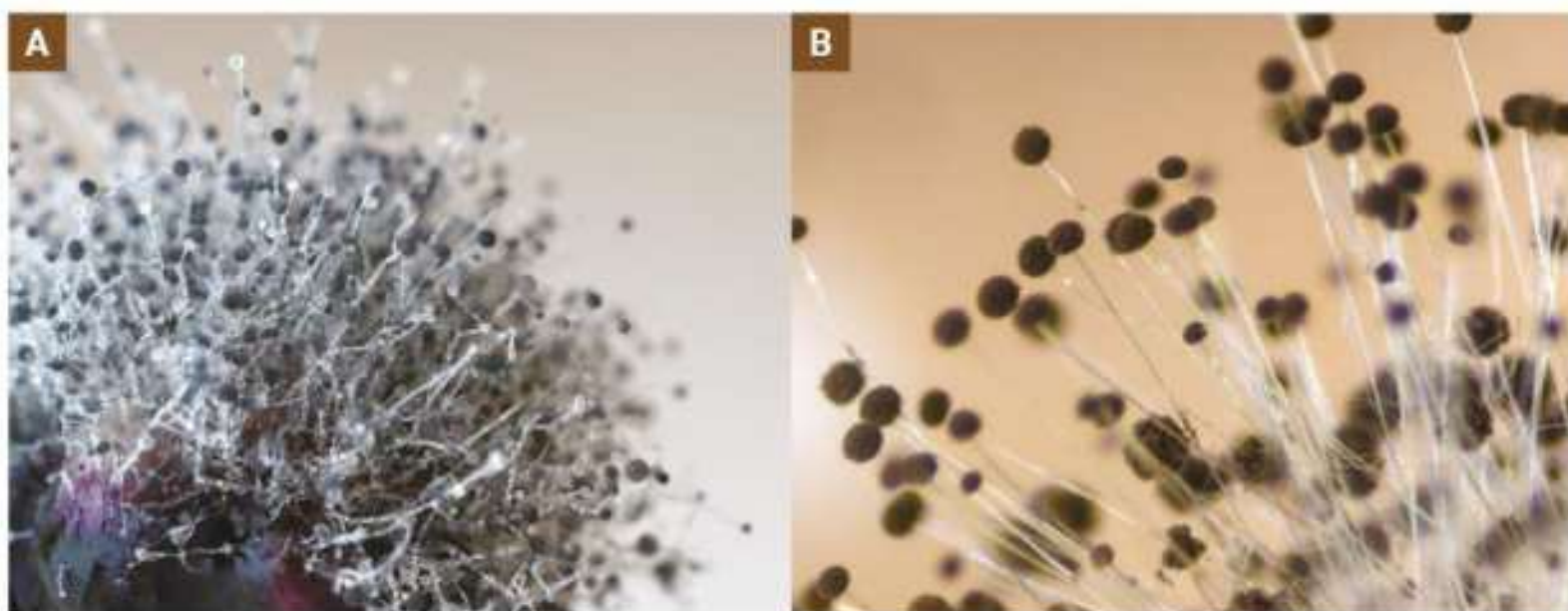
Ryc. V.2.1. Bulwa ziemniaka zainfekowana przez grzyba z rodzaju *Synchytrium*. Grzyb wywołuje tzw. raka ziemniaczanego. Zarażone bulwy tworzą rakowate narośla, których rozpad uwalnia przetrwalniki grzyba mogące infekować nawet przez 20 lat.

Wyróżniają się spośród pozostałych typów grzybów prostą budową. Są to organizmy jednokomórkowe lub wytwarzające grzybnie komórczakowe. Skoczkowce w większości żyją w wodzie, gdzie prowadzą saprofityczny lub pasożytniczy tryb życia. Jako jedyne grzyby nie tworzą nitkowatych strzępek i mają wici. Rozmnażają się bezpłciowo za pomocą ruchliwych zoospor i płciowo na drodze izogamii lub oogamii. W ich cyklu życiowym przeważa haplofaza.

Wiele gatunków skoczkowców to pasożyty roślin uprawnych, np. ziemniaków i kapusty (ryc. V.2.1.). Niektóre skoczkowce żyją w warunkach beztlenowych w żołądkach zwierząt przeżuwających.

Sprzężniowce (*Zygomycetes*)

Sprzężniowce są grzybami lądowymi zbudowanymi z wielojądrowych, haploidalnych strzępek. Rozmnażają się bezpłciowo za pomocą zarodników sporangialnych lub konidialnych i płciowo na drodze gametangiogamii. Sprzężniowce są saprofitami żyjącymi na martwej materii organicznej pochodzenia roślinnego i zwierzęcego. Do sprzężniowców zalicza się także pasożyty roślin, grzybów i zwierząt (owadów i nicieni). Często wywołują zjawisko pleśnienia produktów spożywczych, jak np. rozłóżek czerniejący (*Rhizopus nigricans*) i pleśniak biały (*Mucor mucedo*) (ryc. V.2.2.).



Ryc. V.2.2. Przedstawiciele sprzężniowców – (A) pleśniak biały (*M. mucedo*, czyt. mucedo) i (B) rozłóżek czerniejący (*R. nigricans*, czyt. nigrikans).

Do sprężniowców zaliczamy owadomorki, które są pasożytami wewnętrznymi owadów, roztoczy i nicieni. Wytworzyły one szereg przystosowań do pasożytnictwa, m.in. produkują enzym chitynazę trawiący pancerzyk chitynowy owadów czy substancje o działaniu neurohormonalnym oddziałujące na układ nerwowy żywiciela i zmieniające jego zachowanie na korzyść pasożyta.

Przedstawicielem sprężniowców jest także zrywka kryształowa (*Pilobolus crystallinus*, czyt. pilobolus krystalinus), która żyje na odchodach bydłęcych (ryc. V.2.3.).



Ryc. V.2.3. Zrywka kryształowa, grzyb rozsiewający zarodnie przez „wystrzeliwanie” ich w kierunku światła.

Kłębniaczkowce (*Glomeromycetes*)

Są to powszechnie występujące arbuskularne grzyby mikoryzowe, żyjące w symbiozie z blisko 80% gatunków roślin lądowych. Nazwa tej mikoryzy pochodzi od arbuskuli (z łac. *arbor* – drzewo), czyli krzaczasto rozgałęziających się strzępek grzyba, które wnikają do wnętrza komórek korzenia. Ułatwiają one roślinie przyswajanie z gleby wielu cennych pierwiastków (głównie fosforu), zmniejszają kumulację metali ciężkich w roślinach i chronią je przed działaniem pasożytów i patogenów. Grzyby te rozmnażają się przez różne rodzaje zarodników (ryc. V.2.4.).



Ryc. V.2.4. Komonica zwyczajna (*Lotus corniculatus*, czyt. lotus kornikulatus) (A), bylina z rodziny bobowych, żyje w mikoryzie arbuskularnej z grzybem *Gigaspora margarita* (B).

Workowce (*Ascomycetes*)

Workowce są dotychczas najliczniejszą grupą grzybów. Opisano ponad 80 tysięcy ich gatunków. Występują przede wszystkim w środowisku lądowym, rzadko w wodnym. Reprezentują dużą różnorodność form organizacji ciała: od jednokomórkowych (np. drożdże) do wielokomórkowych, których grzybnia zbudowana z nitkowatych strzępek tworzy owocniki. Owocniki u workowców przyjmują różne kształty

i formy: zamknięte, miseczkowate, kuliste czy butelkowate (**ryc. V.2.5.**). Workowce rozmnażają się bezpłciowo przez podział komórki, pączkowanie, zarodniki konidialne i workowe oraz płciowo na drodze gametangiogamii. Workowce są głównie grzybami saprofitycznymi (np. trufle, smardze, pędzlaki i kropidlaki) odżywiającymi się martwą materią organiczną.



Ryc. V.2.5. Typy owocników u workowców: (A) zamknięty trufli (*Tuber* sp.), (B) miseczkowaty czarki szkarłatnej (*Sarcoscypha coccinea*, czyt. sarkoscyfa kokkinea), (C) kulisty smardza jadalnego (*Morchella esculenta*, czyt. morchella eskulenta) – gatunek podlega częściowej ochronie gatunkowej.



Ryc. V.2.6. Buławinka czerwona (*Claviceps purpurea*, czyt. kalwiceps purpurea) wywołuje chorobę zbóż i traw zwaną sporyszem. Sporysz ze względu na zawartość wielu alkaloidów, np. ergotaminę i ergometrynę, jest wykorzystywany do produkcji niektórych leków, m.in. przyspieszających skurcze porodowe.

Znane są także gatunki pasożytnicze, np. buławinka czerwona, czyli sporysz, mączniaki i grzyby symbiotyczne, żyjące w mikoryzie z korzeniami roślin czy budujące plechy porostów (**ryc. V.2.6.**).

Podstawczaki (*Basidiomycetes*)

Podstawczaki są drugą po workowcach najliczniejszą grupą grzybów. Liczą ponad 40 tysięcy opisanych gatunków. Żyją w środowisku lądowym i podobnie jak workowce reprezentują dużą różnorodność form od jednokomórkowych po nitkowate, wielokomórkowe grzybnie tworzące owocniki dorastające do znacznych rozmiarów. Owocniki i hyme-

nofory przyjmują różne kształty, np. owocniki mogą być konsolowate, kopytowane, kapeluszowe, gałęziste i zamknięte, a hymenofory – gładkie, kolczaste, labiryntowe czy żytkowane (**ryc. V.2.7.**). Podstawczaki rozmnażają się bezpłciowo przez zarodniki konidialne i podstawkowe oraz płciowo na drodze somatogamii. Podstawczaki są grzybami saprofitycznymi, wśród których wiele gatunków jest jadalnych dla człowieka, np. pieczarki, borowiki, maślaki, podgrzybki. Liczne gatunki są śmiertelnie trujące, m.in. muchomory, np. muchomor sromotnikowy zawierający silnie trującą substancję amanitynę (**ryc. V.2.8.**). Niektóre gatunki podstawczaków są groźnymi pasożytami roślin, np. rdza żdźbłowa – pasożyt pszenicy i traw – oraz głównie i śniecie – pasożyty pszenicy.



Ryc. V.2.7. Owocnik zamknięty (A) purchawki (*Lycoperdon* sp., czyt. lykoperdon), (B) hubiaka pospolitego (*Fomes fomentarius*), pasożyta drzew żywych lub martwych, oraz (C) borowika szlachetnego (*Boletus edulis*).

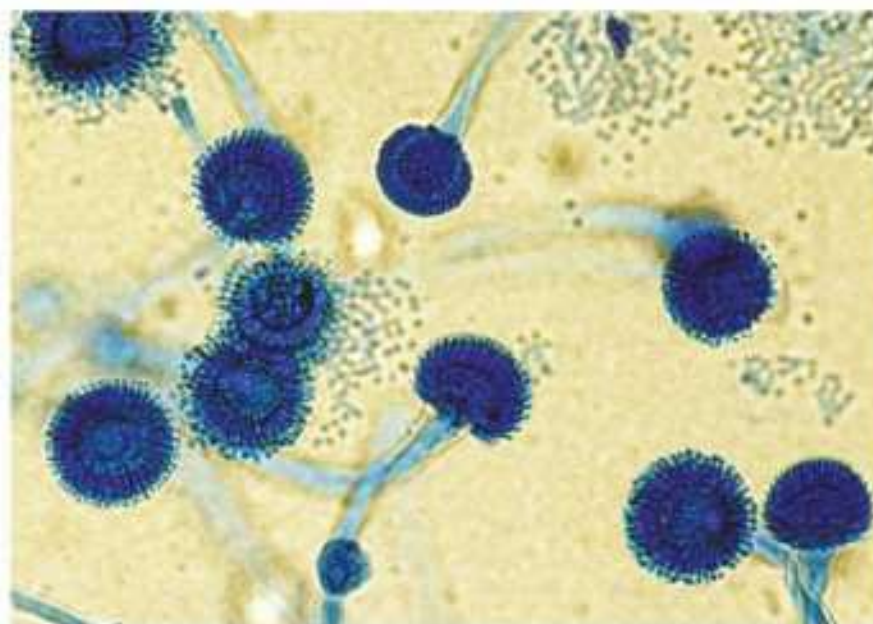


Ryc. V.2.8. Owocniki grzybów trujących: (A) muchomora sromotnikowego (*Amanita phalloides*, czyt. amanita faloides) często mylonego z pieczarkami, (B) borowika szatańskiego (*Boletus satanas*), bardzo podobnego do borowika jadalnego, oraz (C) czubajeczki cuchnącej (*Lepiota cristata*, czyt. lepiota kristala), mylonej z kanią.

Grzyby niedoskonałe (*Deuteromycetes*)

grzyby
niedoskonałe

Grzyby niedoskonałe to grupa stworzona sztucznie dla grzybów, u których nie stwierdzono rozmnażania płciowego. Grzyby te rozmnażają się bezpłciowo przez zarodniki konidialne. Zaliczamy do nich przedstawicieli workowców i rzadziej podstawczaków. We współczesnej systematyce często nie wyróżnia się tej grupy, a gatunki, u których nie występuje rozmnażanie płciowe, są zaliczane do workowców i – nieliczne – do podstawczaków (ryc. V.2.9.).



Ryc. V.2.9. Kropidlak popielaty (*Aspergillus fumigatus*) jest zaliczany do grzybów niedoskonałych. Wywołuje u ludzi reakcje alergiczne w postaci kataru siennego i astmy oskrzelowej.

Znaczenie grzybów

znaczenie grzybów saprofitycznych

▶ 1. Jako **organizmy saprofityczne** odżywiają się martwą materią organiczną, dzięki czemu ograniczają jej gromadzenie w środowisku, co zapewnia utrzymanie równowagi biologicznej.

2. Grzyby jako **destruenci** rozkładający szczątki innych organizmów uczestniczą w krążeniu materii i pierwiastków (głównie węgla i azotu) w przyrodzie. Przyczyniają się też do użyźniania gleby w przyswajalne przez rośliny związki mineralne, a tym samym wpływają na wysokość plonów roślin uprawnych.

3. Grzyby jako jedyne organizmy mają zdolność rozkładu trwałych ścian komórkowych roślin lądowych dzięki wydzielaniu enzymów: **celulazy, hemicelulazy i ligninazy**.

mikoryza

▶ 4. Symbioza grzybów z korzeniami roślin – **mikoryza** – zwiększa pobieranie wody i soli mineralnych przez rośliny, chroni je przed wpływem toksyn i metali ciężkich oraz przed zakażeniem bakteriami i innymi grzybami pasożytniczymi. W przypadku większości gatunków storczyków mikoryza jest im niezbędna do życia.

5. Grzyby jadalne ze względu na swoje walory smakowe są wykorzystywane przez człowieka jako surowiec kulinarny lub dodatki do potraw. Wartość energetyczna grzybów jest niewielka, dostarczają soli mineralnych i witamin (B₁, B₂, PP, D), a chityna zawarta w ich ścianach komórkowych zwiększa perystaltykę przewodu pokarmowego.

wykorzystanie w przemyśle

▶ 6. Niektóre grzyby są uprawiane przez człowieka na **skalę przemysłową**, stanowiąc surowiec spożywczy, np. pieczarki, boczniki, trufle.

7. Grzyby mające zdolność do fermentacji wykorzystuje się do produkcji żywności: drożdże do spulchniania ciasta w piekarnictwie czy do wyrobu piwa i wina, niektóre gatunki pędzla (*Penicillium camemberti*, *Penicillium roqueforti*) do produkcji sera, a pewne gatunki rozłóżka do produkcji kwasu mlekowego na skalę przemysłową.

8. Grzyby są wykorzystywane w **przemyśle farmaceutycznym** do otrzymywania antybiotyków (m.in. pędzla *Penicillium notatum* do produkcji penicyliny) oraz witamin A, B₂, B₁₂. Z niektórych grzybów uzyskuje się cyklosporynę – lek zapobiegający odrzucaniu przeszczepów.

9. Niektóre gatunki drożdży, których komórki zostały genetycznie zmodyfikowane, są wykorzystywane do produkcji białek o znaczeniu leczniczym, takich jak **interferon i insulina**.

10. Grzyby saprofityczne są przyczyną psucia się artykułów spożywczych (pleśniak głównie produktów mlecznych, a rozłóżek czerniejący – owoców), materiałów budowlanych, drewna, a także odzieży. Niektóre gatunki kropidlaków, rozwijając grzybnie na artykułach spożywczych, wydzielają aflatoksyny – toksyczne, rakotwórcze substancje chemiczne.

11. Grzyby trujące są przyczyną śmiertelnych zatruc u człowieka, np. muchomor sromotnikowy wydziela silnie trującą amanitynę.

12. Niektóre gatunki grzybów, np. buławinka czerwona, rdza żdźbłowa, głównie i śniecie, są **pasożytami roślin**. Powodują duże szkody w rolnictwie. Znaczne straty w gospodarce leśnej wywołują grzyby pasożytujące na drzewach, głównie huby i opieńki miodowe.

◀ pasożyty roślin

13. U zwierząt i człowieka grzyby pasożytnicze (drożdżyce – kandydozy i dermatofity) są **przyczyną grzybicy powierzchniowych warstw skóry** i błon śluzowych oraz bardzo niebezpiecznych grzybicy narządów wewnętrznych (np. płuc, jelit, wątroby, śledziony, ośrodkowego układu nerwowego), które mogą doprowadzić do śmierci. Najczęściej są wywoływane przez drożdżaki, m.in. *Candida albicans*. Grzybice mogą rozwijać się na skórze owłosionej, gładkiej, a także na paznokciach. Rozwojowi grzybów sprzyjają skłonności do pocenia się stóp, a także noszenie obuwia i ubrań ze sztucznych, nieprzewiewnych tworzyw. Grzybice rozwijają się częściej u osób z osłabionym układem odpornościowym, np. podczas długotrwałej kuracji antybiotykowej, u leczonych kortykosteroidami, niedożywionych, chorych na cukrzycę. Czasami kandydozy towarzyszą rozwijającej się chorobie nowotworowej, np. nowotworowi płuc czy ziarnicy złośliwej.

◀ pasożyty zwierząt i człowieka

Podstawą w profilaktyce – zapobieganiu wystąpienia grzybicy – jest higiena osobista, czyli codzienne zmienianie bielizny i skarpetek, używanie własnego ręcznika, odzieży i butów, higiena ubrań, noszenie kłapek na basenie, w saunie czy łaźniach. Ważne jest także dbanie o właściwą pracę układu odpornościowego. Podczas leczenia antybiotykami o szerokim spektrum należy stosować antybiotyki przeciwgrzybicze.

14. Grzyby z rodzaju *Alternaria*, *Cladosporium*, *Penicillium* i *Aspergillus* są **źródłem alergii pleśniowych**, które stanowią najczęstszą przyczynę nieżyty nosa i astmy.

◀ alergie pleśniowe

Zarodniki tych grzybów występują w powietrzu przez cały rok (z wyraźnym nasileniem latem i jesienią) i drogą wziewną przedostają się do dróg oddechowych osób nadwrażliwych na ten typ alergenów. Istotnym źródłem uczulających grzybów jest także domowy kurz i nieprawidłowo działające urządzenia klimatyzacyjne, a także zamknięte pomieszczenia o dużej wilgotności, pralnie, łazienki, kuchnie, baseny, sauny czy drewniane domki letniskowe.

15. Grzyby z gatunku *Malassezia furfur* są **przyczyną łupieżu suchego, tłustego i pstrego**. Zarażenie następuje przez podrażnienia na owłosionej skórze głowy (łupież suchy i tłusty) lub na klatce piersiowej, szyi, plecach (łupież pstry).



Ryc. V.2.10. Łupież pstry pojawia się w postaci białych lub brązowych plam na powierzchni ciała w wyniku nadmiernego rozmnażania drożdżaków. Rozwój tych grzybów jest efektem osłabionej odporności organizmu.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Na podstawie dostępnych źródeł sporządź w zeszycie listę chronionych gatunków grzybów w Polsce.
2. Muchomor sromotnikowy jest śmiertelnie trującym grzybem występującym w Polsce. Omów, czym różni się od innych gatunków grzybów i jakie są objawy zatrucia nim.
3. Podaj, jakie znaczenie dla środowiska przyrodniczego mają grzyby saprofityczne.
4. Wyjaśnij, w jakim celu została utworzona grupa grzybów niedoskonałych.
5. Wymień co najmniej trzy choroby człowieka spowodowane przez patogenne grzyby. Omów sposoby zapobiegania tym chorobom. Zadanie wykonaj w zeszycie.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- s. 107 ▶ • **Do grzybów zaliczamy:** skoczkowce (*Chytridiomycetes*), sprzężniowce (*Zygomycetes*), kłębiaczkowce (*Glomeromycetes*), workowce (*Ascomycetes*), podstawczaki (*Basidiomycetes*).
- s. 111 ▶ • **Grzyby niedoskonałe** to grupa stworzona sztucznie dla grzybów, u których nie stwierdzono rozmnażania płciowego.
- s. 112 ▶ • **Grzyby saprofityczne** uczestniczą w obiegu materii w przyrodzie i procesach glebotwórczych.
- s. 112 ▶ • Wiele gatunków grzybów jest **wykorzystywanych w przemyśle** spożywczym i farmaceutycznym oraz biotechnologii.
- s. 112 ▶ • **Grzyby jako organizmy saprofityczne** są przyczyną psucia się artykułów spożywczych, materiałów budowlanych, drewna, a także odzieży.
- s. 113 ▶ • Niektóre gatunki grzybów są **pasożytami roślin**. Powodują duże straty w uprawach.
- s. 113 ▶ • **Grzyby trujące** powodują śmiertelne zatrucia u człowieka.
- s. 113 ▶ • **Grzyby pasożytnicze** zwierząt i człowieka wywołują grzybice powierzchniowe skóry i błon śluzowych oraz grzybice narządów wewnętrznych, które mogą doprowadzić do śmierci.
- s. 113 ▶ • Zarodniki niektórych grzybów mogą być źródłem **alergii** prowadzących do nieżytów nosa i astmy. Niektóre grzyby przyczyniają się do powstania łupieżu suchego, tłustego i pstrego.

3. Porosty

NA TEJ LEKCJI:

- zapoznasz się z różnorodnością morfologiczną porostów;
- poznasz swoje cechy porostów;
- dowiesz się, jakie znaczenie mają porosty w przyrodzie i gospodarce człowieka.

Porosty są plechowcami zbudowanymi z dwóch komponentów: strzępek grzyba, głównie workowców, a rzadziej podstawczaków, i komórek zielenic lub sinic. Współpraca grzyba (mykobionta) i **zielenicy** (fotobionta) lub **sinicy** opiera się na **symbiozie obligatoryjnej**, czyli **mutualizmie**. Grzyb ochrania oraz dostarcza wody i soli mineralnych, a zielenice lub sinice – substancji odżywczych uzyskanych na drodze fotosyntezy. Dzięki temu związkowi porosty są samożywne – autotroficzne. Istnieje teoria, która wykazuje, że wśród obydwu komponentów porostu dominującą rolę odgrywa grzyb, który uniemożliwia rozmnażanie płciowe sinicom lub zielenicom, a wydzielając różne substancje, kontroluje ich wzrost i proces fotosyntezy. Ta zależność jest przykładem kontrolowanego pasożytnictwa grzyba na zielenicy lub sinicy i stanowi odmianę symbiozy nazwaną **helotyzmem** (gr. *heilotes* – jeniec, niewolnictwo; grzyb więzi zielenice lub sinice).

◀ mutualizm

◀ helotyzm

Zjawisko helotyzmu powoduje powstanie cech właściwych tylko dla porostów, takich jak **specyficzny kształt ciała**, **odporność na suszę** (korzystają z wilgoci z powietrza) oraz wytwarzanie **kwasów porostowych** – substancji nierozpuszczalnych w wodzie, które działają bakteriobójczo (wpływają na rozwój mikroflory bakteryjnej) i nadają plesze porostu charakterystyczne zabarwienie. Dzięki tym właściwościom porosty mogą zasiedlać tereny niedostępne dla innych organizmów, np. skały, jałowe gleby czy piaski, pełniąc **funkcję organizmów pionierskich**. Dużo gatunków porostów występuje w tundrze i wysoko w górach, a także w zacienionych lasach równikowych i na terenach półpustynnych. Niektóre gatunki żyją w wodach słodkich i na nadmorskich skałach.

◀ organizmy pionierskie

Porosty dzięki dużej powierzchni oraz wchłanianiu wody i soli mineralnych z powietrza są wyjątkowo wrażliwe na zanieczyszczenie atmosfery, szczególnie tlenkami siarki i azotu. Duże stężenie tych związków w atmosferze powoduje wymieranie w pierwszej kolejności porostów krzaczkowatych, następnie listkowatych, a na końcu skorupiastych. Ta wrażliwość porostów znalazła zastosowanie w **bioindykacji**, czyli określaniu zmian w środowisku z wykorzystaniem organizmów żywych jako **organizmów wskaźnikowych**.

◀ biowskaźniki

Ciało porostów występuje w postaci **plechy**, która jest przytwierdzona do podłoża za pomocą chwytników. W zależności od kształtów wyróżnia się trzy podstawowe rodzaje plech: **skorupiaste**, **listkowate** i **krzaczkowate**. **Plechys skorupiaste** są silnie spłaszczone, pozbawione chwytników. Ściśle przylegają do podłoża, np. skały, muru czy kory drzew, a czasami w nie wra-
stają (**ryc. V.3.1.**).



◀ plecha

Ryc. V.3.1. Wzorzec alpejski (*Rhizocarpon alpicola*, czyt. rizokarpon alpikola). W Polsce występuje tylko w Tatrach, na takich samych siedliskach jak wzorzec geograficzny – niewapienne skały i ściany skalne.



Ryc. V.3.2. Pustułka pęcherzykowata (*Hypogymnia physodes*, czyt. hypogymnia fysodes), w Polsce pospolita na całym obszarze kraju.

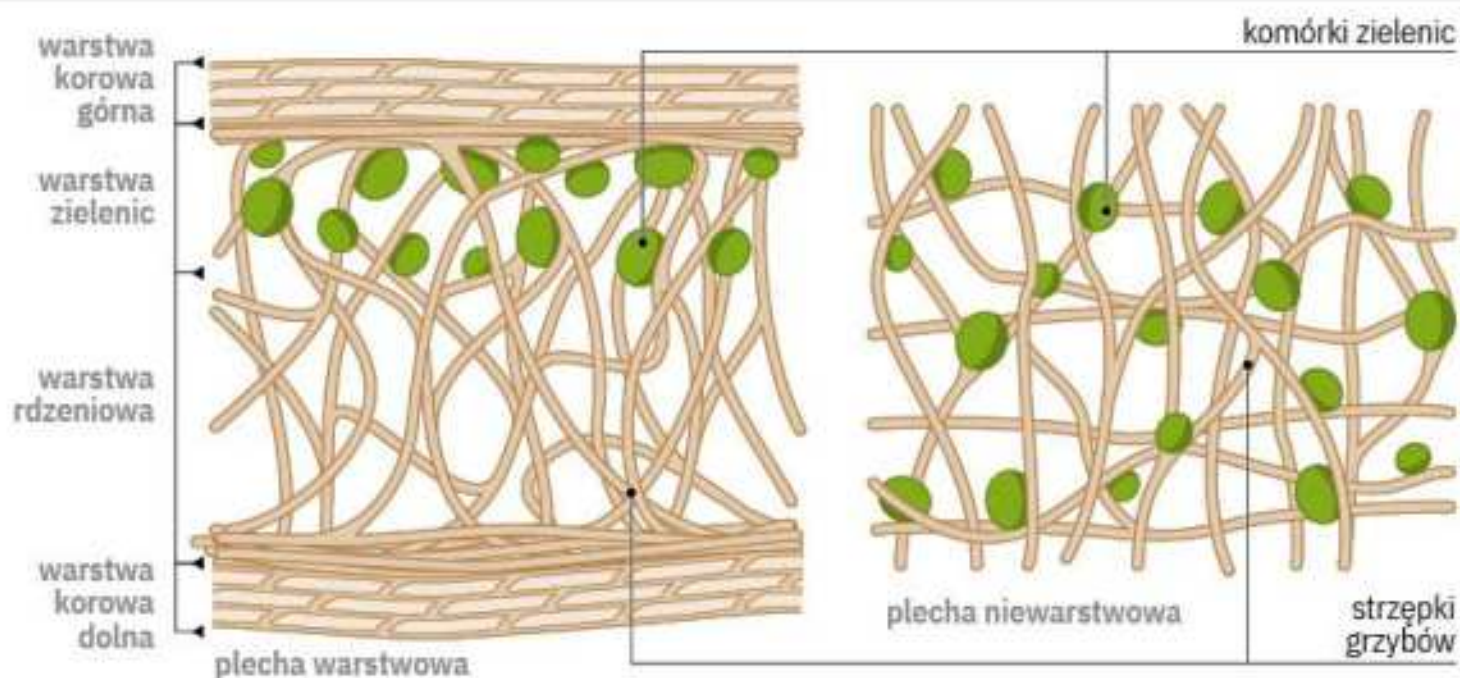


Ryc. V.3.3. Brodaczka kędzierzawa (*Usnea subfloridana*). Wszystkie gatunki z rodzaju brodaczka *Usnea* są objęte w Polsce ścisłą ochroną gatunkową.

Silnie spłaszczone są także **plechy listkowe**, kształtem przypominające blaszki liściowe. Plechy listkowe są zwykle przytwierdzone do podłoża w kilku miejscach za pomocą chwytników (ryc. V.3.2.).

Plechy krzaczkowe mają najbardziej zróżnicowaną budowę. Składają się z części nasadowej z chwytnikami, którymi są przymocowane do podłoża, oraz licznych rozgałęzień rosnących pionowo ku górze (ryc. V.3.3.). Są szczególnie wrażliwe na zanieczyszczenie powietrza, dlatego odgrywają ważną rolę w bioindykacji i monitoringu środowiska.

Strzępki grzyba są silnie splecione, co pozwala na rozwinięcie się między nimi zielenic lub sinic. W plesze porostu grzyby porostowe są dominujące. Ich strzępki tworzą struktury podobne do owocników grzybów, między którymi znajdują się zielenice lub sinice. W plesze porostów wyróżnia się zbudowaną z tkanki plektenchymatycznej **warstwę korową** górną i dolną. Izoluje ona porost od wpływów środowiska zewnętrznego. Pod warstwą korową rozmieszczone są równomiernie komórki zielenic lub sinic (**plecha niewarstwowa**) lub tworzą wyraźne warstwy (**plecha warstwowa**) (ryc. V.3.4.).

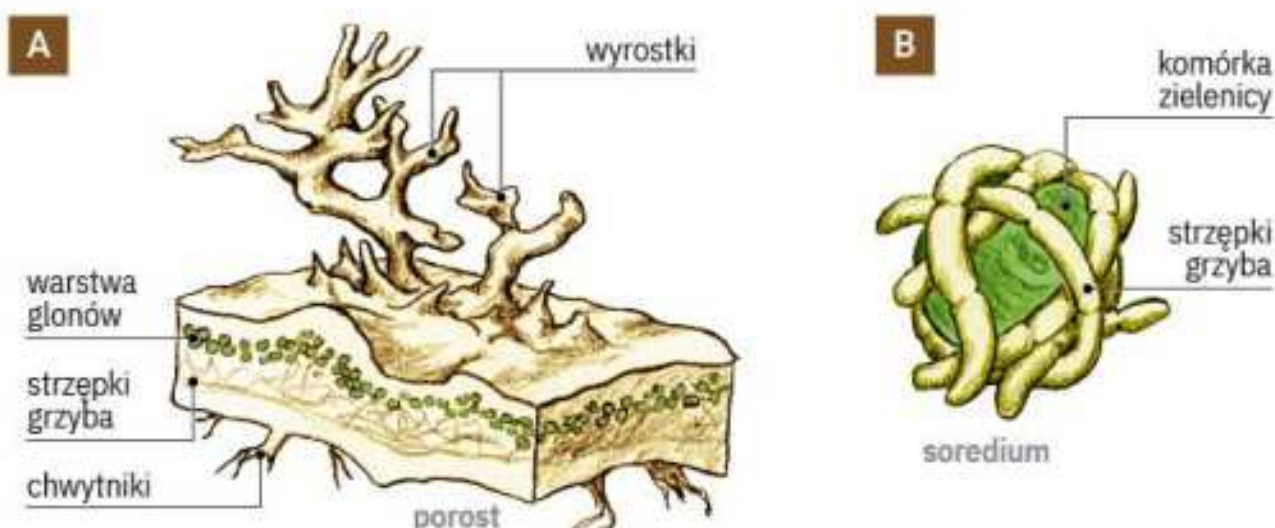


Ryc. V.3.4. Plechy porostów: niewarstwowa i warstwowa.

Porosty rozmnażają się wyłącznie wegetatywnie za pomocą specjalnych struktur – **urwistków** i **wyrostków**. **Urwestki** (soredia) są małymi strukturami zbudowanymi z jednej lub kilku komórek zielenicy lub sinicy oplecionych strzępkami grzyba. Powstają one pod warstwą korową plechy i wydostają się przez jej pęknięcie.

urwestki i wyrostki

Wyrostki (izydia) są większe od urwistków i powstają na powierzchni plechy porostu jako kruche odgałęzienia, które się od niej odłamują. Urwestki i wyrostki są roznoszone przez wiatr, a gdy trafią na właściwe podłoże, rozrastają się w nowy organizm (ryc. V.3.5.).



Ryc.V.3.5. Formy rozmnażania wegetatywnego porostów: (A) wyrostki i (B) urwestki.

Płciowo lub za pomocą zarodników rozmnażają się tylko grzyby porostowe – workowce lub podstawczaki. Zarodniki kiełkują w grzybnię, która po natrafieniu na zielenicę lub sinicę wchodzi z nimi w symbiozę i tworzy plechę porostu.

Znaczenie porostów

1. Porosty jako **organizmy pionierskie**, zasiedlające środowiska ubogie, przyspieszają proces mechanicznego i chemicznego wietrzenia skał oraz uczestniczą w procesach glebotwórczych (kwasy porostowe), przez co przygotowują podłoże dla osiedlania się innych organizmów (mszaków, paprotników, roślin nasiennych).

2. Porosty jako **bioindykatory** służą do oceny stopnia zanieczyszczenia powietrza dwutlenkiem siarki lub dwutlenkiem azotu. bioindykatory

3. Porosty przez zdolność do pochłaniania przez plechy dużych ilości wody z opadów atmosferycznych regulują wilgotność środowiska. Przyczyniają się do powstania mikroklimatu.

4. Związki chemiczne wytwarzane przez porosty epifityczne, występujące na roślinach, chronią je przed infekcjami grzybowymi.

5. Porosty są schronieniem i pokarmem dla wielu zwierząt, np. karibu, woły piżmowe i renifery odżywiają się chrobotkiem alpejskim (*Cladonia stellaris*), płucnicą islandzką (*Cetraria islandica*) i płucnicą kędzierzawą (*Cetraria ericetorum*). Porosty

są wykorzystywane przez niektóre gatunki ptaków do budowy gniazd i dzięki właściwościom antyseptycznym stanowią ochronę przed pasożytami.

6. Niektóre gatunki porostów, pomimo stosunkowo niskiej wartości odżywczej, są jadane przez człowieka, np. w Japonii kruszownica jadalna (*Umbilicaria esculenta*, czyt. umbilikaria eskulenta) i włostka (*Alectoria pellucida*, czyt. alektoria pellucida). W Laponii do wypieku chleba używa się zmielonej plechy płucnicy islandzkiej.

7. Porosty są wykorzystywane przy farbowaniu tkanin, w przemyśle kosmetycznym do utrwalania zapachów perfum (mąkla tarniowa *Evernia prunastri*), do produkcji lakmusu (orselka barwierska *Roccella tinctoria*, czyt. rokkella tinktoria) wykorzystywanego jako wskaźnik pH roztworu, a także do produkcji środków zwalczających roślinożerne owady i ślimaki.

8. Porosty były powszechnie stosowane w medycynie ludowej, np. przy leczeniu kataru, kaszlu, gruźlicy, epilepsji, a nawet jako tampony do tamowania krwotoków. Współcześnie z płucnicy islandzkiej produkuje się leki, najczęściej stosowane w leczeniu nieżytu dróg oddechowych oraz wrzodów żołądka i dwunastnicy.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Zapisz w zeszycie cechy porostów, na podstawie których można je określić jako organizmy pionierskie i bioindykatory.
2. Na podstawie cech porostów wymień, czym powinien charakteryzować się dobry biowskaźnik.
3. Wyjaśnij, dlaczego zależność między komponentami tworzącymi porost często jest określana mianem helotyzmu – niewolnictwa.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- s. 115 ▶ Porosty są **organizmami symbiotycznymi** złożonymi z grzyba (najczęściej workowca, rzadziej podstawczaka) i komórek zielenicy lub sinicy.
- s. 115 ▶ Grzyb chroni **zielenicę lub sinicę**, zaopatruje ją w wodę i sole mineralne, a drugi komponent dostarcza grzybowi produktów powstałych w procesie fotosyntezy.
- s. 115 ▶ Ciało porostów ma postać **plechy**, która ze względu na budowę zewnętrzną może być skorupiasta, listkowata lub krzaczkowata, a ze względu na rozmieszczenie zielenicy lub sinicy – niewarstwowa lub warstwowa.
- s. 115 ▶ Porosty jako **organizmy pionierskie** mają niewielkie wymagania życiowe i pierwsze zasiedlają obszary niedostępne dla innych organizmów: skały, mury, korę drzew.
- s. 117 ▶ Porosty **rozmnażają się wegetatywnie** przez fragmentację plechy i za pomocą specjalnych struktur, tzw. **urwisków i wyrostków**. Grzyby tworzące porosty mogą się rozmnażać tylko płciowo.
- s. 115 ▶ Porosty są bardzo wrażliwe na zanieczyszczenie powietrza i mogą być wykorzystywane jako **bio-wskaźniki** stężenia związków siarki i azotu.

PODSUMOWANIE PRZED SPRAWDZIANEM

Porównanie sprężniowców, workowców i podstawczaków

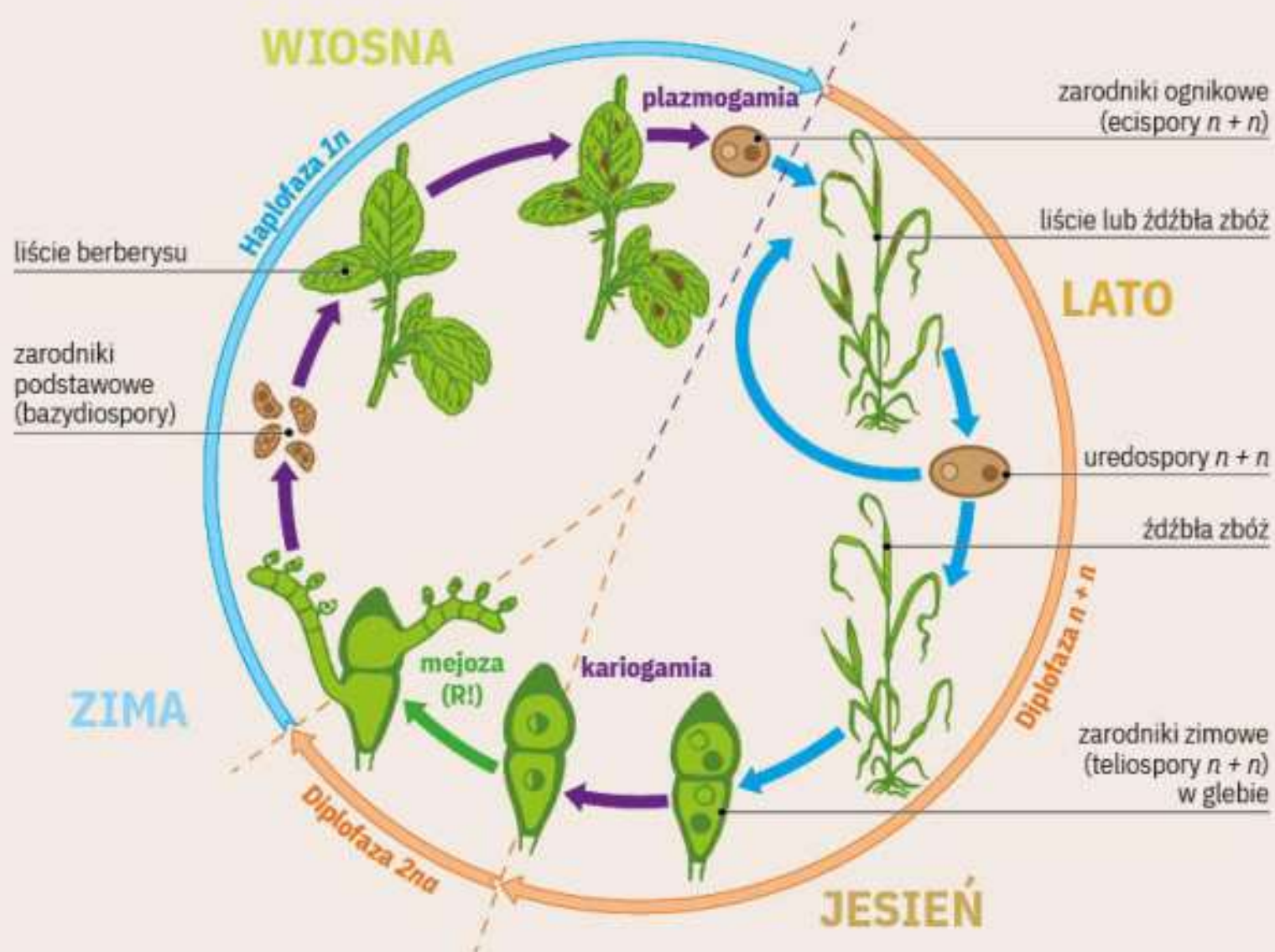
◀ s. 107

Cecha	Sprężniowce	Workowce	Podstawczaki
obecność ścian poprzecznych w strzępkach	brak	obecne	obecne
rozmnażanie bezpłciowe	zarodniki sporangialne	zarodniki konidialne lub workowe	zarodniki konidialne lub podstawkowe
rozmnażanie płciowe	gametangiogamia	gametangiogamia	somatogamia
gametangia	proste na strzępkach wegetatywnych	lęgnie i plemnie	dwie różnopłciowe strzępki
plazmogamia	łączenie strzępek przez rozpuszczenie ściany między nimi	za pomocą włostka przelewanie zawartości plemni do lęgna	połączenie strzępek
dikariofaza ($n+n$)	krótka	krótka	dominuje długa
kariogamia	bezpośrednio po plazmogamii, prowadzi do powstania przetrwanej zygospory	po krótkiej dikariofazie (faza jąder sprzężonych) na szczytach strzępek tworzących zarodnie – worki	po długiej dikariofazie (faza jąder sprzężonych) na szczytach strzępek tworzących zarodnie – podstawki
mejoza	zarodnia z haploidalnymi zarodnikami	po kariogamii prowadzi do powstania askospor – zarodników workowych	po kariogamii prowadzi do powstania bazidiospor – zarodników podstawkowych
faza haploidalna ($1n$)	dominuje	dominuje	krótka
faza diploidalna ($2n$)	krótka	w postaci jądra zygocycznego	w postaci jądra zygocycznego

s. 102 ► Rodzaje zarodników grzybów

Zarodniki	Opis	Kryteria podziału			
		Miejsce powstania		Podział poprzedzający powstanie	
		wewnątrz zarodni – endospory	poza zarodnię – egzospory	mitoza – mitospory	mejoza – meiospory
sporangialne	powstają w kulistych zarodniach na końcach haploidalnych strzępek	+		+	
konidialne	powstają przez odcięcie komórek na szczycie strzępek		+	+	
workowe	powstają w specjalnych zarodniach workach u workowców	+			+
podstawkowe	powstają przez odcięcie komórek na zarodniach podstawkach u podstawczaków		+		+

s. 110 ► Cykl rozwojowy rdzy żdźbłowej



Skala porostowa została opracowana na podstawie oceny rozmieszczenia na danym terenie poszczególnych gatunków porostów. Stwierdzono, że określone gatunki porostów wykazują wrażliwość na stężenie dwutlenku siarki w powietrzu wyrażone w mikrogramach na metr sześcienny powietrza ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Strefa	Typowe porosty	Typowe miejsca występowania	Przedstawiciel
I	brak porostów, tzw. pustynia porostowa	silnie skażone tereny przemysłowe	 Brak porostów.
II	najbardziej odporne porosty skorupiate	miasta i obszary przemysłowe	 Liszajec szary.
III	porosty skorupiate, nieliczne porosty listkowane	tereny zadrzewione na obrzeżach dużych miast	 Złotorost ścienny.
IV	liczne porosty listkowane	lasy w pobliżu dużych miast i obszarów przemysłowych	 Pustułka pęcherzykowata.

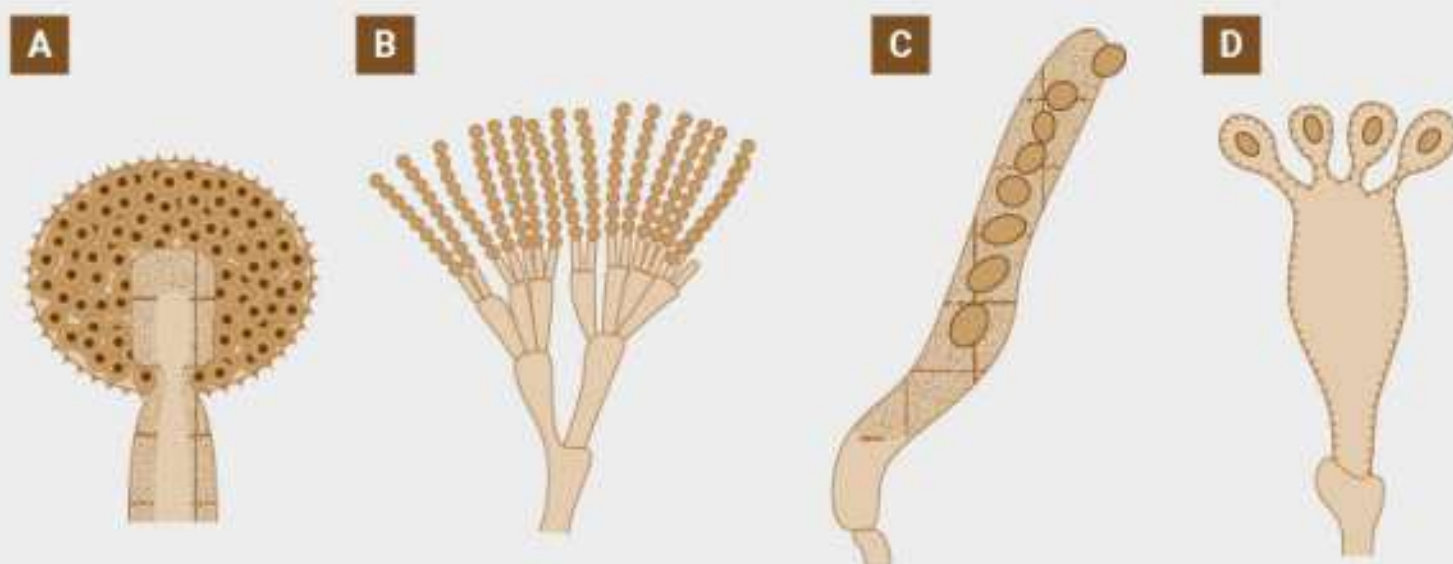
V	porosty listkowe i nieliczne krzaczko- wate	większość lasów	 Matlik otrębiasty.
VI	porosty listkowe i krzaczkowate	naturalne lasy, głównie w pół- nocno-wschod- niej Polsce	 Brodaczka zwyczajna.
VII	przewaga porostów krzaczkowatych	lasy najbardziej oddalone od miast, dróg i te- renów przemy- słowych	 Granicznik płucnik.

BLOK ĆWICZENIOWY

1. (0–2 pkt)

Grzyby rozmnażają się przez zarodniki (spory), które powstają w zarodniach (sporangiach).

Zarodniki mogą powstawać wewnątrz zarodni (endospory) lub są umieszczone na trzonkach i mają kontakt ze środowiskiem zewnętrznym (egzospory).

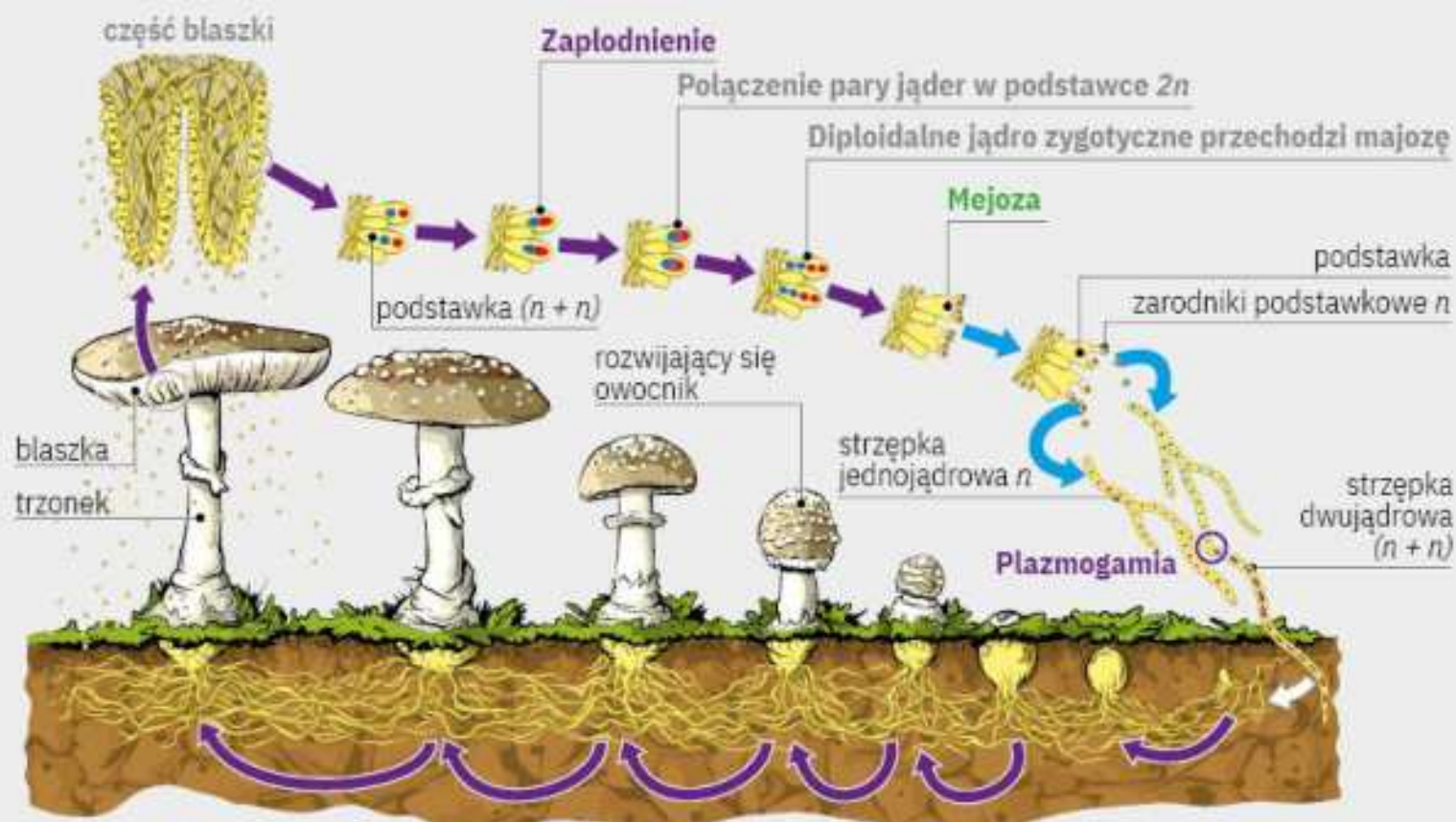


1.1. Wskaż, na którym rysunku przedstawiono endospory.

1.2. Wyjaśnij różnice między mitosporami i mejosporami.

2. (0–3 pkt)

Na rysunku pokazano cykl rozwojowy grzyba – podstawczaka.



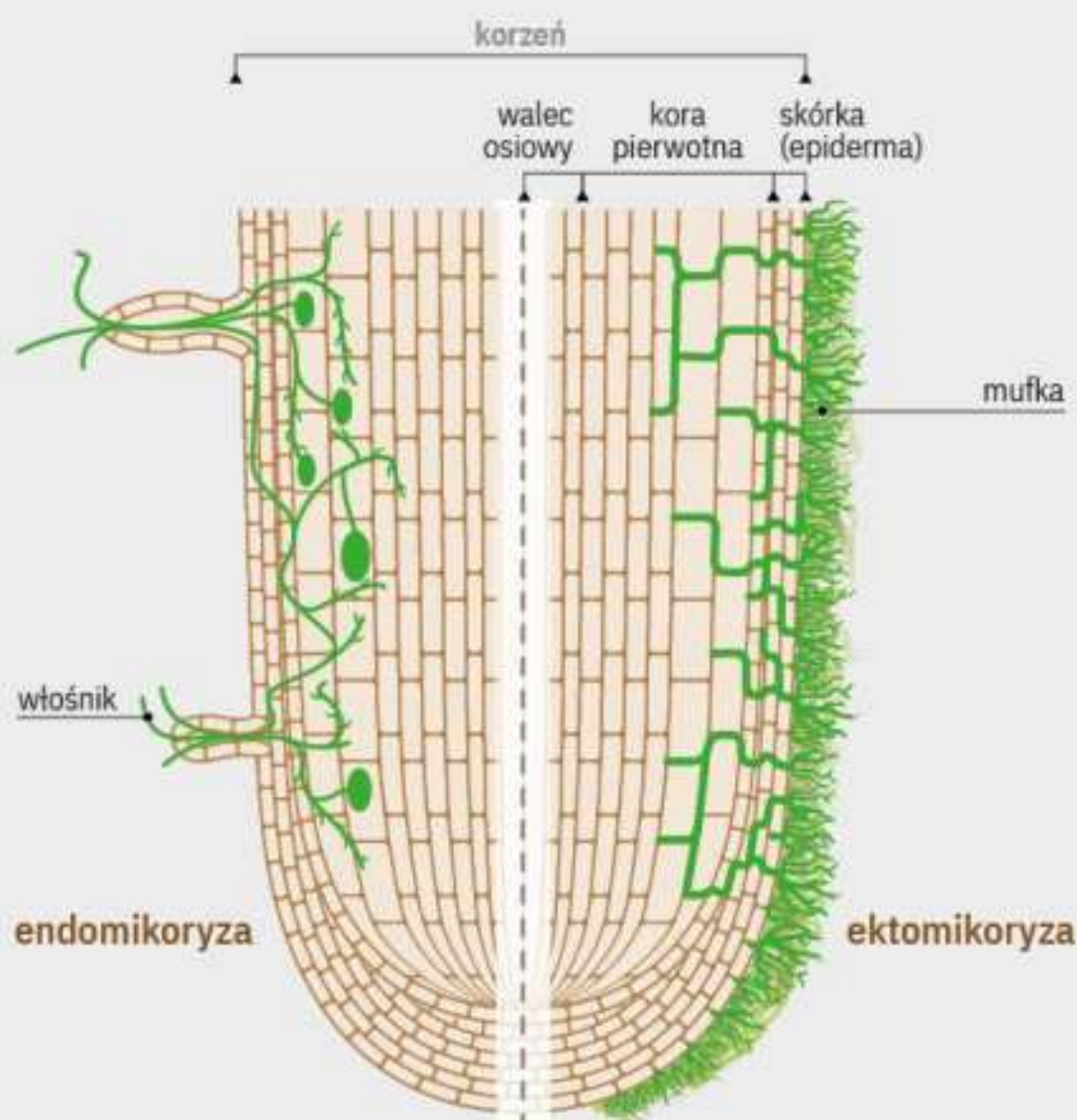
2.1. Podaj, która faza jądrowa dominuje w cyklu rozwojowym podstawczaka.

2.2. Wyjaśnij różnice między plazmogamią a kariogamią.

2.3. Wskaż, w której części owocnika podstawczaka powstają zarodniki.

3. (0–2 pkt)

Na schemacie przedstawiono mikoryzę grzybów z korzeniami roślin.



3.1. Wyjaśnij, który rodzaj mikoryzy ogranicza wzrost korzenia rośliny.

3.2. Podaj przykłady mikoryzy endotroficznej.

4. (0–2 pkt)

Porosty są często nazywane „organizmami pionierskimi” i „bioindykatorami”.

Oceń prawdziwość poniższych stwierdzeń odnoszących się do porostów. Wybierz P, jeśli zdanie jest prawdziwe, lub F, jeśli jest fałszywe. Zadanie wykonaj w zeszycie.

Stwierdzenie	P/F
1. Organizmy pionierskie zasiedlają jako pierwsze dziewicze tereny, np. skały, piaski.	...
2. W celu oceny zanieczyszczenia wody stosuje się tzw. skalę porostową.	...
3. W miarę wzrostu zanieczyszczenia zanikają porosty listkowate i krzaczkowate.	...



VI. Różnorodność roślin

- 
- ▶ 1. Rośliny pierwotnie wodne
 - ▶ 2. Przystosowania roślin do życia na lądzie
 - ▶ 3. Twórcze tkanki roślinne
 - ▶ 4. Stałe tkanki roślinne
 - ▶ 5. Mszaki – organizmy z dominującym gametofitem
 - ▶ 6. Naczyniowe rośliny zarodnikowe
 - ▶ 7. Budowa roślinnych organów wegetatywnych – korzeń
 - ▶ 8. Organy wegetatywne roślin – łodyga
 - ▶ 9. Organy wegetatywne roślin – liście
 - ▶ 10. Nagozalążkowe – rośliny nasienne z nieosłoniętym zalążkiem
 - ▶ 11. Okrytozalążkowe – rośliny nasienne z osłoniętym zalążkiem

1. Rośliny pierwotnie wodne

NA TEJ LEKCJI:

- dowiesz się, jakimi cechami charakteryzują się rośliny;
- poznasz klasyfikację roślin;
- zapoznasz się z definicją roślin pierwotnie wodnych;
- prześledzisz formy organizacji budowy roślin pierwotnie wodnych;
- uzyskasz informacje o typach rozmnażania u roślin pierwotnie wodnych;
- przeanalizujesz cechy charakterystyczne glaukocystofitów, krasnorostów i zielenic;
- zrozumiesz, jakie znaczenie mają krasnorosty i zielenice.



Rośliny są podstawą życia na Ziemi. W czasie fotosyntezy przekształcają energię słoneczną w energię chemiczną, którą w postaci związków zawartych w pożywieniu przekazują zwierzętom i człowiekowi. Roślinna fotosynteza jest źródłem tlenu, a także „pochłaniaczem” dwutlenku węgla.

specyficzne
cechy roślin jako
eukariotów

► Rośliny to **organizmy eukariotyczne** odróżniające się od innych przedstawicieli tej grupy swoistymi cechami, do których należą:

- **autotroficznie odżywianie** – wszystkie substancje pokarmowe uzyskują ze źródeł nieorganicznych w procesie fotosyntezy;
- obecność **ściany komórkowej** zbudowanej z **celulozy**, która znajduje się na zewnątrz błony komórkowej;
- obecność **chloroplastów** otoczonych podwójną błoną białkowo-lipidową;
- **skrobia** jako materiał zapasowy;
- obecność wakuoli warunkującej odpowiednie uwodnienie komórki;
- występowanie **przemiany pokoleń** w cyklu życiowym.

przedstawiciele
królestwa roślin

► W klasyfikacji hierarchicznej wyróżniamy **królestwo roślin (*Plantae*)** obejmujące organizmy lądowe, do których zaliczamy mszaki, rośliny zarodnikowe oraz rośliny nasienne. Wraz z królestwem zwierząt oraz grzybów rośliny należą do domeny *Eukarya*. Współczesna nauka w badaniu złożonego pochodzenia organizmów eukariotycznych bazuje głównie na danych molekularnych oraz analizie ultrastrukturalnej. Na podstawie tych badań wykazano, że rośliny lądowe są bardzo blisko spokrewnione z glaukocystofitami, zielenicami oraz krasnorostami i wszystkie te organizmy zaliczono do jednego królestwa. Przez niektórych systematyków te trzy grupy organizmów są klasyfikowane jako protisty roślinopodobne. Jednak w przeciwieństwie do nich komórki glaukocystofitów, krasnorostów i zielenic mają chloroplasty

otoczone podwójną błoną, co wskazuje na ich endosymbiotyczne pochodzenie (od fotosyntetyzującej sinicy). Dla podkreślenia pokrewieństwa ewolucyjnego z roślinami lądowymi, glaukocystofity, zielenice i krasnorosty określa się mianem **roślin pierwotnie wodnych**. Organizmy te często nazywa się także glonami. Należy podkreślić, że glony (algi) to sztuczne określenie ekologicznej grupy organizmów beztkankowych. Do glonów zaliczamy organizmy z wielu niespokrewnionych ze sobą linii ewolucyjnych.

rośliny pierwotnie wodne

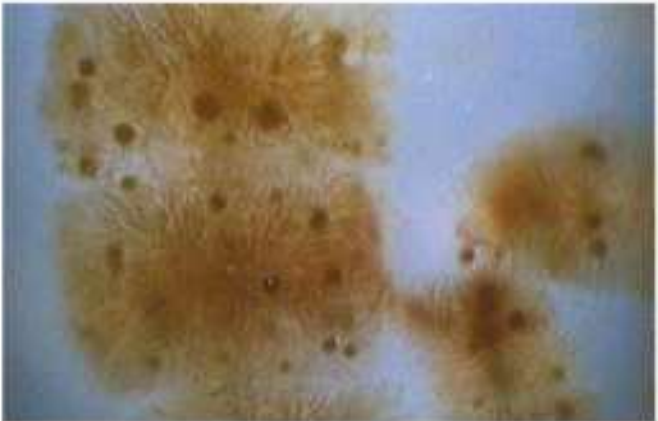
Formy organizacji budowy roślin pierwotnie wodnych

formy budowy roślin pierwotnie wodnych

Organizmy pierwotnie wodne stanowią silnie zróżnicowaną grupę pod względem anatomicznym i morfologicznym. Występują tu zarówno formy jednokomórkowe, jak i wielokomórkowe. W **tabeli VI.1.1.** przedstawiono rodzaje form budowy organizmów, które spotykamy w obrębie glaukocystofitów, krasnorostów i zielenic.

Tab. VI.1.1. Formy organizacji budowy roślin pierwotnie wodnych

Forma organizacji budowy	Opis	Przykład
Formy monadalne (ruchliwe, z wiciami)	Zwykle nie posiadają ściany komórkowej, tylko wzmocnioną błonę komórkową i dodatkowe ostonki. Wici (lub wici) zapewnia zdolność aktywnego ruchu. Uwaga: u krasnorostów brak form monadalnych.	 <i>Cynophora paradoxa</i> (czyt. cynofora paradoxka) – glaukofit.
Formy kokalne (nieruchliwe)	Stały kształt komórki (np. kuliste, gwiazdkowate, wydłużone); typowo wykształcona ściana komórkowa; pozbawione możliwości ruchu.	 <i>Cyanidium caldarium</i> (czyt. cjanidium kaldarium) – krasnorost.
Formy kolonijne	Zespół komórek połączonych ze sobą za pomocą śluzu lub plazmodezm. Kolonia to najprostsza forma organizmu wielokomórkowego. Kształt kolonii może być regularny lub nieregularny.	 <i>Volvox</i> sp. – zielenica

Forma organizacji budowy	Opis	Przykład
Formy nitkowate	Typ kolonii, w której komórki po podziale w jednej płaszczyźnie pozostają ze sobą związane. Nić może być nierozgałęziona lub rozgałęziona.	 <i>Klebsormidium flaccidum</i> (czyt. flakidum) – ramienicowe.
Formy plechowe	Organizmy o znacznych rozmiarach, zbudowane z wielokomórkowych, rozgałęzionych nici ciasno ze sobą splecionych. Wyróżniamy: • plechy plektenchymatyczne, które mają dobrze widoczne, pojedyncze nici; • plechy pseudoparenchymatyczne, których struktura przypomina tkankę i nie można wyodrębnić w niej pojedynczych nici.	 Żabroś – krasnorost.  Hildenbrandia ruczna – krasnorost.

rozmnażanie
roślin pierwotnie
wodnych

► Typy rozmnażania u roślin pierwotnie wodnych

Glaukocystofity, krasnorosty i zielenice rozmnażają się zarówno w sposób bezpłciowy, jak i płciowy (**ryc. VI.1.1.**). Rozmnażanie bezpłciowe zachodzi na drodze podziałów mitotycznych (częste u form kolonijnych i nitkowatych), przez zarodniki lub fragmentację plechy. Rozmnażanie płciowe przebiega na zasadzie izogamii, anizogamii lub oogamii (**ryc. VI.1.1.**). U zielenic dodatkowo zachodzi gametangiogamia (koniugacja), w czasie której komórki wegetatywne przekształcają się w gametangia (gamety), tworzące po kopulacji zygotę (**ryc. VI.1.1.**). U niektórych gatunków krasnorostów i zielenic zachodzi przemiana pokoleń.



Przegląd roślin pierwotnie wodnych

Glaukocystofity

Do glaukocystofitów (glaukofitów) zaliczamy głównie organizmy jednokomórkowe, zarówno ruchliwe (z dwiema wiciami), jak i pozbawione możliwości poruszania się. Ściana komórkowa glaukocystofitów jest zbudowana z celulozy, a materiał zapasowy stanowi skrobia. Fotosynteza przebiega w organellach podobnych do chloroplastów nazwanych **cyjanellami**. Budowa tych struktur oraz obecność chlorofilu *a* sugeruje ich endosymbiotyczne pochodzenie. Glaukofity występują głównie w wodach słodkich, gdzie stanowią składnik planktonu. Do tej grupy roślin zaliczamy 13 gatunków. Glaukofity uważa się za najstarszą linię rozwojową roślin.



Ryc. VI.1.2. Do glaukofitów należą organizmy z rodzaju *Glaukocystis* (czyt. glaukocystis).

Krasnorosty

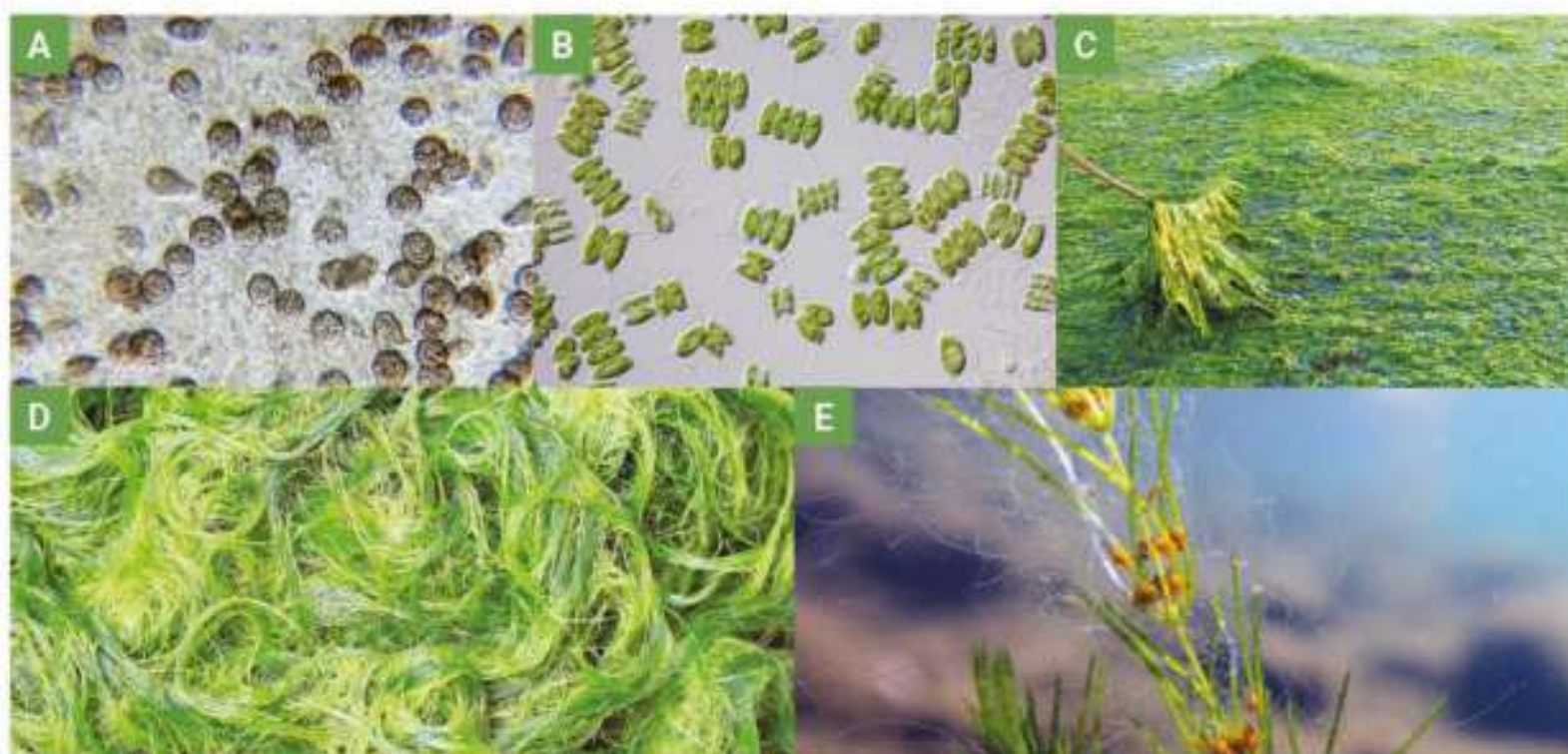
Krasnorosty (*Rhodophyta*, czyt. rodofyta) to w przeważającej części organizmy wielokomórkowe (najczęściej nitkowate oraz plechowe pseudoparenchymatyczne), przytwierdzone do podłoża za pomocą **ryzoidum**. W ich ścianie komórkowej znajdują się kwasy alginowe oraz celuloza. Chloroplasty są otoczone podwójną błoną i zawierają chlorofil *a* oraz inne barwniki. Materiał zapasowy stanowią ziarna poliglikanu gromadzonego w cytoplazmie. Rozmnażanie krasnorostów to skomplikowany proces obejmujący stadia płciowe oraz bezpłciowe. Obecnie znamy ponad 5000 gatunków krasnorostów. Występują one głównie w oceanach, ale także w wodach słodkich, w glebie i na skałach (ryc. VI.1.3.). W wodach można je spotkać na nieco większych głębokościach niż zielenice ze względu na obecność w ich komórkach **fikoerytryny** – czerwonego barwnika pochłaniającego światło niebieskie (ten barwnik odpowiada także za czerwoną barwę krasnorostów). W Polsce krasnorosty występują głównie w czystych potokach górskich i w Bałtyku. Niestety, postępujące zanieczyszczenie wód (eutrofizacja) prowadzi do zaniku tych organizmów.



Ryc. VI.1.3. Przedstawiciele krasnorostów: (A) *Cyanidium caldarium* rośnie na skałach w gorących źródłach przy pH ~ 1, (B) *Bangia fuscopurpurea* (czyt. bangia fuskopurea) występuje na korze drzew i na skałach, (C) *Furcellaria lumbricalis* (czyt. furcelaria lumbrikalis), czyli widlik zaostrozony, występuje w wodach Bałtyku.

zielenice ► **Zielenice**

Zielenice (*Chlorophyta*), wśród których opisano ponad 9000 gatunków, są grupą bardzo zróżnicowaną. Zaliczamy do nich organizmy monadalne, kokalne, nitkowate i plechowe (**ryc. VI.1.4.**). U niektórych zielenic w ścianie komórkowej występuje celuloza, u innych nie. Chloroplasty są otoczone podwójną błoną, a ich tylakoidy zawierają typowe barwniki roślinne: chlorofile *a* i *b* oraz karotenoidy. Obecna jest wakuola tętniąca. Materiałem zapasowym jest skrobia. Zielenice rozmnażają się zarówno płciowo, jak i bezpłciowo. Organizmy te zasiedlają różne środowiska: wody słodkie i słone, glebę, kamienie czy korę drzew. Dość powszechnie występują w Morzu Bałtyckim, a ich najsilniejszy rozwój obserwuje się w miesiącach letnich. Podobnie jak w przypadku krasnorostów niektóre gatunki zielenic są zagrożone wyginięciem, np. obfite stanowiska ramienicy bałtyckiej (*Chara baltica*, czyt. chara baltika), która tworzyła miejscami „podwodne łąki” w Zatoce Puckiej, prawie doszczętnie zniknęły. Do najbardziej znanych przedstawicieli zielenic należą: toczek (*Volvox* sp.), sałata morska (*Ulva lactuca*), zawłotnia (*Chlamydomonas* sp.) czy gałęzatka (*Cladophora* sp.) (**ryc. VI.1.4.**).



Ryc. VI.1.4. Zróżnicowanie morfologiczne przedstawicieli zielenic: (A) zawłotnia (*Chlamydomonas* sp.), (B) *Scenedesmus* sp., (C) ulwa sałatowa (*Scenedesmus* sp.), (D) gałęzatka (*Cladophora* sp.), (E) ramienica (*Chara* sp.).

Znaczenie krasnorostów i zielenic w przyrodzie i dla człowieka

znaczenie
krasnorostów
i zielenic

Krasnorosty i zielenice odgrywają bardzo ważną rolę w funkcjonowaniu środowiska przyrodniczego. Są także szeroko wykorzystywane przez człowieka. Oto najważniejsze ich funkcje:

- jako składnik fitoplanktonu stanowią pokarm dla zooplanktonu oraz wielu ryb;
- są źródłem tlenu, który powstaje w czasie przeprowadzanej przez nie fotosyntezy;
- odgrywają istotną rolę w obiegu węgla na Ziemi;
- w krajach azjatyckich krasnorosty są ważnym źródłem pożywienia – zawierają wartościowe białko, witaminy, nienasycone kwasy tłuszczowe, antyoksydanty i sole mineralne (**ryc. VI.1.5.**);



Ryc. VI.1.5. Wysuszone i sprasowane płyty krasnorostu z rodzaju *Porphyra* (A, B), zwane *nori*, są wykorzystywane do przyrządzania m.in. sushi (C).

- zielenice i krasnorosty są źródłem aktywnych biologicznie substancji wykorzystywanych w farmacji (m.in. związków przeciwwirusowych, przeciwbakteryjnych i przeciwnowotworowych), kosmetyce (m.in. do produkcji kremów, szamponów, maseczek) oraz medycynie (np. granulat z krasnorostu *Corallina officinalis* (czyt. korlina oficinalis) jest wykorzystywany do uzupełniania ubytków kostnych) (**ryc. VI.1.6.A**);
- są źródłem unikatowych substancji, niewystępujących u innych organizmów, m.in. agaru i karagenu, które są szeroko wykorzystywane w przemyśle i w nauce (**ryc. VI.1.6.B**);



Ryc. VI.1.6. (A) *Corallina officinalis* jest wykorzystywana jako składnik kosmetyków (*red algae extract*, czyt. red alge ekstrakt), a w postaci proszku – do uzupełniania ubytków w kościach; (B) chrząstnica kędzierzawa (*Chondrus crispus*, czyt. chondrus krispus), zwana mchem irlandzkim, jest źródłem karagenu, który ma zastosowanie m.in. w przemyśle spożywczym (np. do produkcji lodów i kremów) oraz kosmetycznym.

- wśród krasnorostów występują gatunki rafotwórcze, które wraz z koralowcami budują atole na Pacyfiku;
- zielenice wchodzą w układy symbiotyczne – żyją w komórkach bezkręgowców, a z grzybami tworzą **porosty**;



Ryc. VI.1.7. *Cladophora glomerata* stanowi miejsce do życia innych organizmów.

- wiele gatunków zielenic jest gatunkami pionierskimi na skałach, w miejscach ocienionych (np. w jaskiniach);
- stanowią siedlisko życia dla innych organizmów, np. zielenica *Cladophora glomerata* (czyt. kladofora glomerata), osiągająca długość do 2,5 m stanowi środowisko życia zarówno dla roślin, jak i dla zwierząt (**ryc. VI.1.7.**);
- gatunki krasnorostów i zielenic są wykorzystywane do oceny jakości wód rzecznych (w tzw. Makrofitowym Indeksie Rzecznym);
- są wykorzystywane w nauce jako organizmy modelowe, np. zawłotnia, *Scenedesmus* (czyt. scenedesmus), *Acetabularia* (czyt. acetabularia).

Obserwacja

Obserwacja mikroskopowa preparatu trwałego zielenic z rodzaju zawłotnia (*Chlamydomonas* sp.)

Materiał: preparat trwały zielenic z rodzaju zawłotnia

Przeprowadzenie obserwacji: Obserwuj komórki zawłotni, określ kształt komórki i chloroplastu.

Wykonanie rysunku: Wykonaj w zeszycie schematyczny rysunek oglądanego preparatu i opisz go.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wymień cechy charakterystyczne roślin.
2. Przerysuj tabelę do zeszytu i ją uzupełnij.

Grupa	Organelle, w których zachodzi fotosynteza	Materiał zapasowy	Budowa ściany komórkowej	Występowanie
galukocystofity	...	...	...	...
krasnorosty	...	...	...	...
zielenice	...	...	...	...

- Wyjaśnij, dlaczego glaukocystofity, zielenice i krasnorosty nazywamy roślinami pierwotnie wodnymi.
- Jakie formy organizacji budowy reprezentują gatunki przedstawione na poniższych rysunkach?



- Wybierz spośród poniższych sposobów rozmnażania te, które są zaliczane do rozmnażania bezpłciowego.
izogamia, fragmentacja plechy, zarodniki, oogamia, koniugacja, podział mitotyczny
- Wyjaśnij, jakie znaczenie mają krasnorosty i zielenice dla człowieka. Podaj cztery przykłady wykorzystania tych organizmów przez ludzi. Zadanie wykonaj w zeszycie.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- Rośliny **od innych eukariotów odróżnia** autotrofizm, obecność ściany komórkowej, wakuoli i chloroplastów, materiał zapasowy w postaci skrobi oraz występowanie regularnej przemiany pokoleń. s. 126
- Do królestwa roślin zaliczamy** mszaki, paprotniki i rośliny nasienne. s. 126
- Rośliny lądowe są blisko spokrewnione z **galukocystofitami**, zielenicami i krasnorostami, czyli roślinami pierwotnie wodnymi. s. 127
- Wśród **form organizacji budowy roślin pierwotnie wodnych** wyróżniamy formy: monadalne (z wiciami), kokalne (nieruchliwe), kolonijne, nitkowate oraz plechowe (plektenchymatyczne i pseudoparenchymatyczne). s. 127
- Rośliny wodne rozmnażają się bezpłciowo** (podział, zarodniki lub fragmentacja plechy) lub **płciowo** (izogamia, anizogamia, oogamia, koniugacja). s. 128
- U jednokomórkowych **glaukocystofitów** występuje celulozowa ściana komórkowa, skrobia jako materiał zapasowy, a fotosynteza przebiega w cyjanellach – organellach podobnych do chloroplastów. s. 129
- Wielokomórkowe krasnorosty** mają celulozową ścianę komórkową i zawierające chlorofil chloroplasty. s. 129
- Wśród **zielenic** wyróżniamy formy monadalne, kokalne, nitkowate i plechowate; chloroplasty otoczone są podwójną błoną i zawierają typowe dla roślin barwniki: chlorofil *a* i *b* oraz karotenoidy. s. 130
- Krasnorosty i zielenice mają **duże znaczenie dla środowiska** (np. stanowią źródło tlenu, uczestniczą w obiegu węgla) i dla człowieka (np. są źródłem pożywienia czy substancji aktywnych biologicznie). s. 131

2. Przystosowania roślin do życia na lądzie

NA TEJ LEKCJI:

- zapoznasz się z czynnikami, którymi różnią się środowiska wodne i lądowe;
- dowiesz się, czym charakteryzują się rynniofity i inni przodkowie roślin lądowych;
- poznasz rodzaje przemiany pokoleń u roślin lądowych;
- uzyskasz informacje na temat roślin telomowych oraz teorii wyjaśniającej ich powstanie;
- prześledzisz podział roślin telomowych.

adaptacje roślin
różnice między
środowiskiem
wodnym i lądowym

Kolonizacja środowisk lądowych przez rośliny wynikała prawdopodobnie z konkurencji o substancje mineralne i dostęp do światła spowodowany dużym zagęszczeniem organizmów. **Wyjście roślin na ląd** było przełomem w historii życia na Ziemi, który wymusił na nich wykształcenie **szeregu adaptacji** do funkcjonowania w tym niekorzystnym środowisku. Warunki życia na lądzie znacznie odbiegają od tych panujących w wodzie, a do **najważniejszych parametrów różniących te dwa środowiska** należą:

- **wilgotność** – w środowisku wodnym jest stała i wynosi 100%, natomiast środowisko lądowe cechuje znaczna zmienność tego parametru. Aby zapobiec utracie wody i ograniczyć parowanie, rośliny wykształciły **tkankę okrywającą**, dzięki czemu uzyskały wytrzymałość na przesuszenie. Szczelna pokrywa ciała uniemożliwiłaby pobieranie dwutlenku węgla z atmosfery, dlatego w tkance okrywającej doszło do wytworzenia **aparatów szparkowych**;
- **dostęp do wody** – życie w środowisku lądowym wiąże się z ograniczonym dostępem do wody, której jedynym źródłem najczęściej jest gleba. Aby wydajnie pobierać i transportować wodę oraz substancje mineralne, rośliny wykształciły rozbudowany **system korzeniowy** oraz tkanki przewodzące. Rośliny wodne pobierają wodę i substancje mineralne całą powierzchnią ciała;
- **gęstość ośrodków** – gęstość wody jest znacznie większa niż gęstość roślin, co sprawia, że rośliny mogą bez problemu utrzymywać się w wodzie w pozycji pionowej. Odwrotna sytuacja ma miejsce na lądzie – rośliny, aby utrzymać się w pionie, potrzebują **tkanek wzmacniających**, które zapewniają im wytrzymałość i odporność na złamanie. Ta cecha umożliwia także lepszy dostęp do światła (np. wysokie drzewa);
- **dostępność światła** – w warunkach lądowych dostęp do światła jest znacznie lepszy niż w wodzie. Dodatkową adaptacją roślin lądowych są **liście**, których płaska i cienka blaszka odpowiada za wydajną absorpcję promieniowania słonecznego;

- **wahania temperatury** – w wodzie panuje mniej więcej stała temperatura, a na lądzie zmiany tego czynnika są znaczne (nawet dobowe). Rośliny wykształciły szereg mechanizmów (patrz rozdział dotyczący fizjologii roślin), które pozwalały im na funkcjonowanie w szerokim zakresie temperatur.

Najstarsze rośliny lądowe

Według jednej z najnowszych hipotez rośliny lądowe wywodzą się z **grupy ramienicowych** (*Charophyceae*, czyt. charofycee) **należących do zielenic**. Z badań kopalnych wynika, że pierwsze prymitywne rośliny pojawiły się na lądzie ok. 480–460 milionów lat temu w epoce środkowego ordowiku. Najstarsze szczątki beztkankowych roślin przypominających dzisiejsze mszaki zostały znalezione niedawno w Górach Świętokrzyskich. Natomiast skamieniałości lądowych roślin tkankowych, pochodzące sprzed 430 milionów lat, należą do rodzaju *Cooksonia* (czyt. kooksonia) reprezentującego wymarłą gromadę **ryniofitów** (ryc. VI.2.1.). Z analizy materiałów kopalnych, znalezionych w 1934 r. w Wielkiej Brytanii, wynika, że ta ok. pięciocentymetrowa roślina wytwarzała długie, podziemne kłącze, z którego wyrastały widlasto rozgałęzione łodyżki. Każde rozgałęzienie stanowiło morfologiczną jednostkę zwaną **telomem**. Do ryniofitów należała także dość dobrze poznana **rynia** (*Rhynia gwynne-vaughanii*, czyt. rynia gwynne wauganii). Sporofit rynii był dychotomicznie rozgałęziony, pozbawiony liści, ale miał aparaty szparkowe oraz zawierał chlorofil. Na końcach rozgałęzień znajdowały się wydłużone zarodnie z zarodnikami. W obrębie pędu przebiegała prymitywna wiązka przewodząca z centralnie położonym pasmem drewna (ryc. VI.2.1.). Rynia wytwarzała podziemne kłącza z jednokomórkowymi chwytnikami. Gametofit rynii miał formę małych, kilkumilimetrowych skupisk łodyżek. Rynie były roślinami dwupiennymi – gametangia męskie i żeńskie znajdowały się na różnych łodyżkach.

zielenice –
przodkowie roślin
lądowych

ryniofity

telom



Ryc. VI.2.1. *Cooksonia* sp. (A) i *Rhynia gwynne-vaughanii* (B) – kopalni przedstawiciele ryniofitów – przodków roślin.

U ryniofitów przemiana pokoleń miała charakter **izomorficzny**, co oznacza, że zarówno gametofit, jak i sporofit były tych samych rozmiarów. Ewolucja ryniofitów

izomorficzna
przemiana pokoleń

zosterofilofity
i trymerofity

przebiegała w dwóch kierunkach i polegała na redukcji jednego pokolenia (sporofitu lub gametofitu), co prowadziło do powstania u ich potomków przemiany **heteromorficznej** (z dominacją jednego pokolenia). Jedna linia ewolucyjna ryniofitów prowadzi do mszaków, czyli roślin o zredukowanym sporoficie, a rozwiniętym gametoficie. Druga linia dała początek roślinom zarodnikowym i roślinom nasennym, u których dominującą formą jest sporofit. Zanim pojawiły się rośliny zarodnikowe i nasienne, z ryniofitów wyodrębniły się **zosterofilofity** (*Zosterophyllophytina*) oraz **trymerofity** (*Trimerophytophyta*). Zosterofilofity, których przedstawicielem



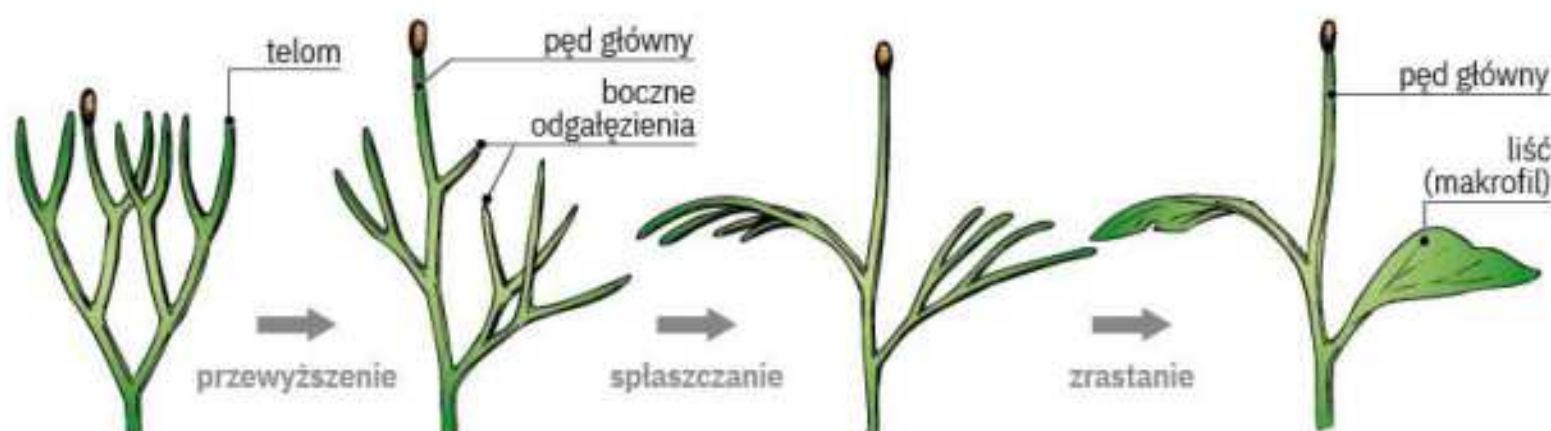
Ryc. VI.2.2. *Sawdonia ornata* należała do zosterofilofitów.

jest wymarły gatunek *Sawdonia ornata* (ryc. VI.2.2.), cechowały się kłosokształtnymi zarodnikami na końcach telomów. Pędy tych roślin były rozgałęzione i pokryte charakterystycznymi wyrostkami. Przypuszcza się, że zosterofilofity dały początek widłakowym. U trymerofitów (np. *Petrica* sp.) doszło do wykształcenia głównej osi i odchodzących od niej mniejszych rozgałęzień. Najprawdopodobniej od trymerofitów wywodzą się skrzypowe, paprociowe, psylotowe i pranagozależkowe.

Wilgotny i ciepły klimat epoki dewońskiej i karbońskiej sprzyjał rozwojowi roślin zarodnikowych (m.in. paproci). Z wielu grup roślin, które w tamtym czasie przeważały, prawie wszystkie wyginęły. Z pranagozależkowych wyodrębniły się dwie linie ewolucyjne, nagozależkowych drobnolistnych i wielkolistnych (dzisiaj sagowce i gniotowce). Do nagozależkowych drobnolistnych należą współcześnie żyjące iglaste. W toku ewolucji z nagonasiennych powstały okrytonasienne, które obecnie dominują w środowisku lądowym.

teoria telomowa ▶ Teoria telomowa

rośliny telomowe ▶ Współczesne rośliny lądowe nazywamy **roślinami telomowymi** lub **osiowymi**. **Telom** jest jednostką morfologiczną wprowadzoną do biologii w 1930 r. i stanowi jednoosiowe odgałęzienie sporofitu najwyższego rzędu mające pojedynczą wiązkę przewodzącą. Teoria telomowa opisuje mechanizm przekształcenia pierwotnie dychotomicznego układu telomów w układ osiowy (z łodygą główną, łodygami bocznymi i liśćmi) (ryc. VI.2.3.). Według tej teorii z telomów ryniofitów powstały wszystkie organy sporofitu roślin wyższych. Najszybciej rosnący telom przejął



Ryc. VI.2.3. Teoria telomowa wyjaśnia przekształcenie się dychotomicznego układu telomów w układ osiowy.

funkcję pędu głównego (todygi głównej), a pozostałe przekształciły się w pędy boczne. W wyniku spłaszczania i zrastania pędów bocznych doszło do wytworzenia liści, których duża powierzchnia zapewniła maksymalne wykorzystanie światła słonecznego.

Rośliny telomowe (poza mszakami) określa się mianem **roślin naczyniowych**. Nazwa ta wskazuje na występowanie u nich tkanki przewodzącej wodę, czyli naczyń. W starszej literaturze spotykamy też nazwę **organowce**, która podkreśla obecność w pełni wykształconych organów. Biorąc pod uwagę sposób rozmnażania się roślin lądowych, **podzielono je na:**

- **rośliny zarodnikowe** – rozmnażające się za pomocą zarodników: mszaki, widłakowe, skrzypowe, paprociowe; ◀ podział roślin lądowych
- **rośliny nasienne** – wytwarzające nasiona: nagozalążkowe drobno- i wielkolistne, okrytozalążkowe.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Porównaj warunki życia na lądzie i w wodzie.
2. Scharakteryzuj budowę rynniofitów na przykładzie rynnii.
3. Narysuj w zeszycie schemat przedstawiający istotę izomorficznej i heteromorficznej przemiany pokoleń.
4. Wyjaśnij, co i w jaki sposób tłumaczy teoria telomowa.
5. Zapisz w zeszycie, które z podanych poniżej grup roślin należą do roślin zarodnikowych.
nagozalążkowe, mszaki, okrytozalążkowe, widłakowe, skrzypowe, paprociowe



PODSUMOWANIE LEKCJI

- Życie na lądzie spowodowało wykształcenie u **roślin szeregu adaptacji**. ◀ s. 134
- Środowiska lądowe i wodne **różnią się pod względem** wilgotności, dostępu do wody, gęstości ośrodków, dostępności światła oraz zmian temperatury. ◀ s. 134
- Rośliny lądowe **wywodzą się od zielenic** (ramienicowych). ◀ s. 135
- Najstarsze skamieniałości roślin lądowych należą do **rynniofitów** (*Cooksonia, Rhynia*). ◀ s. 135
- U rynniofitów występowała **izomorficzna przemiana pokoleń**, tzn. sporofit oraz gametofit były równocenne. Ewolucja tej gromady doprowadziła do powstania heteromorficznej przemiany pokoleń – z dominacją jednego pokolenia. ◀ s. 135
- Z rynniofitów wyodrębniły się **zosterofilofity** oraz **trymerofity**. ◀ s. 136
- Współczesne rośliny lądowe to **rośliny telomowe** (osiowe, poza mszakami). ◀ s. 136
- **Teoria telomowa** opisuje mechanizm przekształcenia rozgałęzionego układu telomów (jednoosowego, najwyższego rzędu odgałęzienia sporofitu z pojedynczą wiązką przewodzącą) w układ osiowy. ◀ s. 136
- **Rośliny dzielimy na** zarodnikowe (mszaki, widłakowe, skrzypowe, paprociowe) oraz nasienne (nagozalążkowe drobno- i wielkolistne oraz okrytozalążkowe). ◀ s. 136

3. Twórcze tkanki roślinne

NA TEJ LEKCJI:

- zapoznasz się z podziałem tkanek roślinnych;
- dowiesz się, czym charakteryzują się twórcze tkanki roślinne;
- poznasz podział, lokalizację i funkcję twórczych tkanek roślinnych.

Tkanką nazywamy zespół komórek o wspólnym pochodzeniu i podobnej budowie, które pełnią określoną funkcję. Wykształcenie tkanek pozwoliło roślinom naczyniowym opanować środowiska lądowe.

podział
tkanek
roślinnych

tkanki stałe

- Tkanki roślinne dzielimy na **twórcze** oraz **stałe** (ryc. VI.3.1.). Tkanki twórcze, czyli **merystemy**, składają się z intensywnie dzielących się komórek. Merystemy są źródłem nowych komórek, umożliwiają roślinom wzrost na długość oraz przyrost na grubość. Tkanki stałe powstają w wyniku różnicowania się tkanek twórczych i nie mają zdolności do podziałów. Tkanki stałe są przystosowane do pełnienia określonych funkcji.



Ryc. VI.3.1. Podział tkanek roślinnych.

tkanki twórcze ► Tkanki twórcze

Charakterystyczną cechą tkanek merystematycznych jest zdolność do regularnych podziałów i tworzenia nowych komórek, które różnicują się w komórki tkanek stałych. Komórki tej tkanki są małe i ściśle do siebie przylegają. Są otoczone cienką ścianą komórkową, a ich wnętrze wypełnia duże jądro i drobne wakuole. Ze względu na pochodzenie tkankę merystematyczną dzielimy na:

- **merystemy pierwotne**, które występują w zarodku lub pochodzą z merystemu zarodkowego; funkcjonują w roślinie w sposób ciągły, dając początek innym tkankom;
- **merystemy wtórne**, które powstają z tkanek stałych w wyniku ich odróżniania się i uzyskania zdolności do podziałów.

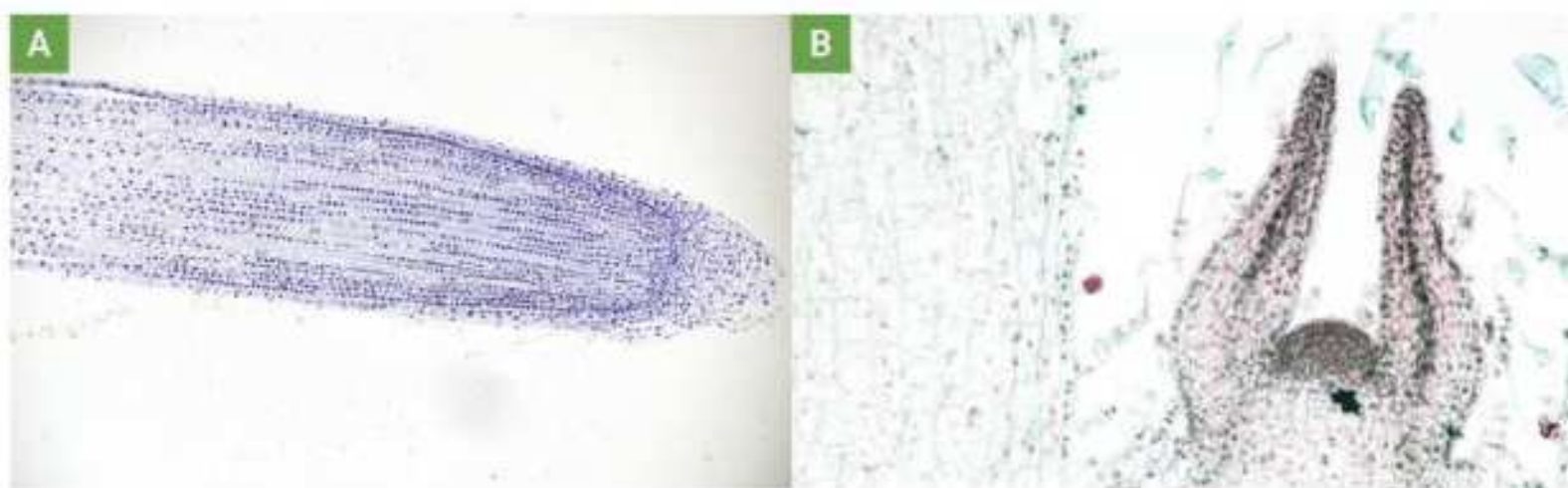
podział
merystemów

Tkanki merystematyczne pierwotne

tkanka
merystematyczna
pierwotna

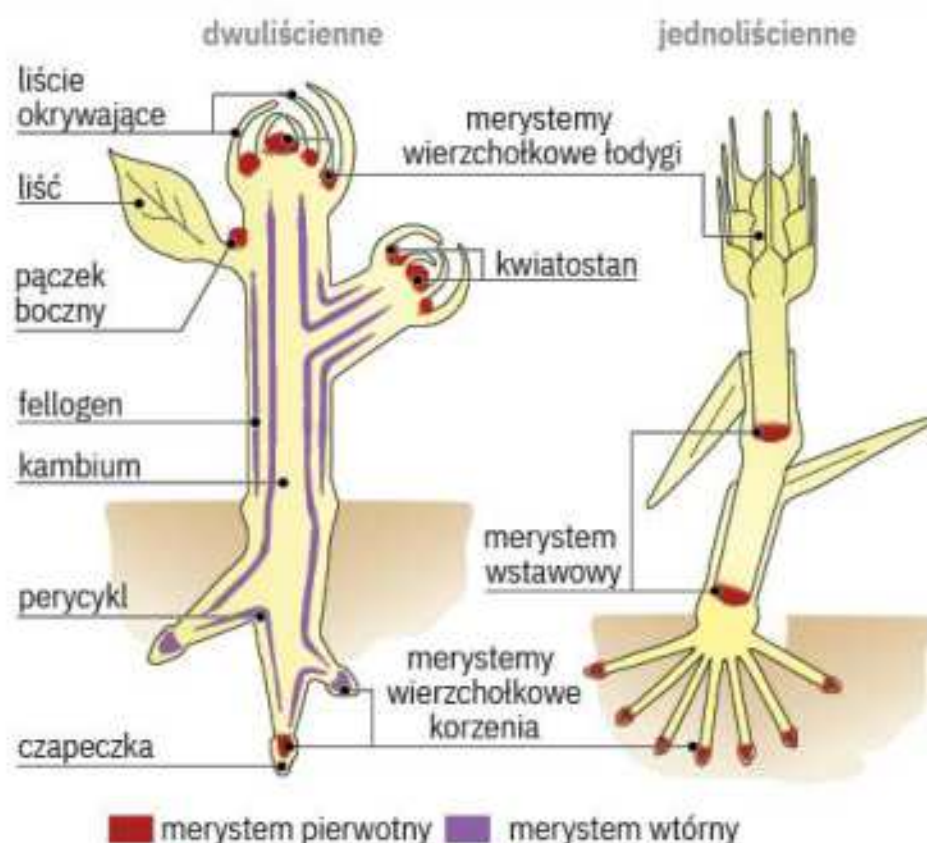
Ze względu na lokalizację oraz funkcje tkanki pierwotne podzielono na:

- **merystemy wierzchołkowe** (tzw. **stożki wzrostu**) – występują na szczycie łodyg i korzenia (ryc. VI.3.2.) i odpowiadają za wzrost rośliny na długość, czyli za wzrost elongacyjny. Stożek wzrostu korzenia jest dodatkowo chroniony przez strukturę zwaną **czapeczką**, utworzoną z warstwy komórek miękkich;



Ryc. VI.3.2. Merystemy wierzchołkowe (A) korzenia i (B) łodygi.

- **merystemy wstawowe (interkalarne)** – charakterystyczne dla roślin jednoliściennych (np. traw) i dla niektórych dwuliściennych (np. goździkowatych). Komórki tego merystemu są zlokalizowane u podstawy międzywęźli, nad nasadami liści (ryc. VI.3.3.). Merystem interkalarny umożliwia wzrost roślinom, które szybko wytwarzają kwiaty (lub kwiatostany) na zakończeniach pędów, co jest związane z zakończeniem funkcjonowania merystemu wierzchołkowego.



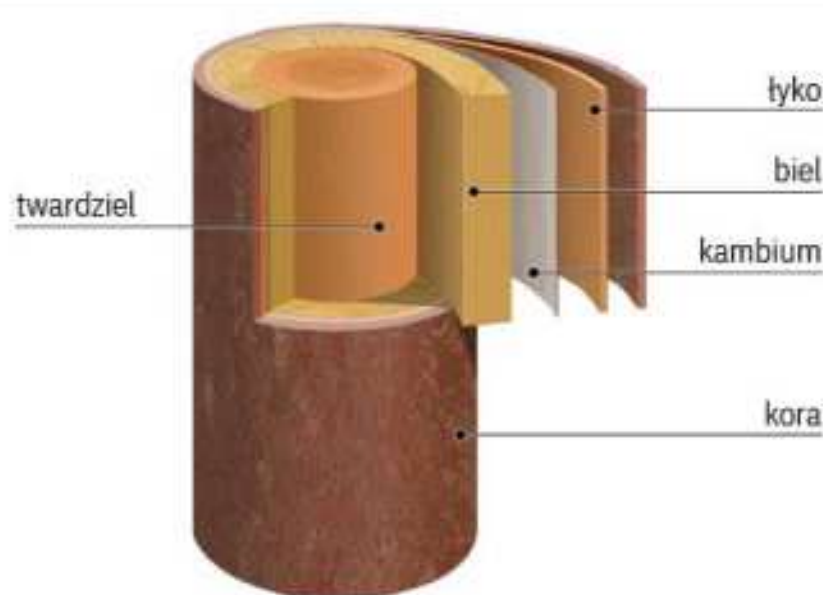
Ryc. VI.3.3. Rozmieszczenie merystemów interkalarnych w roślinie (A) dwuliściennej, (B) jednoliściennej.

► Tkanki twórcze wtórne

Tkankami twórczymi powstałymi w wyniku odróżnicowania się tkanek pierwotnych są **merystemy boczne**, do których zaliczamy: **kambium**, **fellogen**, **kalus** oraz **tkanki zarodnikotwórcze**. Kambium i fellogen warunkują przyrost rośliny na grubość (występują głównie u nagonasiennych i okrytonasiennych dwuliściennych).

kambium ► **Kambium** zwane **miazgą międzywiązkową** odpowiada za wytwarzanie nowych wiązek przewodzących. Jest zlokalizowane między warstwami łyka i drewna w postaci pasma komórek o falistym kształcie (**ryc. VI.3.4.**).

Fellogen zwany **miazgą korkotwórczą** wytwarza wtórną tkankę okrywającą (korek) oraz pasma tkanki mięsistej – **fellodermy**. Tkanka ta powstaje na skutek odróżnicowania się stałych komórek mięsisku lub łyka. Zwykle jest zlokalizowana w obwodowej części łodygi lub korzenia (**ryc. VI.3.4.**).



Ryc. VI.3.4. Rozmieszczenie kambium.

Kalus, zwany **merystemem przyrannym** lub tkanką kalusową, powstaje w miejscu zranienia rośliny. Źródłem tej tkanki są komórki mięsiste lub kambium otaczające uszkodzone miejsce. Funkcją intensywnie dzielących się komórek kalusa jest zabliznianie ran oraz regeneracja uszkodzenia. W odpowiednich warunkach kalus może ponownie zróżnicować się w pędy i korzenie. Ta zdolność jest wykorzystywana do wegetatywnego rozmnażania roślin. Hodowle *in vitro* kalusa są szeroko wykorzystywane w badaniach nad fizjologią i genetyką roślin (**ryc. VI.3.5.**).

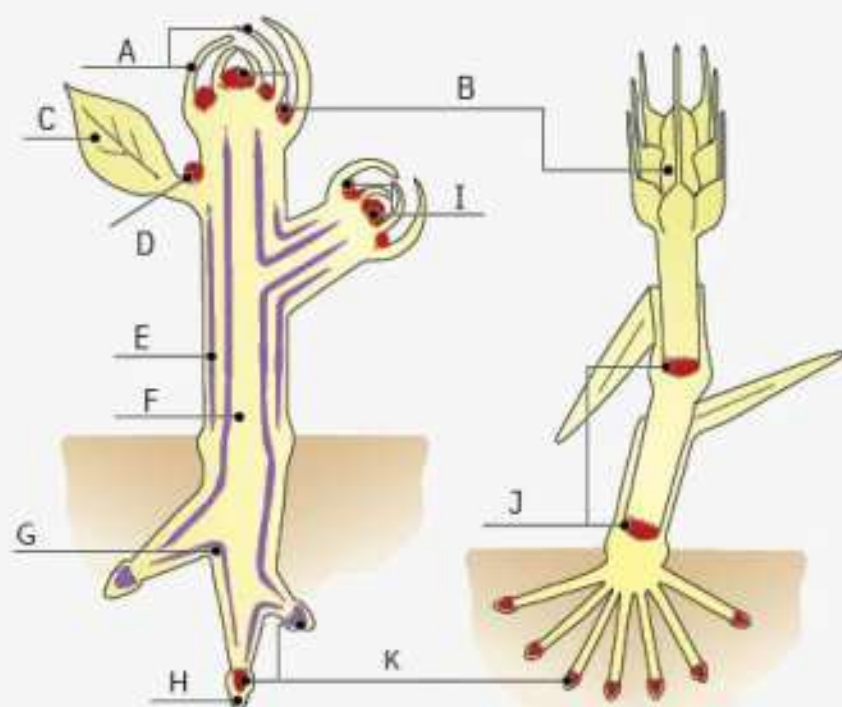


Ryc. VI.3.5. Tkanka kalusowa powstaje w miejscu zranienia rośliny (A), jest też szeroko stosowana w badaniach naukowych (B).

Tkanka zarodnikotwórcza (merystem archesporialny) występuje w zalążniach i pylnikach kwiatów. W komórkach tej tkanki zachodzą podziały mejotyczne, w efekcie których powstają haploidalne komórki rozrodcze (zarodniki).

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wytłumacz znaczenie tkanek twórczych dla organizmu roślinnego.
2. Na jakiej podstawie dzielimy tkanki twórcze na pierwotne i wtórne?
3. Określ lokalizację merystemów na poniższym schemacie.



4. Wyjaśnij, w jaki sposób powstaje kalus. W dostępnej literaturze znajdź informacje na temat wykorzystywania tkanki kalusowej w badaniach naukowych i sporządź krótką notatkę w zeszycie.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- Tkanki roślinne **dzielimy na twórcze i stałe**. ◀ s. 138
- **Tkanki twórcze**, czyli merystemy, są zbudowane z intensywnie dzielących się komórek, które dają początek wszystkim pozostałym tkankom. ◀ s. 138
- **Tkanki stałe** powstają w wyniku różnicowania się tkanek twórczych i nie mają zdolności do podziałów. ◀ s. 138
- **Tkankę merystematyczną** dzielimy na pierwotną (zarodkową) oraz wtórną (powstaje w wyniku odróżnicowania się tkanek stałych). ◀ s. 139
- W obrębie **tkanek merystematycznych pierwotnych** wyróżniamy merystemy wierzchołkowe (stożki wzrostu) oraz merystemy wstawowe. Stożki wzrostu korzenia i łodygi odpowiadają za wzrost rośliny na długość, a interkalarne występują głównie u jednoliściennych. ◀ s. 139
- Do **tkanek twórczych wtórnych** zaliczamy kambium, fellogen, kalus oraz tkankę zarodnikotwórczą. ◀ s. 140
- **Kambium** odpowiada za tworzenie nowych wiązek przewodzących. Fellogen wytwarza wtórną tkankę okrywającą. Kalus powstaje w miejscu zranienia rośliny. Tkanica zarodnikotwórcza daje początek zarodnikom. ◀ s. 140

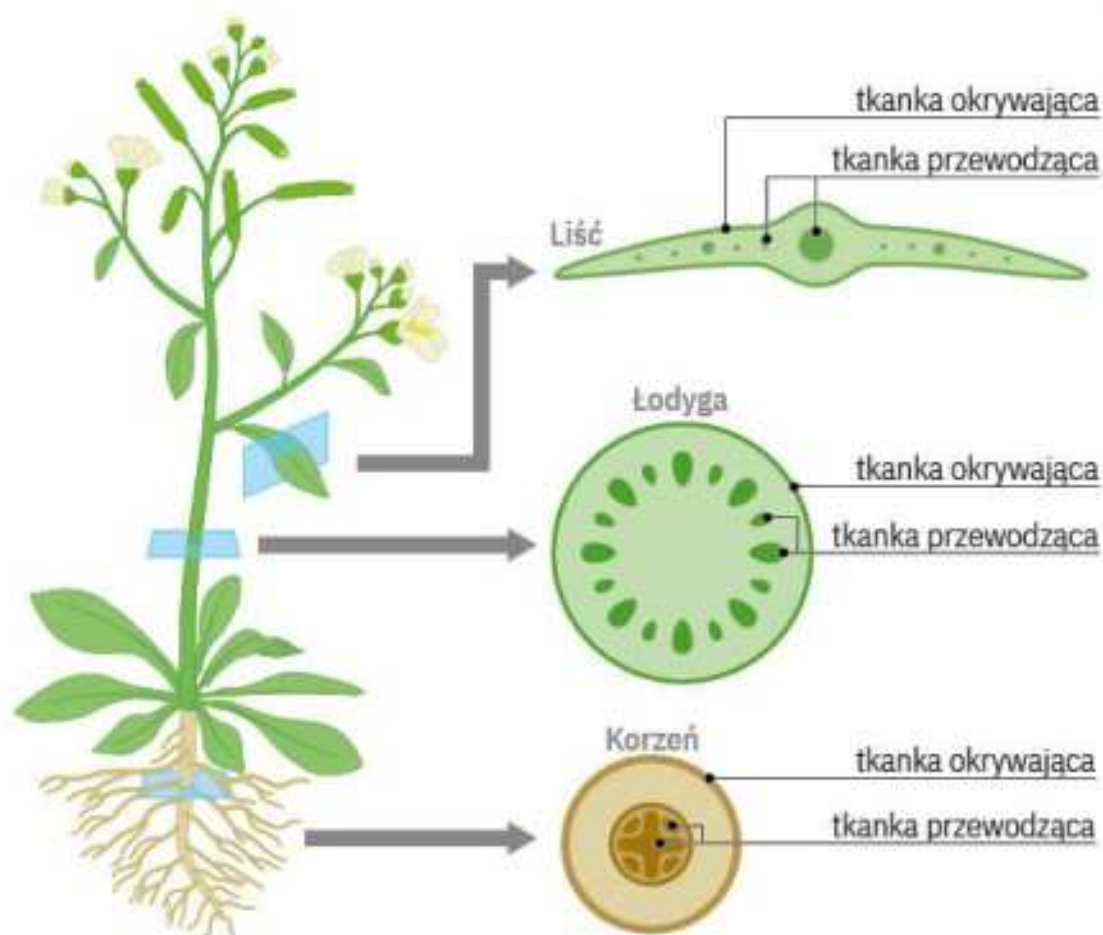
4. Stałe tkanki roślinne

NA TEJ LEKCJI:

- zapoznasz się z rodzajami tkanek stałych;
- dowiesz się, czym wyróżnia się tkanka okrywająca pierwotna i wtórna;
- poznasz budowę aparatów szparkowych;
- uzyskasz informacje o rodzajach tkanki mięsiszowej i ich funkcjach;
- przeanalizujesz budowę tkanki wzmacniającej i wydzielniczej;
- zapoznasz się ze strukturą i funkcjami tkanki przewodzącej;
- zrozumiesz, jakie znaczenie mają połączenia międzykomórkowe.

podział tkanek
stałych

► **Do tkanek stałych zaliczamy** następujące tkanki: mięsiszową, okrywającą, wzmacniającą, przewodzącą oraz wydzielniczą (ryc. VI.4.1.).



Ryc. VI.4.1. Rozmieszczenie tkanek okrywającej, przewodzącej i mięsiszowej w obrębie organów wegetatywnych (liści, łodygi, korzenia) rośliny nasiennej.

tkanka okrywająca ► **Tkanka okrywająca**

Tkanka okrywająca stanowi ochronę rośliny przed niekorzystnymi czynnikami oraz zapewnia kontakt ze środowiskiem zewnętrznym. Tkanek okrywającą dzielimy na:

- **skórkę**, czyli **pierwotną tkankę okrywającą**,
- **perydermę**, czyli **wtórną tkankę okrywającą**.

Skórkę tworzy najczęściej pojedyncza warstwa żywych, ściśle upakowanych komórek. Pokrywa ona całą powierzchnię ciała roślin zielnych, a także młode organy roślin wieloletnich (np. liście, owoce). Skórka okrywająca nadziemne części rośliny to **epiderma**, a skórę korzenia nazywamy **ryzodermą** (ryc. VI.4.2.).



Ryc. VI.4.2. Budowa epidermy (A) i ryzodermy (B).

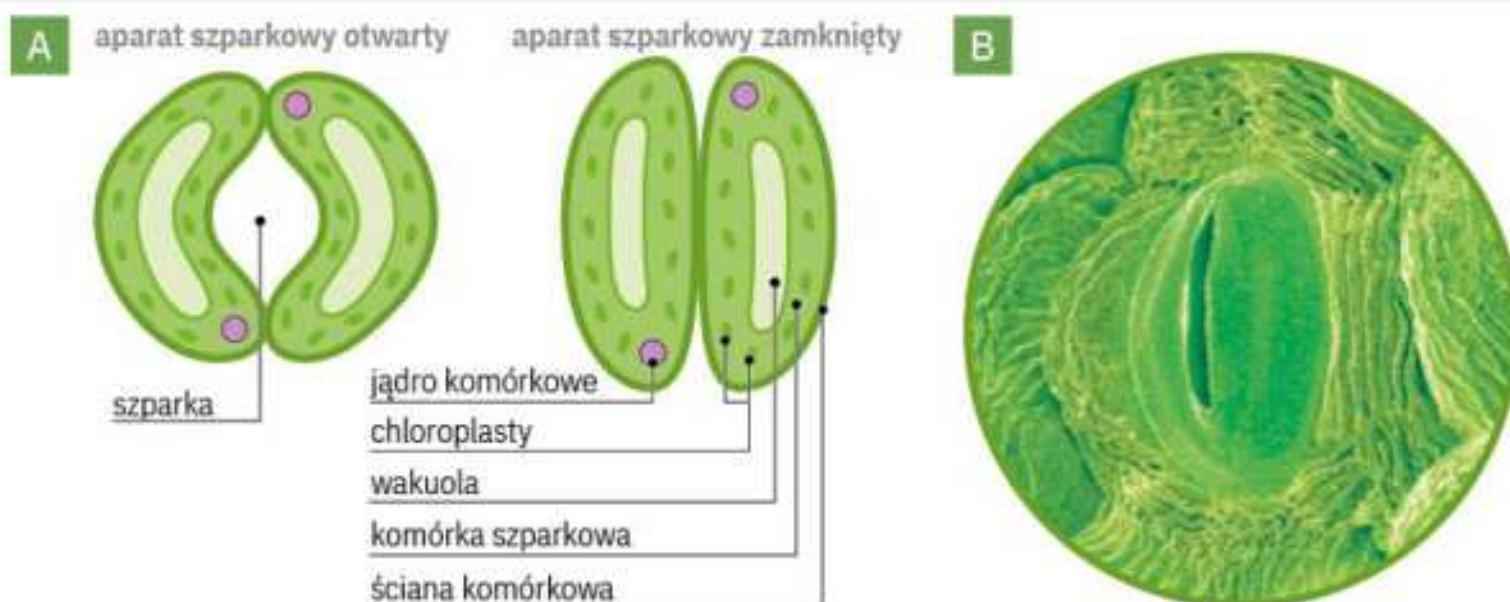
Epiderma jest zbudowana najczęściej z pojedynczej warstwy żywych, ściśle do siebie przylegających komórek. Są one pozbawione typowo wykształconych chloroplastów. Struktura epidermy wynika z pełnionych przez nią funkcji – stanowi ona barierę oddzielającą wnętrze rośliny od środowiska zewnętrznego. Komórki epidermy są otoczone zgrubiałą ścianą komórkową i wysycone tłuszczopodobną substancją – **kutyną**. Na powierzchni skórki kutyna tworzy ochronną warstwę zwaną **kutykulą**. Jest ona nieprzepuszczalna dla wody i gazów, chroni roślinę przed wnikaniem patogenów oraz przed uszkodzeniami. Dzięki obecności na skórcie kutykuli (czasami dodatkowo wzmocnionej domieszką wosku) rośliny minimalizują utratę wody związaną z transpiracją.

Wymiana gazowa u roślin zachodzi w wyspecjalizowanych strukturach skórki – **aparatach szparkowych**. Typowy aparat szparkowy jest zbudowany z dwóch **komórek szparkowych**, między którymi znajduje się otwór zwany **szparką** (ryc. VI.4.3.). Otwieranie i zamykanie aparatów szparkowych wiąże się ze zmianą turgoru

epiderma

kutyna

wymiana gazowa u roślin



Ryc. VI.4.3. Budowa aparatu szparkowego (A). Zdjęcie aparatu szparkowego ze skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM) (B).

ru (uwodnienia) komórek szparkowych. Gdy napływa do nich woda, rośnie ich turgor i szparka się otwiera, natomiast gdy turgor spada (uwodnienie komórki maleje), szparka się zamyka. U roślin lądowych aparaty szparkowe występują zwykle na spodniej stronie liści oraz na niezdrewniałych fragmentach łodyg. U roślin wodnych z liśćmi pływającymi (np. rdestnica pływająca czy kotewka orzech wodny) aparaty szparkowe znajdują się na wierzchniej powierzchni liścia.

wytwory epidermy

Epiderma może być gładka lub pokryta różnymi strukturami. Poza aparatami szparkowymi do wytworów skórki zaliczamy **kolce** i **włoski**. Szttywne i ostre kolce zapewniają roślinie ochronę przed roślinożercami. Zbudowane są ze skórki oraz leżącej u jej podstawy tkanki mięsistej. Włoski to struktury jedno- lub wielokomórkowe, najczęściej martwe, wypełnione powietrzem. Stanowią izolację przed zimnem i utratą wody. U niektórych roślin, np. szarotki alpejskiej, warstwa włosków jest wyjątkowo gęsta i nosi nazwę **kutneru**. Innymi przykładami włosków są włoski parzące, czepne, gruczołowe i kutnerowe (ryc. VI.4.4.).



ryzoderma ▶ **Ryzoderma** pokrywająca korzeń zapewnia sprawne pobieranie wody i soli mineralnych z gleby. Tworzy ją pojedyncza warstwa ściśle do siebie przylegających komórek. Na jej powierzchni nie występują aparaty szparkowe ani pozostałe wytwory, brak jest też kutykuli. W młodych częściach korzenia ryzoderma wytwarza cienkie wypustki zwane **włośnikami** (ryc. VI.4.2.). Włośniki są jednokomórkowe i znacznie zwiększają powierzchnię chłonną korzenia.

peryderma ▶ **Peryderma**

Peryderma, zwana **korkowicą**, to wtórna tkanka okrywająca zastępująca stopniowo skórę. Występuje w starszych organach roślin oraz u roślin wieloletnich, u których obserwuje się wtórny przyrost na grubość. W skład perydermy wchodzi

fellogen ▶ **fellogen** (miazga korkotwórcza) oraz wytworzone przez niego tkanki: martwy **ko-rek** (fellem) oraz żywa **felloderma** (mięgisz).

Martwe komórki korka są wypełnione powietrzem. Ich zgrubiałe ściany komórkowe oprócz celulozy zawierają suberynę (związek tłuszczopodobny zbliżony do kutyny). Taka budowa powstrzymuje przepływ wody i powietrza. Dlatego główną funkcją korka jest ochrona wnętrza rośliny przed utratą wody, zmianami temperatury oraz uszkodzeniami mechanicznymi. Wymianę gazową umożliwiają obecne w perydermie **przetchlinki** (ryc. VI.4.6.).



Ryc. VI.4.5. Przetchlinki na korze brzozy brodawkowatej.



Ryc. VI.4.6. Powstawanie perydermy.

Obserwacja

1. Obserwacja mikroskopowa komórek epidermy liścia (łuski) cebuli

Materiał: liść (łuska) cebuli (cebuli ogrodowej)

Wykonanie preparatu: Z wewnętrznej powierzchni mięsistej łuski cebuli ściągnij pęsetą skrawek o wielkości około 0,5 x 0,5 cm. Skrawek ten zanurz w płynie Lugola i przygotuj preparat mikroskopowy.

Przeprowadzenie obserwacji: Na wykonanym preparacie zidentyfikuj: ścianę komórkową, jądro komórkowe, cytoplazmę i wakuolę.

Wykonanie rysunku: Wykonaj w zeszycie schematyczny rysunek epidermy wraz z jej składnikami. Opisz kształt i rozmieszczenie komórek tej tkanki.

2. Obserwacja mikroskopowa aparatów szparkowych liścia kapusty

Materiał: liść kapusty warzywnej

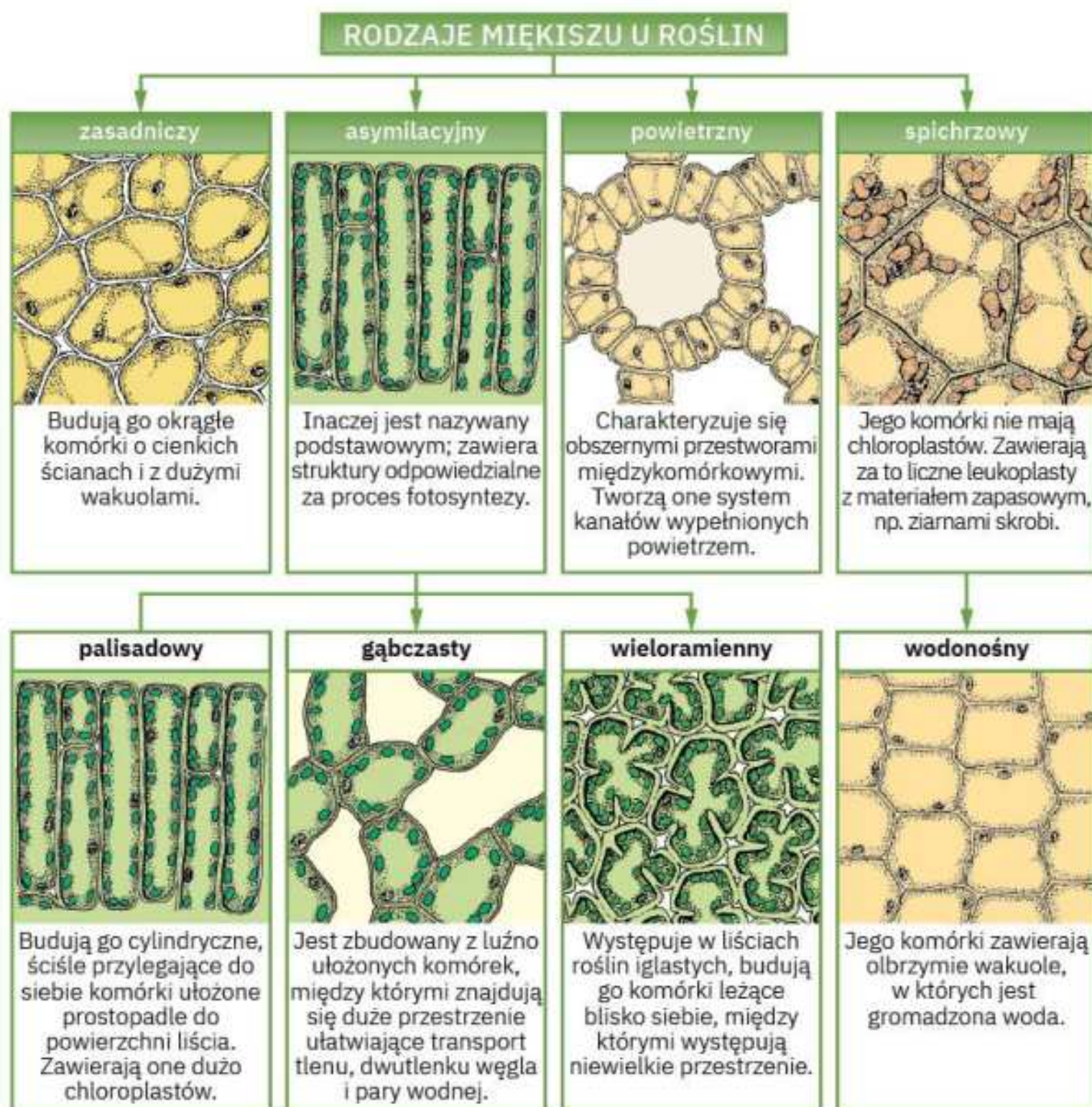
Wykonanie preparatu: Za pomocą pęsety lub igły zdejmij z liścia fragment dolnej skórki i zanurz go w roztworze glicerolu.

Przeprowadzenie obserwacji: Na wykonanym preparacie zaobserwuj budowę i rozmieszczenie aparatów szparkowych.

Wykonanie rysunku: Wykonaj w zeszycie schematyczny rysunek obserwowanych komórek epidermy wraz z aparatami szparkowymi. Zaznacz i opisz wszystkie elementy.

Tkanka mięszowa

Tkanki mięszowe stanowią główną część rośliny i występują we wszystkich ich organach. Po odróżnicowaniu dają początek wtórnym tkankom twórczym. Tkanka mięszowa jest zbudowana z żywych, silnie zwakouizowanych komórek, w których cytoplazmie znajdują się liczne plastydy. Celulozowa ściana komórkowa jest dość cienka. Ze względu na budowę **tkankę mięszową** dzielimy na mięsz zasadniczy, asymilacyjny, powietrzny, spichrzowy i wodnośny (ryc. VI.4.7.).



Ryc. VI.4.7. Rodzaje mięszu.

Mięsz zasadniczy, czyli podstawowy, wypełnia wolne przestrzenie pomiędzy innymi tkankami. Wchodzi w skład m.in. kory pierwotnej łodyg i korzeni oraz miąższu owoców. Turgor komórek mięszu zasadniczego zapewnia jędrność całej rośliny.

Komórki **miększu asymilacyjnego** zawierają liczne chloroplasty i w tej tkance proces fotosyntezy przebiega najbardziej intensywnie. Miększ asymilacyjny występuje w liściach oraz w wierzchnich warstwach łodyg roślin zielnych (tuż pod skórą). Wyróżniamy następujące typy miększu:

- **miększ palisadowy** jest zlokalizowany pod górną epidermą liści i jest zbudowany z przylegających do siebie cylindrycznych komórek. Stanowi miejsce zachodzenia fotosyntezy;
- **miększ gąbczasty** charakteryzuje się luźno ułożonymi komórkami, między którymi występują duże przestwory komórkowe. Funkcją miększu gąbczastego jest wymiana gazowa;
- **miększ wieloramienny** wziął nazwę od komórek o nieregularnych, pofałdowanych ścianach, z których jest zbudowany. Taka budowa zapewnia większą powierzchnię asymilacji, zwłaszcza w liściach o małej powierzchni, np. igłach nagonasiennych;

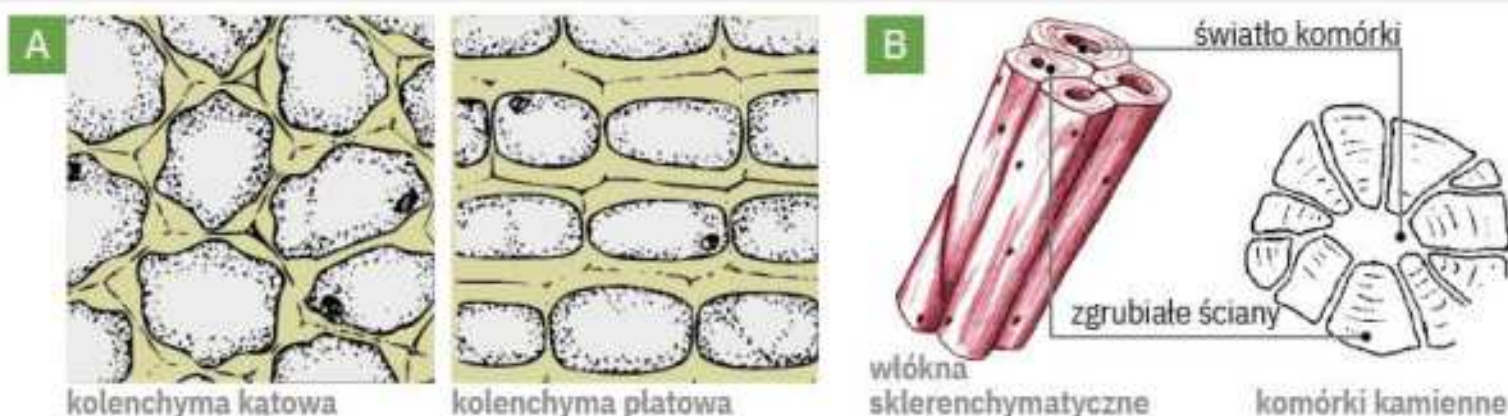
Inne typy miększu to:

- **miększ powietrzny**, zwany aerenchymą, charakteryzuje się silnie rozwiniętym systemem przestrzeni międzykomórkowych. Występuje przede wszystkim u roślin wodnych i bagiennych, dla których stanowi rezerwuár powietrza, umożliwia wymianę gazową oraz unoszenie się roślin (lub ich organów) na wodzie;
- **miększ spichrzowy**, inaczej zwany bezzieleniowym, jest zbudowany z komórek pozbawionych chloroplastów. Stanowi magazyn substancji zapasowych – skrobi, tłuszczów i białek. Występuje w organach spichrzowych: korzeniach (np. marchwi), bulwach (np. ziemniaka), nasionach (np. fasoli), kłączach i owocach;
- **miększ wodny** stanowi odmianę miększu spichrzowego i jego rola polega na magazynowaniu wody. Występuje u roślin klimatu suchego i gorącego, np. kaktusów czy agaw.

Tkanka wzmacniająca

tkanka wzmacniająca

Zadaniem tkanek wzmacniających jest zapewnienie roślinom odpowiedniej sztywności oraz odporności na działanie czynników środowiska lądowego, np. wiatru. Tkanka wzmacniająca ma zwartą strukturę, a w komórkach, z których jest zbudowana, ściany komórkowe są zgrubiałe. Dzielimy ją na **zwarcicę** oraz **twardzicę** (ryc. VI.4.8.).



Ryc. VI.4.8. Rodzaje tkanki wzmacniającej: (A) kolenchyma (kątowna i płatkowa) oraz (B) sklerenchyma (włókna sklerenchymatyczne oraz sklereidy).

kolenchyma ▶ Zwarcica, zwana też **kolenchymą**, najczęściej występuje w ogonkach liściowych oraz obwodowych częściach łodyg. Obecność kolenchymy warunkuje elastyczność tych organów i chroni je przed złamaniem lub zerwaniem. Zwarcica jest zbudowana z żywych wydłużonych komórek, które ściśle do siebie przylegają. Komórki te mogą zawierać chloroplasty i przeprowadzać fotosyntezę. Charakterystyczną ich cechą są nierównomierne zgrubienia ścian komórkowych. W zależności od lokalizacji tych zgrubień wyróżniamy kolenchymę kątową i płatową (**ryc. VI.4.8.**).

sklerenchyma ▶ Twardzica, zwana **sklerenchymą**, jest utworzona z martwych komórek, których ściany są silnie zgrubiałe i wysycone ligniną. Sklerenchyma występuje w starszych organach pędów nadziemnych i podziemnych. Jej funkcją jest zapewnienie roślinie odporności na zginanie, rozciąganie czy skręcanie. Twardzica występuje w postaci włókien sklerenchymatycznych oraz sklereidów (**ryc. VI.4.8.**).

Włókna sklerenchymatyczne są silnie wydłużone i zachodzą na siebie, przez co tworzą pasma o wyjątkowej odporności na zerwanie (**ryc. VI.4.8.**). Występują one w obrębie innych tkanek, np. włókna drzewne czy tykowe w obrębie tkanki przewodzącej. U niektórych gatunków, np. konopi czy lnu, włókna sklerenchymatyczne osiągały znaczne długości, nawet do 10 centymetrów (przy średnicy 20 mikrometrów).

Sklereidy, zwane komórkami kamiennymi, mają nieregularne, bryłowate kształty. Są martwe i mają silnie zgrubiałe ściany. Sklereidy występują w zewnętrznych częściach nasion, pestek i łupin orzecha oraz w obrębie tkanek mięsistych (np. w miąższu owocu gruszy).

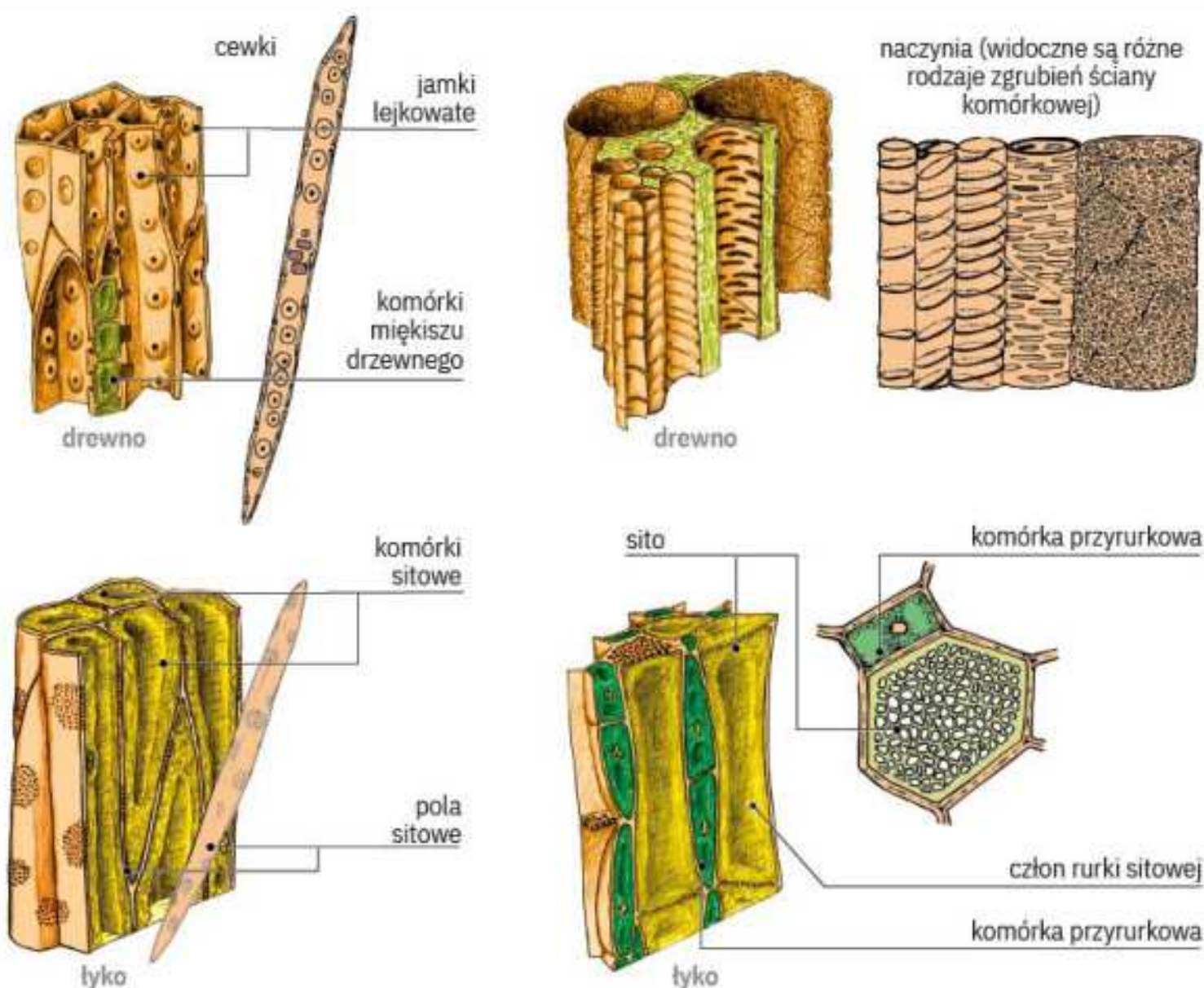
tkanka przewodząca ▶ **Tkanka przewodząca**

Zadaniem tkanki przewodzącej jest dostarczanie do wszystkich organów wody wraz z solami mineralnymi, pobieranej z roztworu glebowego, i asymilatów wytworzonych w czasie fotosyntezy w liściach. Najlepiej rozwinięta tkanka przewodząca występuje u paprotników oraz roślin nasiennych. Stanowi przejaw przystosowania roślin do funkcjonowania w warunkach lądowych. Tkanę przewodzącą dzielimy na dwa typy: drewno oraz tyko (**tab. VI.4.1.**).

Drewno

drewno ▶ **Drewno**, czyli **ksylem**, służy do transportowania wody i soli mineralnych pobranych przez system korzeniowy z podłoża. Drewno jest zbudowane z martwych komórek o wydłużonym kształcie. Komórki te mają zgrubiałe ściany komórkowe wysycone ligniną, które oprócz przewodzenia pełnią dodatkową funkcję mechaniczną. Transport wody i soli mineralnych w górę rośliny umożliwia tzw. **siła ssąca liści**. Siła ssąca jest generowana dzięki transpiracji z liści i wytworzeniu w jej efekcie podciśnienia, które zapewnia stały przepływ wody w komórkach drewna. Drewno jest tkanką niejednorodną. Składa się z komórek zwanych **cewkami** oraz z **naczyń**, które najwyższy stopień specjalizacji osiągnęły u okrytonasiennych (dwuliściennych) (**ryc. VI.4.9.**).

cewki ▶ **Cewki** mają wrzecionowaty, wydłużony kształt, a w ich zgrubiałych ścianach komórkowych występują liczne otwory zwane **jamkami**. Jamki zapewniają przepływ wody między sąsiednimi, zachodzącymi na siebie cewkami. Cewki są charakterystyczne dla paprociowych oraz nagonasiennych (**ryc. VI.4.9.**).



Ryc. VI.4.9. Elementy tkanki przewodzącej. Drewno występuje w postaci cewek lub naczyń. Łyko występuje w postaci komórek sitowych lub rurek sitowych.

Naczynia występują wyłącznie u okrytonasiennych. Zbudowane są z ułożonych szeregowo członów naczyń, między którymi częściowo lub całkowicie zanikła ściana komórkowa. Usprawnia to znacznie przepływ wody na długich odcinkach. Podłużne ściany naczyń mają liczne zgrubienia, będące wynikiem nierównomiernego odkładania się ściany wtórnej. Zlignizowana ściana komórkowa zawiera liczne jamki, co umożliwia przepływ wody między członami sąsiadujących naczyń (ryc. VI.4.9).

Oprócz cewek i naczyń w skład ksylemu wchodzi **włókna drzewne** oraz **miększ drzewny**. Włókna drzewne są rozmieszczone pojedynczo lub w grupach między innymi komórkami. Pełnią funkcję wzmacniającą. Miększ drzewny to jedyny żywy element drewna. Jest rozmieszczony między innymi elementami drewna i pełni głównie funkcję spichrzową.

Łyko

Łyko, czyli **floem**, przewodzi produkty fotosyntezy wytworzone głównie w liściach. Komórki floemu są żywe. Pod względem budowy jest to tkanka niejednorodna, zbudowana z komórek sitowych, rurek sitowych (ryc. VI.4.9.) oraz komórek przyrurkowych.

Mniej wyspecjalizowane **komórki sitowe** występują u paprotników i nagonasiennych. Mają wrzecionowaty kształt, a w ich bocznych ścianach komórkowych występują skupienia otworów zwane polami sitowymi. Przez pory sit przebiegają pasma cytoplazmy, które zapewniają kontakt cytoplazm sąsiednich komórek, a przez to ciągłość transportu asymilatów w obrębie całej rośliny.

rukki sitowe ➤ **Rurki sitowe** są bardziej zaawansowaną ewolucyjnie formą komórek łyka i występują u okrytonasiennych. Są zbudowane z członów rurek sitowych ułożonych szeregowo jeden na drugim. Wnętrze członów wypełnia duża wakuola. W dojrzałych komórkach jądro komórkowe zanika. Ściana komórkowa jest zbudowana z celulozy. Ściany poprzeczne, którymi stykają się poszczególne człony, zawierają pola sitowe z licznymi otworami. Przez te otwory przechodzą pasma cytoplazmy, zapewniając przepływ asymilatów.

Komórki przyrurkowe są żywe i wydłużone. Przylegają do członów rurek sitowych, mają jądro komórkowe i pełnią funkcje odżywcze.

Podobnie jak w drewnie, również w łyku występują dodatkowe elementy w postaci **włókien łykowych** oraz **miększu łykowego**. Włókna łykowe są martwe i pełnią funkcje mechaniczne. Występują głównie u okrytonasiennych. Miększ łykowy tworzy długie pasma wzdłuż głównej tkanki przewodzącej. Pełni funkcje spichrzowe.

Tab. VI.4.1. Porównanie rodzajów tkanki przewodzącej: drewna i łyka

Cecha	Tkanka przewodząca	
	drewno	łyko
Komórki, z których zbudowana jest tkanka	martwe	żywe
Elementy przewodzące	naczynia, cewki	rurki sitowe, komórki sitowe
Rodzaj transportowanych substancji	woda i sole mineralne	produkty fotosyntezy
Kierunek transportu	w górę rośliny, z korzeni do łodyg i liści	z liści do łodyg i do korzenia

tkanka
wydzielnicza

➤ Tkanka wydzielnicza

Terminem „tkanka wydzielnicza” określamy pojedyncze komórki lub ich zespoły, które wydzielają substancje o różnym charakterze chemicznym i przeznaczeniu. Wyróżniamy tkankę zewnątrzwydzielniczą oraz wewnątrzwydzielniczą.

Tkanka zewnątrzwydzielnicza obejmuje miodniki, włoski wydzielnicze oraz hydatory. Wytwory te wydzielają substancje na zewnątrz organizmu rośliny. Miodniki kwiatów roślin okrytonasiennych wytwarzają nektar, który służy wabieniu zwierząt zapylających (pszczoł, ptaków, ssaków). Włoski wydzielnicze (gruczołowe) mają znaczenie ochronne – wydzielają związki o nieprzyjemnym zapachu, odstraszające roślinożerców. Do tego typu należą też włoski roślin owadożernych wytwarzające enzymy trawienne (do rozkładu ciał schwytych zwierząt). Hydatory umożliwiają roślinom (np. tropikalnym) wytracenie zbędnych ilości wody.

Tkanka wewnątrzwydzielnicza wytwarza i gromadzi substancje wewnątrz organizmu rośliny. Do jej wytworów należą rury mleczne i kanały żywiczne. Rury mleczne są zbudowane z ułożonych szeregowo komórek zawierających lateks, czyli sok mleczny. Sok mleczny jest mieszaniną kauczuku (pochodnej izoprenu), lipidów, związków lipopodobnych, białek, cukrów i innych substancji organicznych. Kanały żywiczne, charakterystyczne dla roślin nagonasiennych, wydzielają żywicę, która pełni funkcje odstrasżające oraz ochronne (zabezpiecza przed wnikaniem drobnoustrojów) (ryc. VI.4.10.).

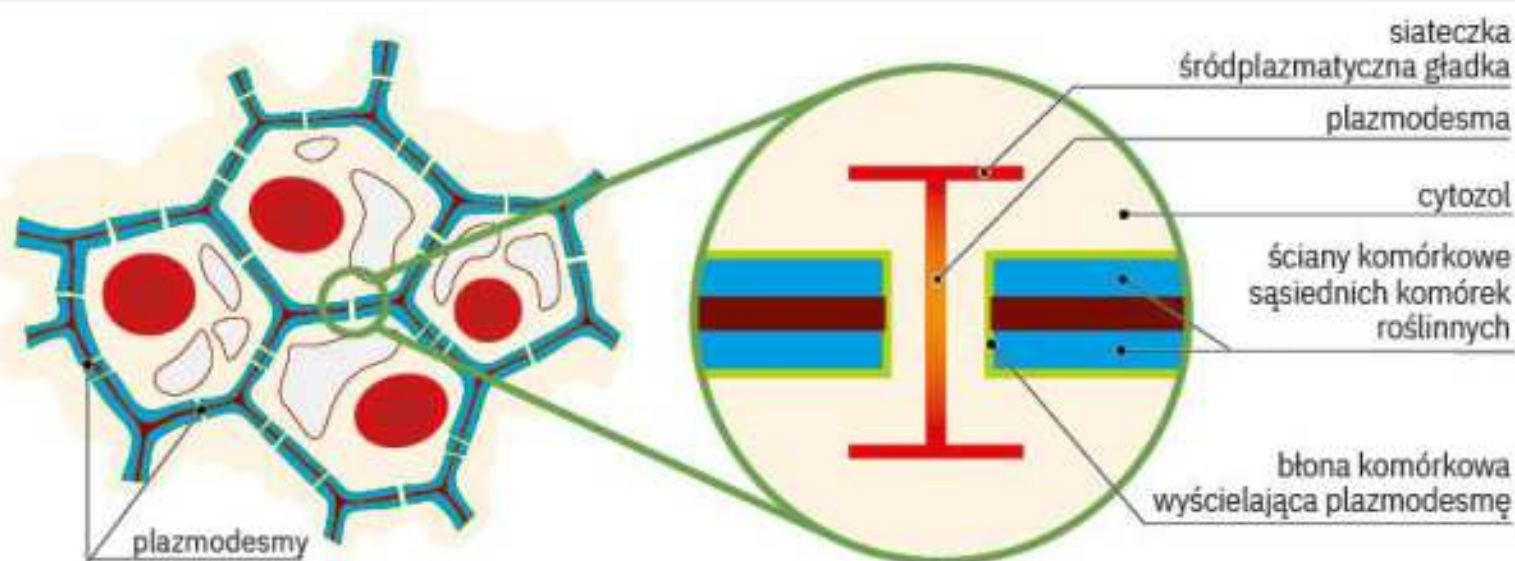


Ryc. VI.4.10. Rodzaje roślinnych struktur wydzielniczych: (A) rośiczka z wydzieliną włosków gruczołowych, (B) gutacja u roślin, (C) żywica na drzewie.

Połączenia międzykomórkowe

W organizmach wielokomórkowych, do których zaliczają się rośliny, komunikacja międzykomórkowa odgrywa kluczową rolę w koordynacji procesów życiowych oraz odpowiada za właściwe reakcje na bodźce zewnętrzne. Łączność i komunikację komórek roślinnych zapewniają kanały w ścianie komórkowej, zwane **plazmodesmami** (ryc. VI.4.11.). Kanał ten wyściela błona komórkowa, a przez jego środek przechodzi cytoplazma sąsiadujących komórek, tworząc drogę wymiany między komórkami substancji odżywczych i innych istotnych dla wzrostu oraz rozwoju produktów (np. białek będących czynnikami transkrypcyjnymi czy RNA). Ten rodzaj przemieszczania się cząsteczek nazywamy komunikacją symplastową lub **symplastem**. Dzięki istnieniu plazmodesm jest zachowana ciągłość struktury, co ma kluczowe znaczenie dla funkcjonowania całego organizmu roślinnego. Liczba plazmodesm jest różna w poszczególnych organach/tkankach i zależy m.in. od stanu rozwojowego rośliny, warunków środowiska oraz hormonów.

plazmodesmy



Ryc. VI.4.11. Plazmodesmy.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wymień stałe tkanki roślinne.
2. Scharakteryzuj budowę pierwotnej i wtórnej tkanki okrywającej.
3. Jaką strukturę przedstawiono na poniższym schemacie? Opisz jej wszystkie elementy w zeszycie.



4. Przerysuj do zeszytu tabelę dotyczącą rodzajów miękiszu asymilacyjnego i ją uzupełnij.

Cecha	miękisz palisadowy	...	...
Budowa	komórki wydłużone, ściśle przylegające	...	...
Funkcja	...	...	...
Występowanie/ lokalizacja	...	...	głównie w liściach szpilkowych nagoniennych; w obrębie całej blaszki liściowej

5. Wymień właściwości tkanki wzmacniającej, które warunkują jej funkcje.
6. Oceń prawdziwość stwierdzeń dotyczących łyka i drewna. Wybierz P, jeśli zdanie jest prawdziwe, lub F, jeśli jest fałszywe. Zadanie wykonaj w zeszycie.

Stwierdzenie	P/F
1. Drewno służy do transportowania wody z solami mineralnymi pobranymi przez korzeń z podłoża.	...
2. Elementami drewna są komórki sitowe, rurki sitowe oraz komórki przyrurkowe.	...
3. Łyko jest zbudowane z martwych komórek i służy do transportowania produktów fotosyntezy.	...
4. Naczynia i rurki sitowe występują u okrytonasiennych, a komórki sitowe i cewki – u nagoniennych.	...

7. Podaj przykłady zewnątrz- i wewnątrzwydzielniczych struktur roślinnych. Omów ich funkcje.
8. Wyjaśnij fizjologiczne znaczenie istnienia połączeń międzykomórkowych.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- **Do tkanek stałych należą następujące tkanki:** okrywająca, mięsiszowa, wzmacniająca, przewodząca i wydzielnicza. ◀ s. 142
- **Tkanka okrywająca** chroni roślinę przed czynnikami zewnętrznymi; dzielimy ją na skórkę (pierwotną tkankę okrywającą) i perydermę (wtórną tkankę okrywającą). ◀ s. 142
- **Skórka** jest zbudowana z żywych, ściśle przylegających do siebie komórek. Warstwa okrywająca nadziemne części rośliny to epiderma, a podziemne – to ryzoderma. ◀ s. 143
- **Wymiana gazowa** zachodzi dzięki obecności w skórcie aparatów szparkowych zbudowanych z dwóch komórek szparkowych, między którymi znajduje się otwór zwany szparką. ◀ s. 143
- **Wytworami epidermy** są kolce i włoski, a ryzodermy – włosniki. ◀ s. 144
- **Peryderma** zastępuje skórkę w starszych organach u roślin, u których występuje wtórny przyrost na grubość. ◀ s. 144
- W skład perydermy wchodzi **fellogen** (miazga korkotwórcza) i wytwarzane przez niego tkanki: korek oraz felloderma. ◀ s. 144
- **Tkankę mięsiszową** budują żywe, silnie zwakuolizowane komórki otoczone cienką ścianą komórkową. ◀ s. 146
- **Tkankę mięsiszową dzielimy na:** miękisz zasadniczy (wypełnia wolne przestrzenie między innymi tkankami), asymilacyjny (stanowi miejsce zachodzenia fotosyntezy), powietrzny (umożliwia wymianę gazową i unoszenie się roślin wodnych), spichrzowy (stanowi magazyn substancji zapasowych) i wodny (magazynuje wodę). ◀ s. 146
- **Tkanka wzmacniająca** zapewnia roślinom odpowiednią sztywność i odporność na działanie czynników zewnętrznych. Tkankę wzmacniającą dzielimy na zwarcicę (kolenchymę) i twardzicę (sklerenchymę). ◀ s. 147
- **Główną funkcją tkanki przewodzącej** jest rozprowadzanie po całej roślinie wody z solami mineralnymi (dREWNO, ksylem) oraz produktów fotosyntezy (łyko, floem). ◀ s. 148
- **DREWNO** tworzą martwe, grubościennne komórki. Jego elementami są cewki (rośliny zarodnikowe, nagonasienne) oraz naczynia (okrytonasienne), a także włókna drzewne i miękisz drzewny. ◀ s. 148
- **Łyko** tworzą żywe, cienkościenne komórki. Jego elementami są komórki sitowe (rośliny zarodnikowe, nagonasienne), rurki sitowe (okrytonasienne) oraz komórki przyrurkowe, włókna łykowe i miękisz łykowy. ◀ s. 149
- **Tkankę wydzielniczą** budują komórki wydzielające substancje o różnym składzie i przeznaczeniu. Należą do niej miodniki, włoski wydzielnicze i hydatory. ◀ s. 150
- Komórki w obrębie tkanki są połączone **plazmodesmami** i zapewniają ciągłość struktury w funkcjonowaniu całego organizmu roślinnego. ◀ s. 151

5. Mszaki – organizmy z dominującym gametofitem

NA TEJ LEKCJI:

- zapoznasz się z cechami charakterystycznymi mszaków;
- przeanalizujesz budowę gametofitu i sporofitu u mszaków;
- dowiesz się, w jaki sposób rozmnażają się mszaki;
- poznasz cykl życiowy mchu płonnika;
- uzyskasz informacje o cechach mchów, wątrobowców i glewików;
- zrozumiesz, jakie znaczenie mają mszaki.

cykl życiowy
mszaków

U przodków roślin lądowych, rynniofitów, dwa pokolenia – haploidalny gametofit i diploidalny sporofit – były równocenne. W toku ewolucji okazało się, że koszt utrzymania obu pokoleń jest zbyt wysoki i doszło do redukcji jednego z nich. U współcześnie żyjących roślin w ich **podstawowym cyklu życiowym** dominuje jedno z pokoleń: gametofit (u mszaków) lub sporofit (u paprotników i nasiennych) (**ryc. VI.5.1.**).



Ryc. VI.5.1. Podstawowy cykl życiowy roślin.

Mszaki to zarodnikowe rośliny lądowe niewielkich rozmiarów, do których zaliczamy mchy, wątrobowce oraz glewiki. Do tej pory zidentyfikowano ponad 26 tysięcy gatunków mszaków. Organizmy tej grupy są charakterystyczne dla siedlisk wilgotnych, najczęściej w najniższym piętrze lasu (w tzw. warstwie mszystej). Niektóre gatunki można także spotkać w miejscach suchych. Mszaki należą do **organizmów pionierskich** – zasiedlają tereny niedostępne dla innych roślin (skały, mury, pnie drzew).



Ryc. VI.5.2. Mszaki często występują w najniższym piętrze lasu, tworząc warstwę mszystą.

Charakterystyczną cechą mszaków jest występowanie w ich cyklu rozwojowym **regularnej przemiany pokoleń**. Dominujące pokolenie to haploidalny gametofit, a zależny od niego diploidalny sporofit jest zredukowany. Mszaki są **formami przejściowymi** między organizmami beztkankowymi (plechowcami) a organowcami (roślinami z wykształconym korzeniem, łodygą i liśćmi) oraz łączą cechy obu tych grup (**tab. VI.5.1.**).

cechy organizmów
beztkankowych
i organowców

Tab. VI.5.1. Cechy plechowców i organowców występujące u mszaków

Mszaki jako formy przejściowe	
Cechy plechowców	Cechy organowców
• rozmnażanie płciowe uzależnione od wody • brak typowych organów – występują ich analogi: chwytniki, łodyżki, listki • brak typowej tkanki przewodzącej • niezdrewniałe ściany komórkowe	• obecność wielokomórkowych gametangiów (plemni, rodni) • obecność tkanek (okrywającej, wzmacniającej i mięksiszowej) w gametoficie wielu gatunków • skórka pokryta kutykulą • występowanie w zarodnikach <u>sporopoleniny</u> (zabezpiecza przed wysychaniem)

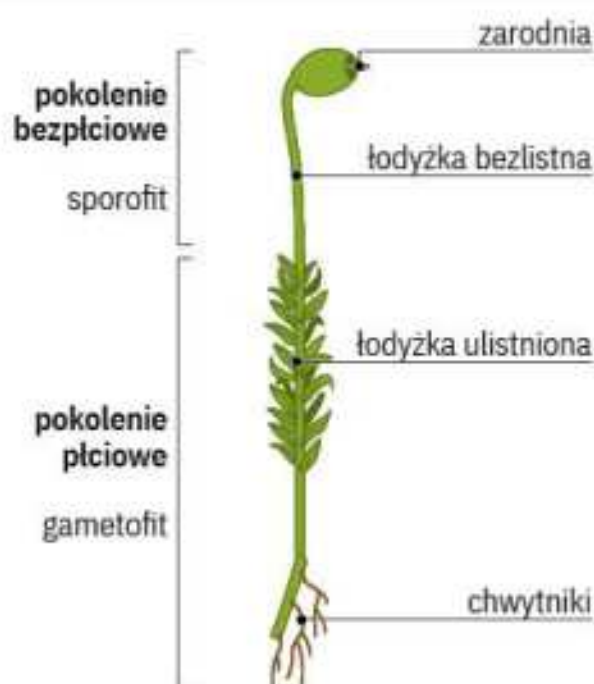
Budowa gametofitu i sporofitu mszaków

Gametofit mszaków jest wieloletnią samożywną rośliną. Powstaje z haploidalnego zarodnika, który kiełkuje, tworząc przejściowe stadium zwane **splątkiem**. Splątek przekształca się we właściwy gametofit mający postać ulistnionej łodyżki lub spłaszczonej tarczki przytwierdzonej do podłoża za pomocą chwytników.

gametofit mszaków

Sporofit mszaków składa się ze **stopy** połączonej z gametofitem, **sety** (czyli trzonka) oraz **zarodni** wypełnionej tkanką zarodnikotwórczą. Sporofit jest formą krótko żyjącą – obumiera po wytworzeniu zarodników. Na **rycinie VI.5.3.** przedstawiono budowę typowego przedstawiciela mszaków – mchu płonnika.

sporofit mszaków



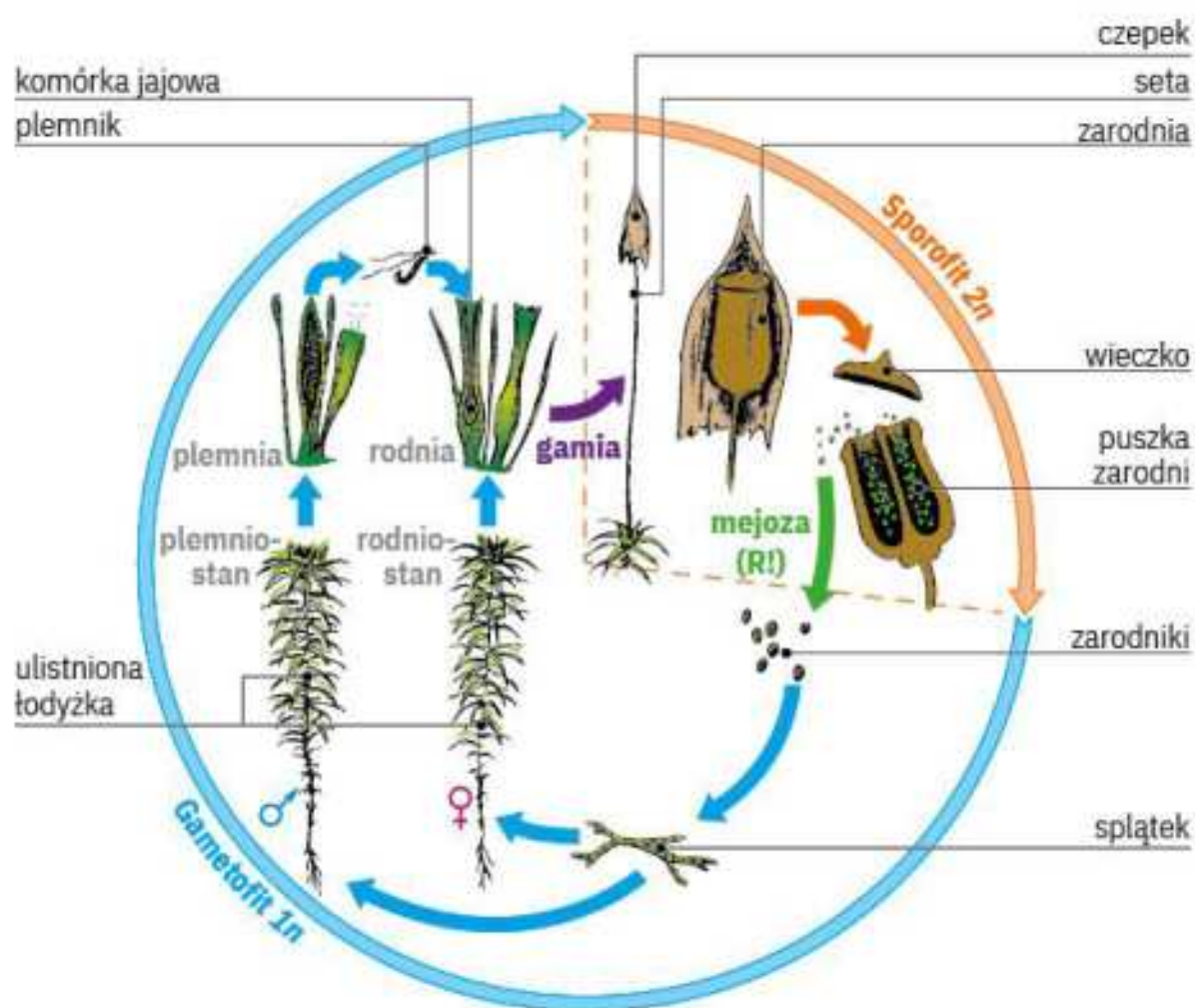
Ryc. VI.5.3. Budowa sporofitu i gametofitu u mchu płonnika.

rozmnażanie się
mszaków

► Rozmnażanie się mszaków

rozmieszczenie
rodni i plemni

Mszaki rozmnażają się bezpłciowo (zarodniki, fragmentacja rośliny, rozmnóżki) oraz płciowo. Rozmnażanie płciowe **zależy od obecności wody**. W procesie tym występuje heteromorficzna przemiana pokoleń z dominacją gametofitu. Na gametoficie powstają wielokomórkowe **gametangia** – żeńskie rodnie i męskie plemnie, występujące w postaci skupień: rodniostanów i plemniostanów. U niektórych gatunków (np. mchu torfowca) rodnie i plemnie są zlokalizowane na tym samym osobniku i te organizmy określa się jako **jednopienne**. W przeciwieństwie do nich, gatunki **dwupienne** (np. mech płonnik) mają rodnie i plemnie umieszczone na różnych osobnikach. Na **rycynie VI.5.4.** przedstawiono cykl rozwojowy mchu płonnika pospolitego.



Ryc. VI.5.4. Cykl życiowy wraz z przemianą pokoleń u mchu płonnika.

przegląd
systematyczny
mszaków

► Przegląd systematyczny mszaków

MCHY

liczebność mchów
w Polsce

Na świecie występuje ok. 13 tysięcy gatunków mchów, z czego **ok. 700 w Polsce**. Typowymi siedliskami mchów są miejsca wilgotne i zacienione, np. lasy, brzegi strumieni, bagna, torfowiska, części drzew lub skał. W obrębie mchów wyróżniamy osiem klas, spośród których najbardziej znane są: płonniki, torfowce i prątniki.



Ryc. VI.5.5. Przykładowe siedliska mchów.

Płonniki, których przedstawicielem jest płonnik pospolity (ryc. VI.5.6.A), osiągają najwyższy stopień organizacji wśród mszaków. Na przekroju poprzecznym łodyżki gametofitu widać prostą wiązkę przewodzącą zbudowaną z hydroidów (komórki przewodzące wodę) oraz leptoidów (komórki przewodzące związki organiczne). Wielowarstwowe listki są wzmocnione żeberkiem. Na ich górnej powierzchni występują tzw. asymilatory, zbudowane z wielu rzędów komórek. W skład sporofitu wchodzi długa seta oraz umieszczona szczytowo zarodnia okryta czepkiem. Do mchów należy *Dawsonia superba*, która jest najwyższym mchem znanym na świecie (ryc. VI.5.6.B).

◀ najbardziej znane klasy mchów



Ryc. VI.5.6. Płonnik pospolity (A), *Dawsonia superba* (B).

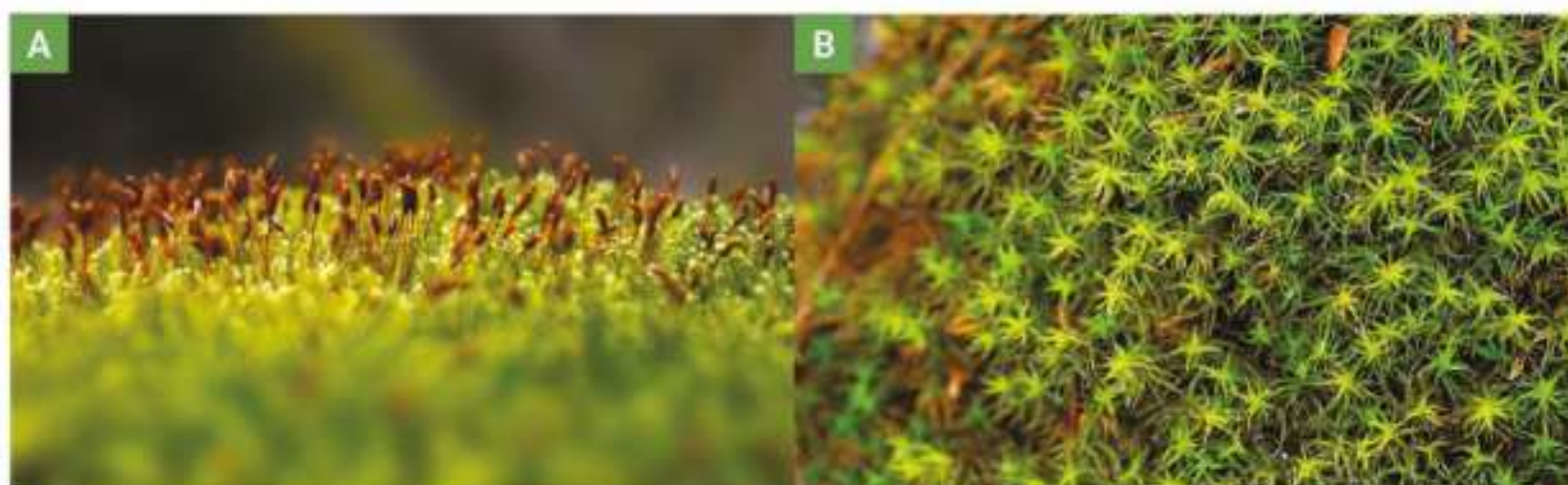
Splątek **torfowców** jest płaski i szeroki. Gametofit nie zawiera chwytników i ma formę silnie rozgałęzionej łodyżki, na której końcu tworzą się rodnie i plemnie. Wierzchołkowa część łodyżki stale rośnie, a dolna część obumiera i jest mineralizowana. Zapewnia to nieograniczony wzrost torfowców. Listki są jednowarstwowe, złożone z żywych i martwych komórek ułożonych naprzemiennie. W żywych komórkach zachodzi fotosynteza i inne procesy metaboliczne, a martwe komórki służą do magazynowania wody.



Ryc. VI.5.7. Jeden z gatunków torfowca.

Sporofit jest osadzony na trzoneczku gametofitu. Jest zbudowany z niewidocznej gołym okiem sety oraz zarodni z gwałtownie otwierającą się puszką. Do torfowców należą cztery rodzaje: *Sphagnum* (torfowiec, czyt. sfagnum), *Eosphagnum* (czyt. eosfagnum), *Flatbergium* oraz *Ambuchanania*. Mchy te współtworzą torf oraz torfowiska.

Splątek **prątników** ma postać nitkowatą i rozgałęzioną. Gametofit jest przytwierdzony do podłoża za pomocą wielokomórkowych chwytników. Tworzy go prosta lub rozgałęzioną łodyżka oraz jednowarstwowe, wzmocnione żeberkiem listki. Sporofit składa się z długiej sety, na której szczycie znajduje się zarodnia z czepkiem i kolumnką. Prątniki to najliczniejsza klasa w obrębie gromady mchów. Przedstawicielami prątników są: prątnik (*Bryum* sp.) i widłoząb (*Dicranum* sp., czyt. dikranum) (**ryc VI.5.8**).



Ryc. VI.5.8. Przedstawiciele mchów prątników: (A) prątnik, (B) widłoząb.

WĄTROBOWCE

porostnica
wielokształtna

Nazwa gromady wątrobowców jest związana z kształtem gametofitów przypominającym wątrobę, występującym u wielu gatunków tej gromady, m.in. **porostnicy wielokształtnej** (*Marchantia polymorpha*, czyt. marchantia polymorfa) (**ryc. VI.5.9**). Gametofit porostnicy ma postać płatowatej plechy, którą do podłoża przytwierdzają jednokomórkowe chwytniki. Na przekroju poprzecznym tego gametofitu widać tkanki: okrywającą, asymilacyjną oraz spichrzową. Rodnie i plemniki są wzniesione na charakterystycznych, drzewkowatych strukturach. Gametofit wytwarza także dość liczne rozmnożki.



Ryc. VI.5.9. Porostnica wielokształtna.

Sporofit porostnicy rozwija się wewnątrz rodni i ma postać krótkiego trzonka oraz zarodni, która otwiera się przez podłużne pęknięcia. Zwraca uwagę wyspecjalizowany system uwalniania zarodników związany z obecnością specjalnych włókien – sprężyc. Sprężyce w zależności od uwodnienia mogą się skręcać lub rozkręcać, co prowadzi do wysypywania się zarodników. Jednak przeważająca część gametofitów wątrobowców jest zbudowana z łodyżki z licznymi listkami (np. *Plagiochila* sp.).

GLEWIKI

Gametofit glewików ma **formę spłaszczoną i plechową**. Jest przytwierdzony do podłoża jednokomórkowymi chwytnikami. Osadzone w nim rodnie i plemniki są niewidoczne. Z jednego gametofitu wyrasta często wiele sporofitów, które są długie (nawet do 5 cm) i stożkowate. Sporofit składa się wyłącznie z zarodni (brak jest sety). Zarodnia rozdziela się podłużnie, uwalniając zarodniki. Sporofit pobiera od gametofitu wodę i sole mineralne – obecne w jego komórkach chloroplasty dostarczają mu asymilatów. Znanych jest około 300 gatunków glewików, z czego w Polsce występują tylko cztery. Krajowymi przedstawicielami są m.in. glewik polny (*Anthoceros agrestis*, czyt. antoceros agrestis) (**ryc. VI.5.10.**) oraz glewiczek karoliński (*Phaeoceros carolinianus*, czyt. feoceros karolinianus).

gametofit glewików



Ryc. VI.5.10. Glewik polny.

Znaczenie mszaków

znaczenie mszaków

- Jako organizmy pionierskie przekształcają podłoże, które może być zasiedlone przez inne rośliny.
- Na jałowych wydmach utrwalają ruchome podłoże i biorą istotny udział w procesie glebotwórczym.
- Regulują bilans wodny gleb leśnych. Przez gromadzenie dużych ilości wody chronią gleby przed erozją, a także zapobiegają ich wysychaniu, utrzymując w nich większą wilgotność.
- Torfowce umożliwiają rozwój torfowisk oraz odkładanie torfu (**ryc. VI.5.11.**) – surowca o znaczeniu gospodarczym, wykorzystywanym m.in. do produkcji kosmetyków i suplementów diety oraz jako opał.
- Torf jako tzw. borowina jest stosowany w lecnictwie w postaci okładów i kąpeli.
- Mszaki są środowiskiem życia dla wielu organizmów: pierwotniaków, grzybów, zwierząt bezkręgowych i kręgowych.
- Mchy wykorzystuje się jako ściótkę, materiał do pakowania, doniczki (**ryc. VI.5.12.**) oraz podściótkę w uprawach niektórych owoców.



Ryc. VI.5.11. Wydobycie torfu.



Ryc. VI.5.12. Torf wykorzystuje się m.in. do produkcji biodegradowalnych doniczek.

- Dawniej mchy były wykorzystywane do izolacji i uszczelniania budynków.
- Negatywne działanie mszaków wiąże się z zabagnianiem niektórych terenów oraz zachwaszczaniem łąk i pastwisk.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wyjaśnij, na czym polega przemiana pokoleń u roślin.
2. Wytłumacz, dlaczego mszaki uznaje się za organizmy przejściowe między plechowcami i organowcami. Swoją odpowiedź uzasadnij odpowiednimi przykładami cech.
3. Omów cykl rozwojowy mchu płonnika. Wskaż pokolenie dominujące w tym cyklu.
4. Sporządź w zeszycie tabelę porównującą płonniki, torfowce i prątniki.
5. Wyjaśnij, jakie znaczenie dla przyrody i dla człowieka mają mszaki.
6. W dostępnej literaturze znajdź informacje na temat właściwości konserwujących torfu i podaj przykłady jego zastosowania.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- s. 154 ▶ • U mszaków w **cyklu życiowym** występuje regularna przemiana pokoleń, w której dominuje gametofit.
- s. 155 ▶ • Mszaki łączą **cechy organizmów beztkankowych** (np. brak typowych organów i tkanki przewodzącej) oraz **organowców** (np. obecność gametangiów czy tkanek stałych w gametoficie).
- s. 155 ▶ • **Gametofit mszaków** jest wieloletnią samożywną rośliną i ma najczęściej postać ulistnionej lodyżki przytwierdzonej do podłoża chwytnikami.
- s. 155 ▶ • **Sporofit** jest formą krótko żyjącą, która obumiera po wytworzeniu zarodników. Składa się ze stopy, sety oraz zarodni.
- s. 156 ▶ • Mszaki **rozmnażają się** bezpłciowo (m.in. zarodniki, fragmentacja) oraz płciowo. Rozmnażanie płciowe zależy od obecności wody.
- s. 156 ▶ • Na gametoficie mszaków występują **wielokomórkowe rodnie i plemniki** (mieszczą się na tym samym osobniku lub na różnych osobnikach).
- s. 156 ▶ • **Do mszaków zaliczamy** mchy, wątrobowce i glewiki.
- s. 156 ▶ • Mchy żyją głównie w miejscach wilgotnych i zacienionych. W Polsce występuje **ok. 700 gatunków**.
- s. 157 ▶ • Najbardziej znane klasy mchów to płonniki, torfowce i prątniki.
- s. 158 ▶ • Do wątrobowców należy **porostnica wielokształtna** o plątowanej plesze, z której wyrastają rodnie i plemniki o parasolowatym kształcie.
- s. 159 ▶ • **Gametofit glewików** ma spłaszczoną formę, a sporofit nie zawiera sety.
- s. 159 ▶ • Mszaki **odgrywają ważną rolę w przyrodzie**, m.in. są organizmami pionierskimi i tworzą pokłady torfu.

6. Naczyniowe rośliny zarodnikowe

NA TEJ LEKCJI:

- dowiesz się, czym charakteryzują się rośliny zarodnikowe;
- poznasz budowę widłakowych i paprociowych;
- prześledzisz cykl rozwojowy paproci jednakozarodnikowych i różnozarodnikowych;
- poznasz główne grupy roślin zarodnikowych;
- zrozumiesz, jakie znaczenie mają rośliny zarodnikowe dla przyrody i człowieka.

Do naczyniowych roślin zarodnikowych należą **dwie główne klasy**: widłakowe (*Lycophyta*, czyt. likofyta) oraz paprociowe (*Pterophyta*, czyt. pterofyta). Widłakowe obejmują widliczki, widłaki i porybliny, a paprociowe – paprocie, skrzypy oraz psyloty. Należy zaznaczyć, że dawna nazwa „paprotniki” używana dla określenia wymienionych klas ma współcześnie znaczenie historyczne. Rośliny te zajmują najczęściej lądowe siedliska wilgotne. Liczba współcześnie żyjących gatunków roślin zarodnikowych jest oceniana na ponad 11 200, co stanowi niewielką część wszystkich gatunków roślin (**tab. VI.6.1.**). Wśród nich przeważają rośliny małych rozmiarów (od kilku cm do ok. 1 m wysokości), choć znane są także formy drzewiaste (do 30 m wysokości) (**ryc. VI.6.1.**). Ciekawe jest, że w czasach karbońskich występowały „drzewiaste” widłakowe, które stanowiły wtedy element lasotwórczy – ich średnica sięgała 2 metrów, a wysokość nawet 40 metrów.

przedstawiciele
roślin
zarodnikowych



Ryc. VI.6.1. Pokrój roślin zarodnikowych.

Tab. VI.6.1. Przybliżona liczba gatunków roślin lądowych występujących na świecie

Rośliny	Liczba gatunków
ROŚLINY NIENACZYNIOWE	
Mszaki	~24 000
ROŚLINY NACZYNIOWE	
Rośliny zarodnikowe	
Widłakowe	1200
Paprociowe	10 000
Skrzypowe	16
Rośliny nasienne	
Nagozalążkowe	
Młotkowce	1
Sagowce	340
Gnietowe	94
Szpilkowe	600
Okrytozalążkowe	
Grzybieniowe	64
Magnoliowe	9000
Jednoliścienne	~65 000
Dwuliścienne właściwe	~200 000

wspólne
cechy roślin
zarodnikowych

Rośliny zarodnikowe, w przeciwieństwie do mszaków, mają silnie zredukowany gametofit, a dominującym pokoleniem jest sporofit. **Wspólnymi cechami roślin zarodnikowych są:**

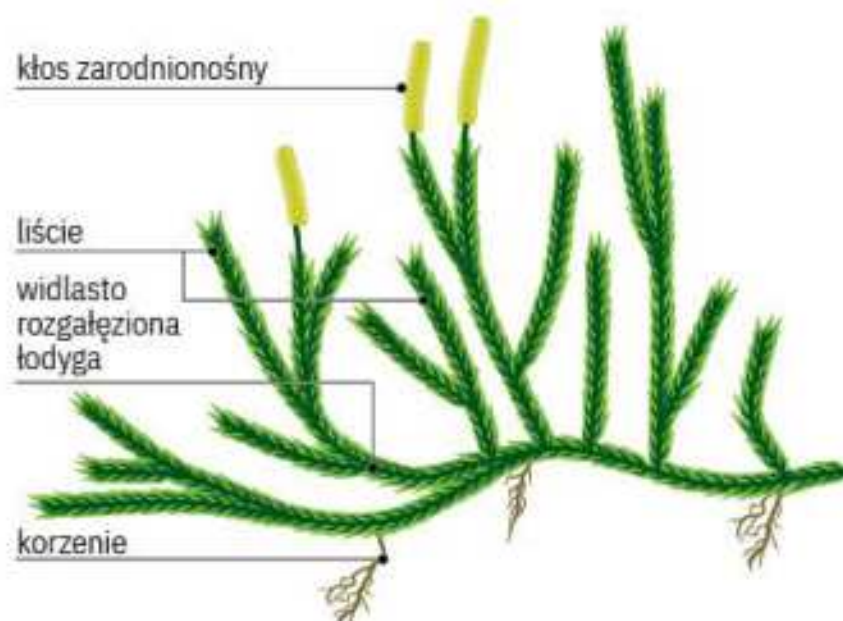
- Obecność **organów wegetatywnych sporofitu**: korzenia, łodygi i liści. Korzenie mają najczęściej postać wiązki wyrastającej z łodygi. Łodygi przyjmują różne formy – od długich, prostych i wzniesionych, przez krótkie i bulwiaste, aż do podziemnych kłączy. Liście ze względu na pełnione funkcję dzielimy na: zarodnionośne (sporofile), asymilacyjne (trofofile) lub sporotrofofile (jeden liść pełni obie funkcje, np. u długosza królewskiego).
- Obecność **tkanek** charakterystycznych dla roślin naczyniowych. Zasiedlenie środowisk lądowych i osiągnięcie znacznych rozmiarów umożliwiło roślinom wykształcenie tkanki przewodzącej. Rośliny te (z wyjątkiem poryblinów) nie przyrastają na grubość, ponieważ nie wytwarzają tkanek wtórnych.
- **Heteromorficzna przemiana pokoleń**. W regularnej przemianie pokoleń dominuje sporofit. Zarodnie osadzone na sporofitach mają wielokomórkową ścianę i wytwarzają haploidalne zarodniki, które mogą być jednakowej wielkości (u jednazarodnikowych) lub różnej wielkości (u różnazarodnikowych).
- Mały, wielokomórkowy i **samożywny gametofit**. Gametofit, czyli tzw. przedrośle, rozwija się z haploidalnego zarodnika. Gametofity mogą być jednopienne lub dwupienne. Rozmnażają się płciowo, a zapłodnienie zależy od obecności

wody (podobnie jak u mszaków). Nieliczne gametofity są heterotroficzne i żyją w symbiozie z grzybami.

Charakterystyka budowy widłakowych

◀ widłakowe

Współczesne widłakowe są małymi roślinami zielnymi. Należą do nich widłaki, widliczki i porybliny. Znamioną cechą tej grupy roślin są widlaste rozgałęzienia pędu i korzenia (ryc. VI.6. 2.). Z płożących się łodyg wyrastają drobne trofofile oraz sporofile, skupione zazwyczaj w kłosa zarodnionośne (tzw. **strobile**). Gametofit jest niewielki i długo żyjący (może się rozwijać nawet kilkanaście lat). U niektórych gatunków wyrasta na powierzchni gleby i fotosyntetyzuje, u innych odżywia się dzięki symbiozie z grzybami. Wszystkie widłaki są jednakozarodnikowe. Widliczki i porybliny są różnozarodnikowe.

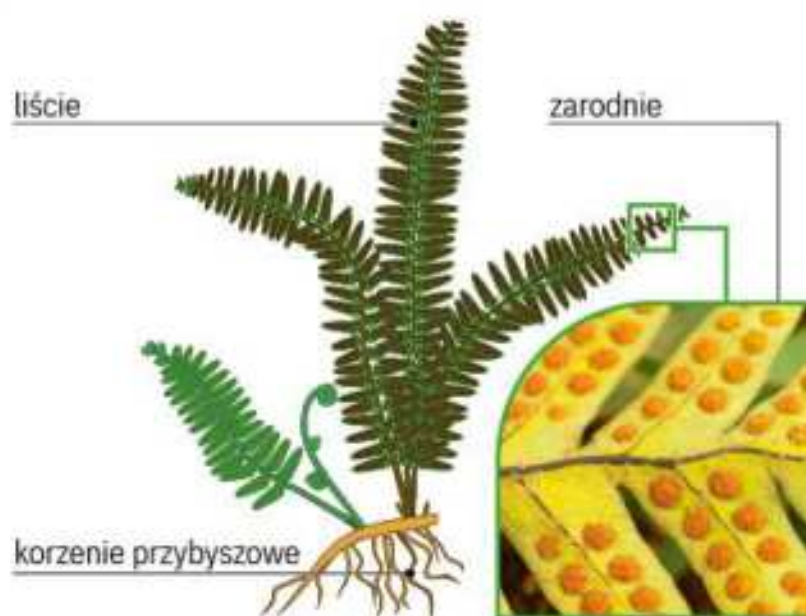


Ryc. VI.6.2. Budowa widłaka.

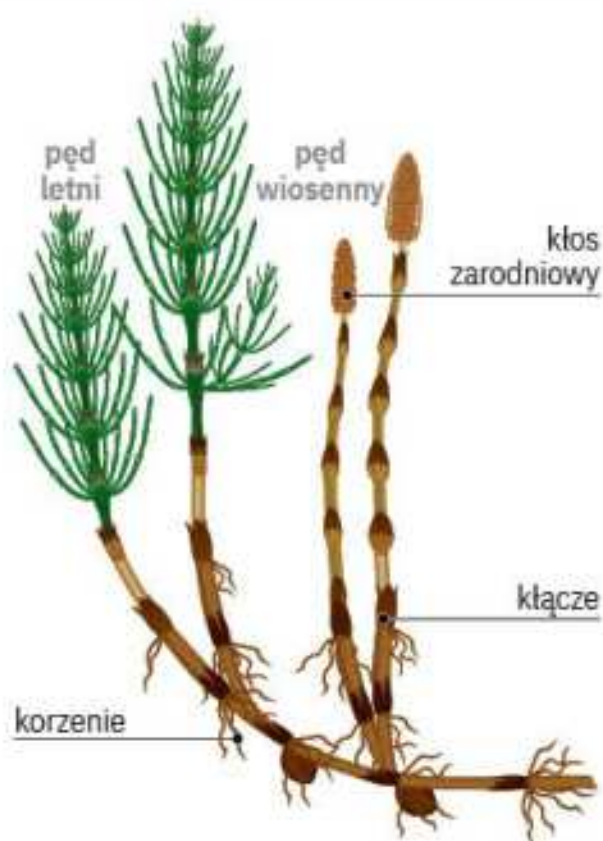
Charakterystyka budowy paprociowych (paproci i skrzypów) ▶ paprociowe

Paprocie

Paprocie są najliczniejszą (tab. VI.6.1.) i najbardziej zaawansowaną pod względem budowy grupą roślin zarodnikowych. Należą tu zarówno niepozorne rośliny zielne (np. paprotka zwyczajna czy narecznica samcza), jak i potężne formy drzewiaste. Liście paprociowych osadzone na ogonkach mają duże pojedyncze lub pierzasto podzielone blaszki liściowe. Młode liście są charakterystycznie, pastoratowo zwinięte (ryc. VI.6.3.). U niektórych gatunków występują zarówno liście zarodnionośne, jak i asymilacyjne. Łodygę pokrywa skórka, w której występują aparaty szparkowe. Tkanka miękiszowa okala koncentryczną wiązkę przewodzącą (tylko otaczające drewno), przebiegającą w środkowej części łodygi. Wiązki przewodzące są obecne także w korzeniach i łodygach. Większość paproci jest jednakozarodnikowa, a tylko nieliczne są różnozarodnikowe (np. salwinia pływająca). Większość gatunków paproci ma wyspecjalizowany, sprężynujący system wyrzucania zarodników z zarodni na znaczne odległości.



Ryc. VI.6.3. Budowa paprociowych na przykładzie narecznicy samczej.



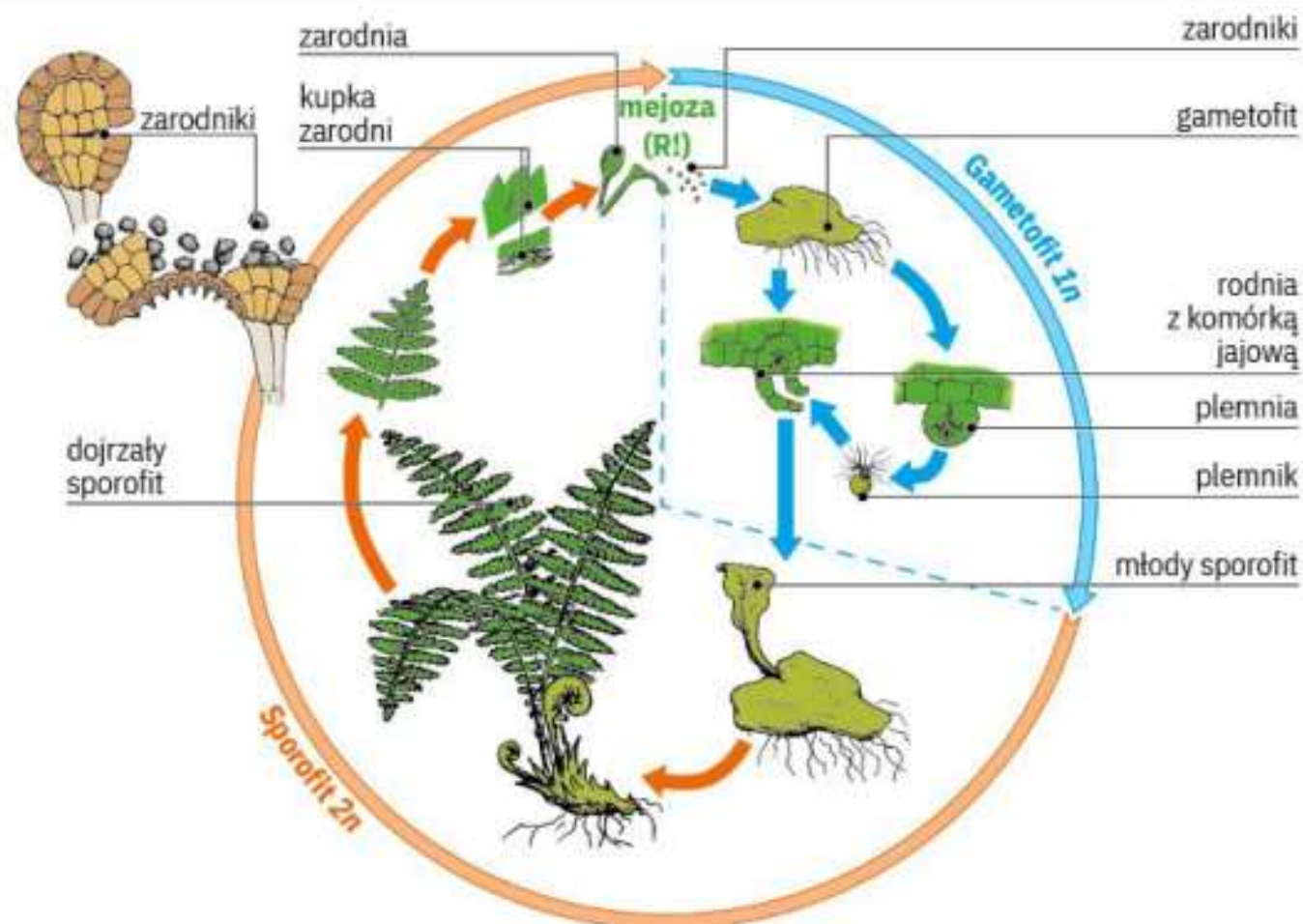
Ryc. VI.6.4. Budowa skrzypu polnego.

Skrzypy

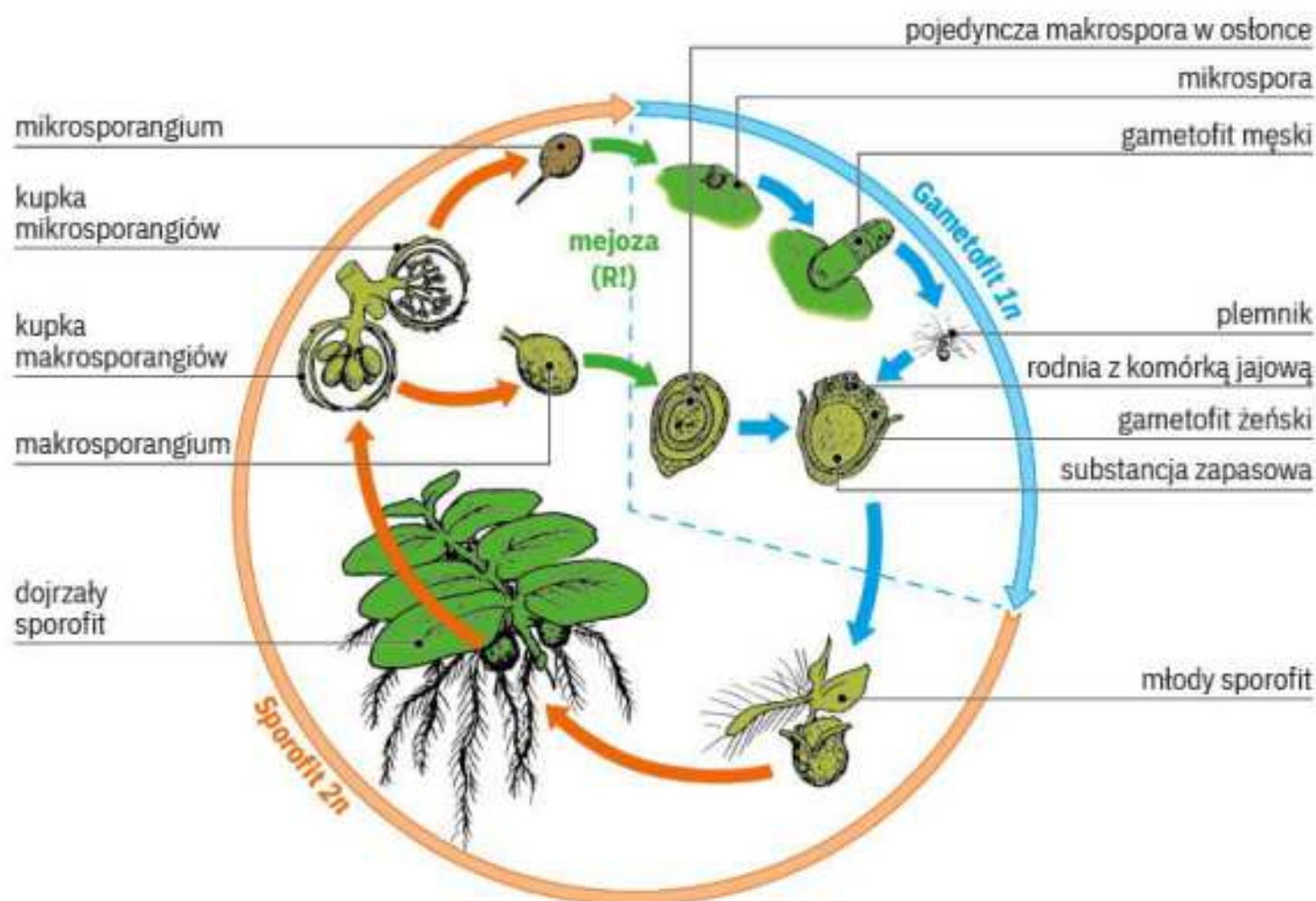
Skrzypy stanowią nieliczną grupę roślin zielnych o rozmiarach od kilkunastu centymetrów do metra wysokości. Budowa sporofitu skrzypów charakteryzuje się członowaną strukturą jednorocznych łodyg naziemnych oraz wieloletnich, podziemnych kłaczy. Przedstawicielem skrzypów jest skrzyp polny (ryc. VI.6.4.). Łodygi zróżnicowane są na krótkie węzły i znajdujące się między nimi długie **międzywęzła** (ryc. VI.6.4.). Z węzłów łodygi podziemnej wyrastają **korzenie przybyszowe**, a z węzłów łodygi naziemnej – **okółki** łuskowatych liści zrosniętych w pochewkę oraz odgałęzienia boczne. Łodyga skrzypów pełni funkcje asymilacyjne. Pędy naziemne są zróżnicowane na dwa typy: pędy zarodnionośne (wiosenne) oraz pędy płonne (letnie) (ryc. VI.6.4.). Pęd zarodnionośny jest prosto wzniesiony, nierozgałęziony i ma brązowe zabarwienie. Na jego szczycie znajduje się szyszkowaty kłos zarodnionośny z tarczowatymi liśćmi, na których spodzie mieszczą się zarodnie. Wysyp zarodników z zarodni oznacza, że kłos wiosenny obumiera. Jego miejsce zastępują zielone, asymilujące pędy płonne. Wszystkie skrzypy są jednakozarodnikowe.

rośliny jednako-
zarodnikowe

Rozmnażanie się roślin zarodnikowych



Ryc. VI.6.5. Cykl rozwojowy paproci jednakozarodnikowych na przykładzie narcyznicy samczej.



Ryc. VI.6.6. Cykl rozwojowy paproci różnozarodnikowych na przykładzie salwinii pływającej.

Przegląd systematyczny roślin zarodnikowych

Widłakowe

Do widłakowych zaliczamy widłaki, widliczki i porybliny. Z dość nielicznej gromady (tab. VI.6.1.) w Polsce występuje tylko **13 gatunków widłakowych** (jeden gatunek widliczki, dwa poryblinów i dziesięć widłaków). Wszystkie objęte są ścisłą ochroną gatunkową, a niektóre są gatunkami zagrożonymi wyginięciem i umieszczone zostały na **Czerwonej Liście Roślin** (pełny rejestr gatunków zagrożonych wraz z klasyfikacją do odpowiednich kategorii zagrożenia). Krajowymi przedstawicielami widłakowych są np. wroniec widlasty czy widliczka ostrozębna (ryc. VI.6.7.).

widłakowe
w Polsce



Ryc. VI.6.7. Krajowi przedstawiciele widłakowatych: (A) wroniec widlasty, (B) widliczka ostrozębna.

Paprociowe

Do paprociowych zaliczamy paprocie, skrzypy oraz psyloty.

Paprocie

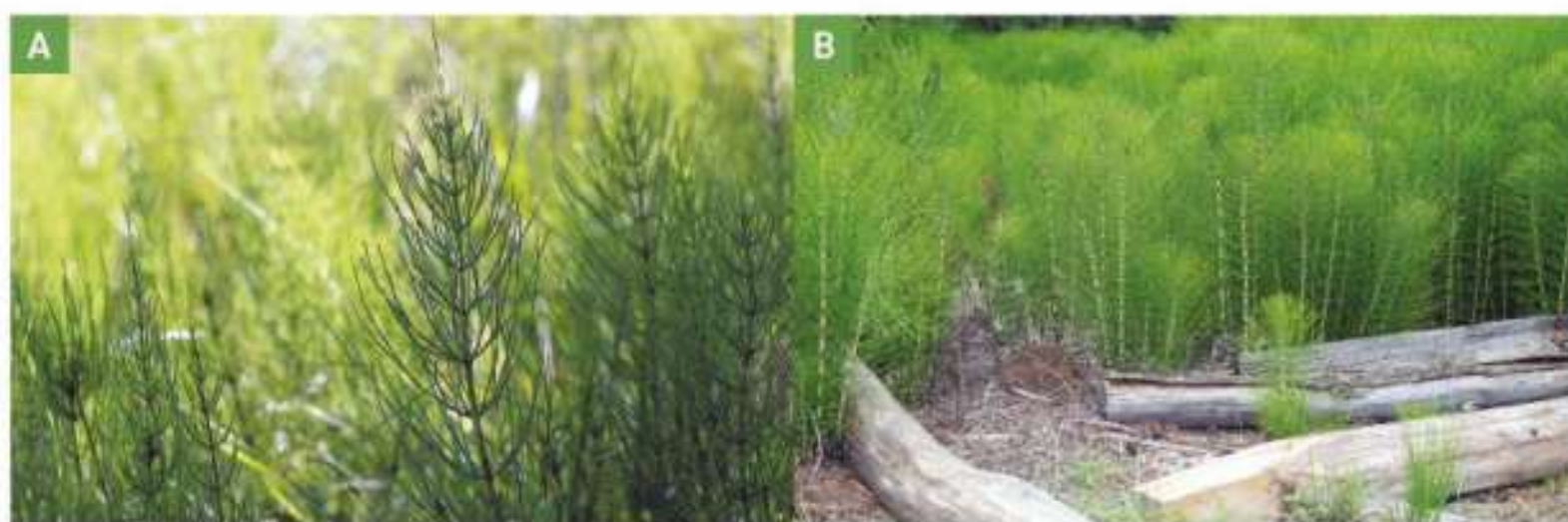
Współcześnie żyjące paprocie stanowią tylko niewielką część ogromnej niegdyś grupy roślin. W Polsce występuje 55 gatunków paproci. Wiele z nich objęto ochroną gatunkową, a niektóre znajdują się na Czerwonej Liście Roślin (**ryc. VI.6.8.**).



Ryc. VI.6.8. Paprocie: (A) długosz królewski, (B) języcznik zwyczajny, (C) gałązka kulecznica (paproć wodna).

krajowe skrzypy ► **Skrzypy**

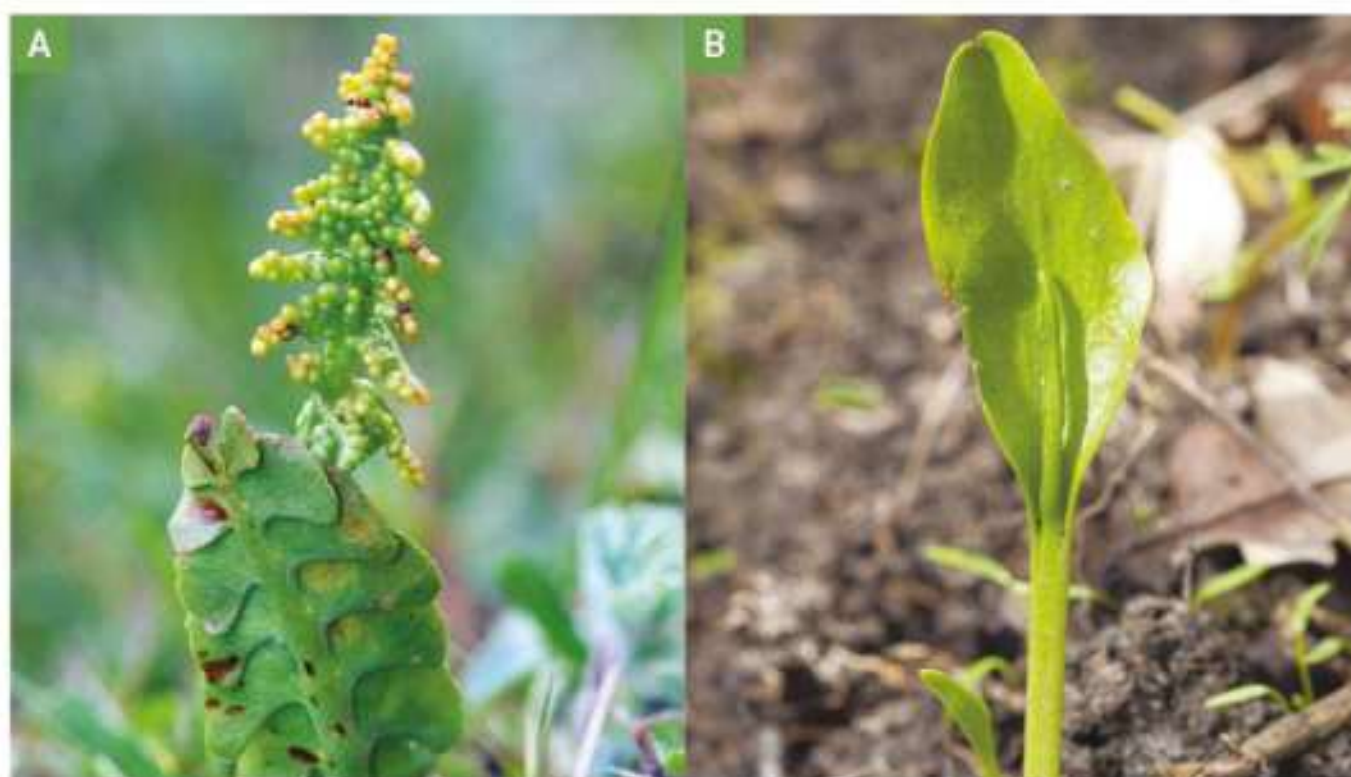
Skrzypy są reprezentowane przez kilkanaście gatunków, z czego w Polsce występuje tylko dziewięć. Do najbardziej znanych należą skrzyp polny i skrzyp błotny. Ochroną gatunkową objęto skrzyp olbrzymi (**ryc. VI.6.9.**).



Ryc. VI.6.9. Skrzypy: (A) skrzyp polny i (B) skrzyp olbrzymi.

psyloty ► **Psyloty**

Psyloty odróżnia od pozostałych paprociowych brak rozgałęzienia pędów podziemnych. Samożywny gametofit ma zwartą postać, a budową przypomina kłaczę. Sporofit stanowi różnie ukształtowana łodyga. Do psylotów należą takie krajowe gatunki, jak nasięźrzał pospolity i podejżrzon księżycowy (**ryc. VI.6.10.**).



Ryc. VI.6.10. Psyloty: (A) podejrzon księżycowy i (B) nasieźrzał pospolity.

Znaczenie roślin zarodnikowych

- Ze szczątków karbońskich paprociowych powstały olbrzymie pokłady węgla kamiennego. pokłady węgla kamiennego
- Rośliny zarodnikowe stanowią główny element runa leśnego, a paprocie ciepłych stref klimatycznych współtworzą drzewostan.
- Są środowiskiem życia dla innych organizmów.
- Zarodniki widłaków zawierają dużo olejków eterycznych i są przez to łatwopalne – służyły do wyrobu sztucznych ogni.
- Stanowią surowiec do produkcji kosmetyków i farmaceutyków (np. ziele skrzypu polnego wykorzystuje się w leczeniu chorób nerek, w procesie gojenia ran czy do wzmacniania włosów; zarodniki widłaka goździstego mają działanie ogólnoustrojowe).
- Dzięki szorstkiej łodydze, co wynika z obecności krzemionki w ścianach komórkowych, skrzypy były używane do czyszczenia różnych powierzchni (np. patelni).
- Rośliny zarodnikowe mają znaczenie estetyczne – są hodowane w domach (jako rośliny doniczkowe) oraz ogrodach.
- Szybkie tempo rozmnażania się skrzypów czyni z nich uciążliwe chwasty.
- Skrzypy są niepożądanym składnikiem pasz zwierząt.

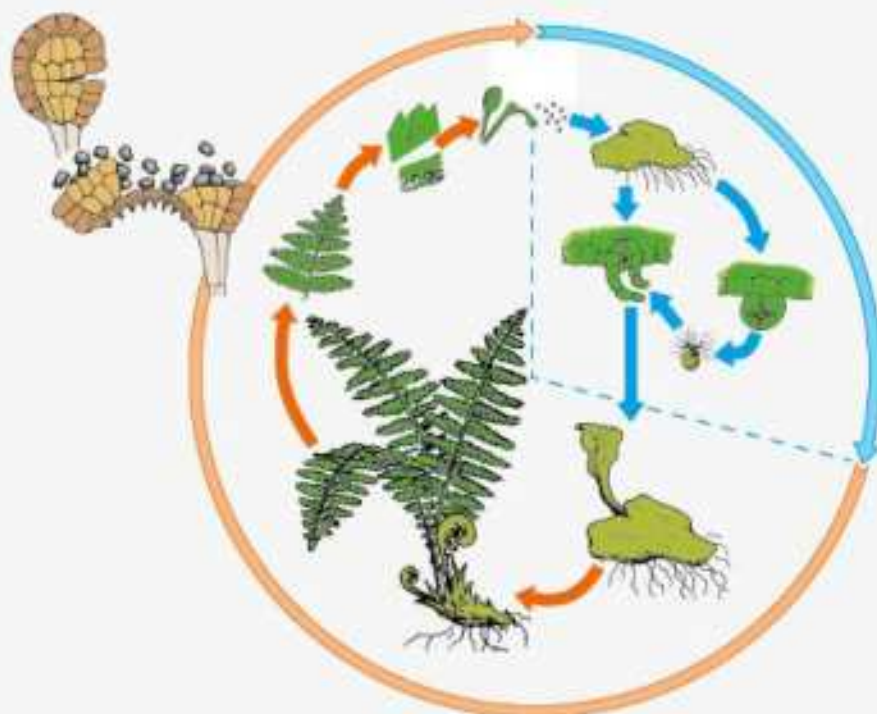


Ryc. VI.6.11. Z obumarłych szczątków, m.in. paprociowych, powstały ogromne pokłady węgla kamiennego. Ich ślady można odnaleźć w osadach węgla kamiennego.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wymień cechy wspólne dla roślin zarodnikowych.
2. Porównaj budowę widłakowych i paprociowych (paproci i skrzypów).
3. Omów schemat przedstawiający cykl rozwojowy narecznicy samczej.
4. Przerysuj do zeszytu i uzupełnij poniższą tabelę dotyczącą przynależności taksonomicznej wymienionych gatunków roślin zarodnikowych.

długosz królewski, widliczka ostrozębna, skrzyp olbrzymi, poryblin jeziorny, wroniec widlasty, jęczyznik zwyczajny, podejżrzon księżycowy, gałuszka kulecznica, nasięźrzal pospolity, narecznica samcza



Widłakowe	Paprociowe		
...	paprocie	skrzypy	psyloty
	...	...	...

5. Na podstawie dostępnych źródeł wyjaśnij, w jaki sposób powstały pokłady węgla kamiennego.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- s. 161 ▶ • **Do roślin zarodnikowych zaliczamy** widłakowe oraz paprociowe. W ich cyklu życiowym dominuje sporofit, a gametofit jest silnie zredukowany.
- s. 162 ▶ • **Wspólnymi cechami roślin zarodnikowych są:** obecność organów wegetatywnych sporofitu, obecność tkanek, heteromorficzna przemiana pokoleń i redukcja gametofitu.
- s. 163 ▶ • **Widłakowe** (widlaki, widliczki i porybliny) charakteryzują się silnie rozgałęzionym pędem i korzeniem.
- s. 163 ▶ • **Paprociowe** obejmują paprocie i skrzypy. Paprocie mają liście osadzone na ogonkach i podzielone blaszki liściowe. Skrzypy charakteryzują się członowaną strukturą naziemnych lodyg.
- s. 164 ▶ • Rośliny zarodnikowe dzielimy na **jednakozarodnikowe** (wytwarzają jednakowe zarodniki), np. narecznica samcza, i **różnazarodnikowe** (zarodniki różnej wielkości), np. widliczka ostrozębna.
- s. 165 ▶ • W Polsce występuje **13 gatunków widłakowych** (jeden gatunek widliczki, dwa poryblinów i dziesięć widłaków) oraz **55 gatunków paproci**, m.in. długosz królewski, jęczyzka zwyczajna, gałuszka kulecznica.

- **Krajowe skrzypy** obejmują dziewięć gatunków, m.in. skrzyp polny, skrzyp błotny i skrzyp olbrzymi. ◀ s. 166
- Do **psylotów** zaliczamy podejźrzon księżycowy oraz nasięźrzal pospolity. ◀ s. 166
- Szczątki karbońskich paprociowych utworzyły **pokłady węgla kamiennego**. ◀ s. 167

7. Budowa roślinnych organów wegetatywnych – korzeń

NA TEJ LEKCJI:

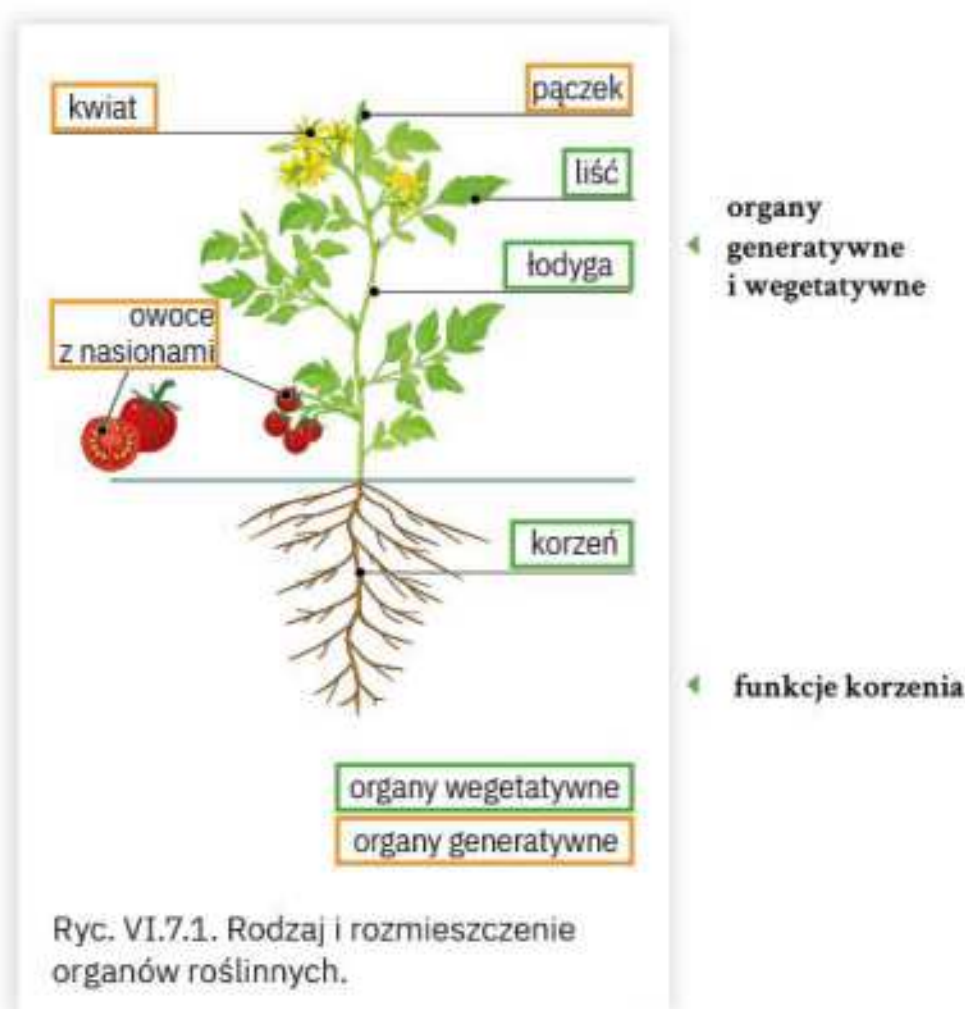
- przeanalizujesz podział organów na wegetatywne i generatywne;
- poznasz funkcje i budowę morfologiczną korzenia;
- dowiesz się, jakie wyróżnia się rodzaje systemów korzeniowych;
- poznasz budowę anatomiczną (pierwotną i wtórną) korzenia;
- uzyskasz informacje o przekształceniach w budowie i funkcjach korzeni.

Organy to wyspecjalizowane części organizmu roślinnego zbudowane z tkanek. Są przystosowane do pełnienia określonych funkcji. Organy dzielimy na wegetatywne i generatywne (ryc. VI.7.1.). **Organy generatywne** to te, które biorą udział w rozmnażaniu: kwiaty, nasiona i owoce. **Organy wegetatywne** zapewniają roślinie wzrost i rozwój. Zaliczamy do nich: korzeń, łodygę i liść.

Korzeń

Do głównych funkcji korzenia należą:

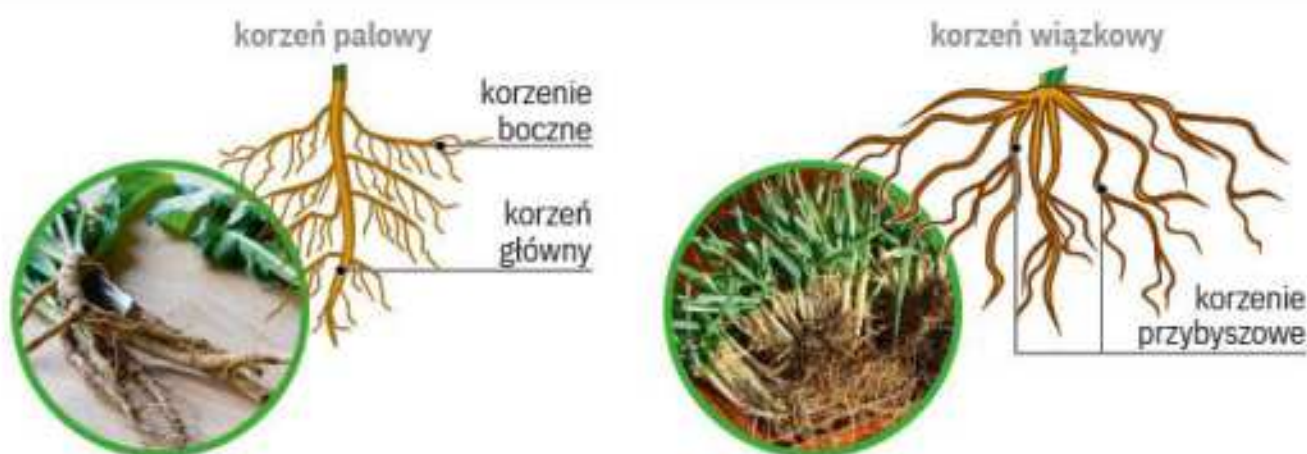
- pobieranie wody i soli mineralnych,
- utrzymywanie rośliny w podłożu,
- synteza niektórych istotnych biologicznie substancji (np. hormonów, alkaloidów, aminokwasów),
- magazynowanie substancji pokarmowych (u roślin wieloletnich).



Ryc. VI.7.1. Rodzaj i rozmieszczenie organów roślinnych.

dwa typy
systemów
korzeniowych

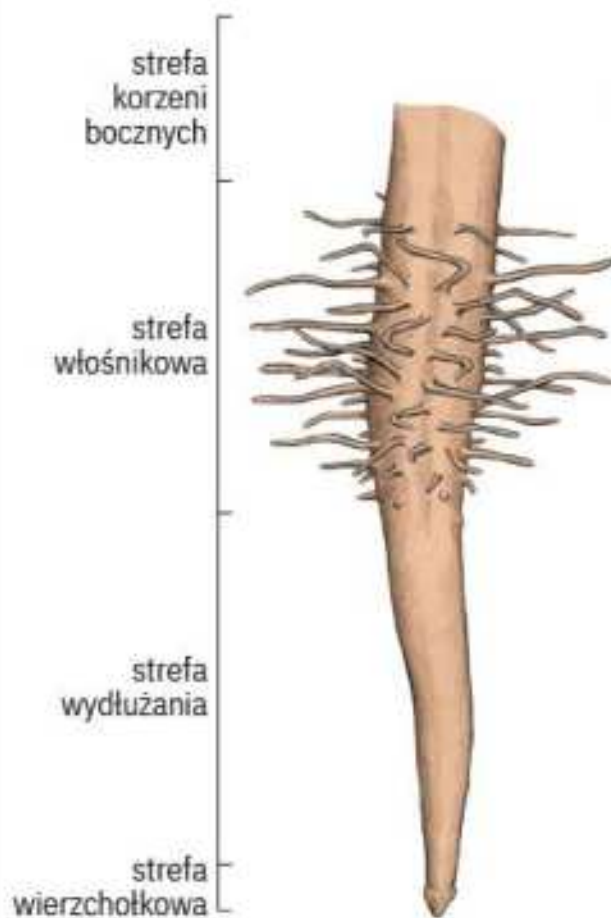
➤ Rośliny lądowe wykształciły dwa rodzaje systemów korzeniowych: **system palowy** oraz **system wiązkowy** (ryc. VI.7.2.). W systemie palowym występuje korzeń główny, rosnący pionowo w dół, oraz odchodzące od niego krótsze i cieńsze korzenie boczne. System palowy występuje u większości nagozalążkowych oraz u dwuliściennych. W systemie wiązkowym nie występuje korzeń główny, a wyrastające z podstawy pędu liczne korzenie są równorzędne pod względem wielkości. Nazywamy je **korzeniami przybyszowymi**. System wiązkowy jest charakterystyczny dla roślin zarodnikowych oraz okrytozalążkowych jednoliściennych.



Ryc. VI.7.2. Systemy korzeniowe: palowy (np. u mniszka lekarskiego) i wiązkowy (np. u traw).

Budowa morfologiczna korzenia

strefy budowy
korzenia



Ryc. VI.7.3. Budowa morfologiczna korzenia.

W budowie morfologicznej korzenia wyróżniamy: strefę wierzchołkową, strefę wydłużania, strefę włosnikową oraz strefę korzeni bocznych (ryc. VI.7.3.).

Strefę wierzchołkową, zwaną strefą podziałów komórkowych, tworzą komórki stożka wzrostu. Komórki te, dzieląc się, zapewniają wzrost korzenia i dają początek wszystkim jego tkankom.

Strefa wydłużania jest miejscem najsilniejszego wzrostu korzenia na długość. Obejmuje intensywnie rosnące komórki.

Strefa włosnikowa (różnicowania) obejmuje komórki różnicujące się w inne typy tkanek, które są przystosowane do pełnienia określonych funkcji. W tej strefie znajdują się **włosniki**, znacznie zwiększające powierzchnię chłonną korzenia – usprawniają pobieranie wody z solami mineralnymi.

Strefa korzeni bocznych, zwana też wyrośniętą, utrzymuje roślinę w podłożu. Jej główną funkcją jest przewodzenie wody i soli mineralnych w górę rośliny. W tej strefie u wielu roślin wyrastają korzenie boczne, a także ma miejsce przyrost korzenia na grubość.

Budowa pierwotna korzenia

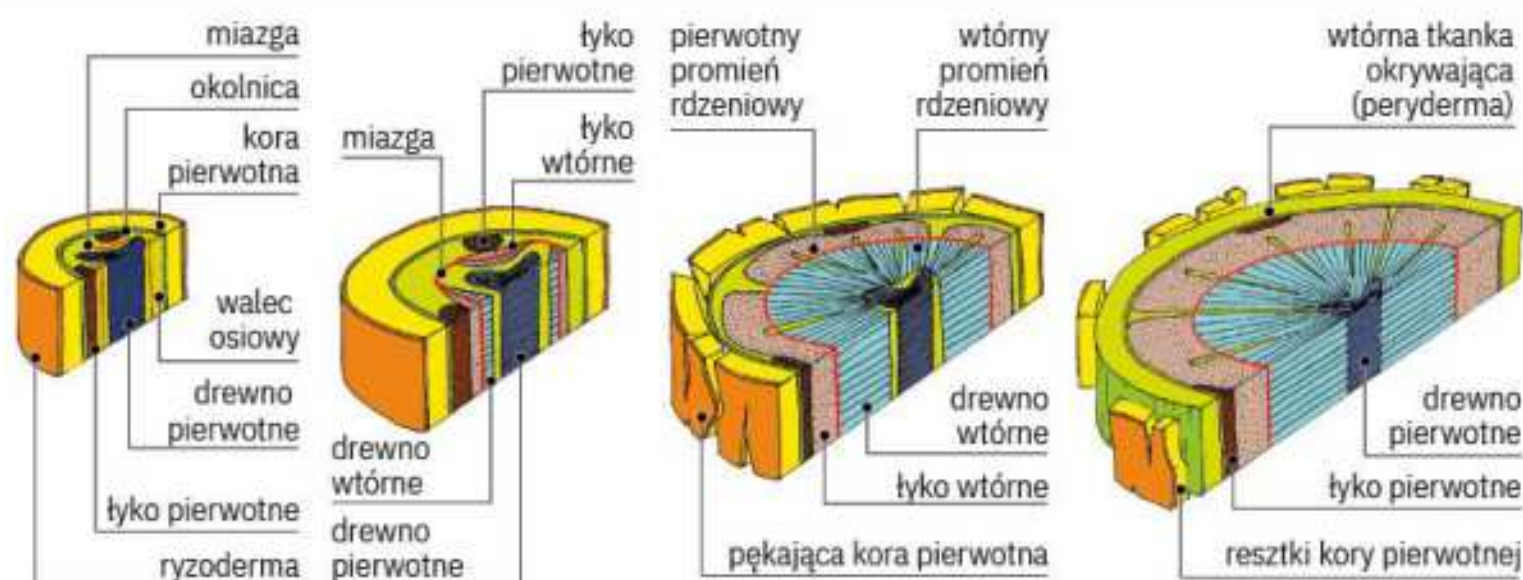
◀ budowa pierwotna korzenia

Budowa pierwotna korzenia to charakterystyczny układ tkanek wytworzony w wyniku aktywności merystemu wierzchołkowego korzenia (**ryc. VI.7.4.**). W budowie pierwotnej korzenia, zaczynając od najbardziej zewnętrznej warstwy, wyróżniamy: skórkę (ryzodermę), korę pierwotną oraz walec osiowy. **Ryzoderma** tworzy liczne włosniki. **Kora pierwotna** to gruba warstwa tkanki miękkiszowej. Najbardziej wewnętrzna pojedyncza warstwa komórek kory pierwotnej tworzy **endodermę** (śródkórnę), która umożliwia przenikanie wody i jonów z włosników przez korę pierwotną do tkanki przewodzącej. Centralną część korzenia zajmuje **walec osiowy** (stela). Jego najbardziej zewnętrzna warstwa, zwana **okolnicą** (peryklem), graniczy z endodermą. Jest utworzona z komórek miękkiszowych i odpowiada za tworzenie się korzeni bocznych. Wnętrze walca osiowego wypełnia tkanka miękkiszowa oraz tkanki przewodzące, które tworzą wiązki **łyka pierwotnego** oraz wiązki **drewna pierwotnego**. Wiązki łyka i drewna są ułożone naprzemiennie. Pierwotna budowa korzenia zachowuje się u roślin, w których korzeniach nie występuje przyrost na grubość, czyli u większości roślin zarodnikowych oraz u części okrytonasiennych.

Budowa wtórna korzenia

◀ budowa wtórna korzenia

Budowa wtórna korzenia jest efektem działania merystemów bocznych: kambium oraz fellogenu, które powstają z komórek walca osiowego. Ich obecność warunkuje przyrost korzenia na grubość. Kambium powstaje z komórek miękkiszowych znajdujących się między łykiem pierwotnym i drewnem pierwotnym oraz częściowo z okolnicy. Kambium mające kształt falistego pierścienia odkłada do wnętrza drewno wtórne, a na zewnątrz – łyko wtórne (**ryc. VI.7.4.**). W wyniku tego procesu



Ryc. VI.7.4. Budowa pierwotna i wtórna korzenia oraz etapy przyrostu korzenia na grubość.

korzeń znacznie zwiększa swój obwód, co w efekcie powoduje pękanie ryzodermi oraz leżącej pod nią kory pierwotnej. Fellogen korzenia pochodzi z komórek okolicy. W wyniku różnicowania fellogenu do wewnątrz tworzą się pasma miękiszu – fellodermi – a na zewnątrz – korek. Powstaje wtórna tkanka okrywająca, czyli

korkowica ► **korkowica** (peryderma).

Przekształcenia w budowie i funkcji korzeni

Większość roślin ma typowo wykształcone korzenie. U niektórych spotykamy korzenie o odmiennej strukturze, które pełnią nietypowe dla tego organu funkcje. Poniżej wymieniono najważniejsze przykłady **modyfikacji korzenia**.

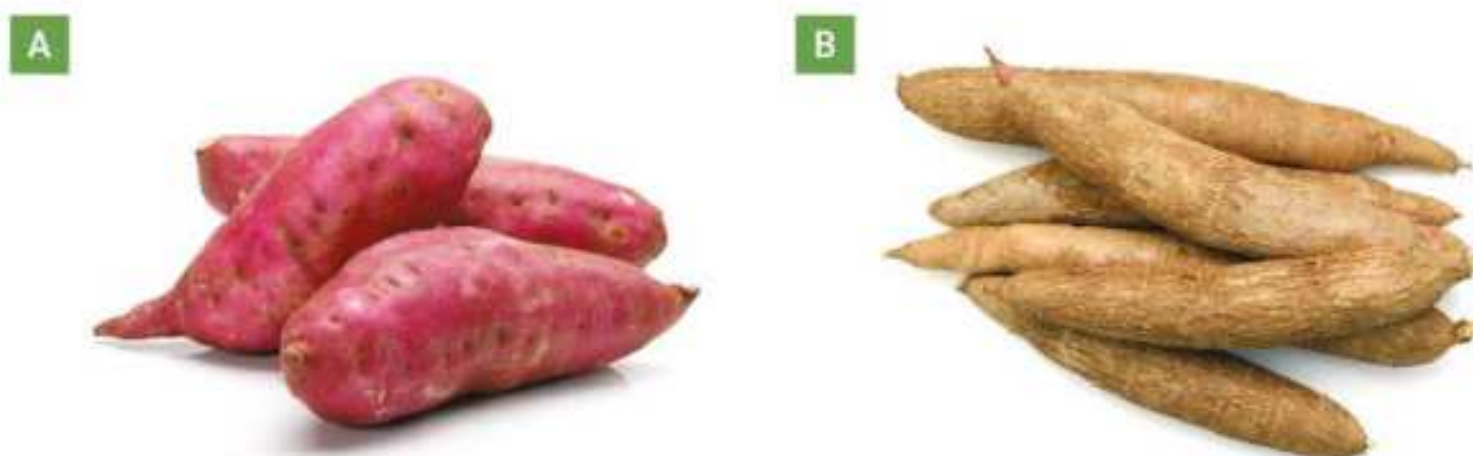
modyfikacje
korzeni

Główną funkcją **korzeni spichrzowych** jest magazynowanie substancji odżywczych, które umożliwiają roślinie przetrwanie zimy oraz rozwój organów nadziemnych wiosną. Korzenie te są grube i mięsiste na skutek znacznego rozrostu miękiszu w korze pierwotnej, tyku lub drewnie. Korzenie spichrzowe występują u roślin dwuletnich, np. marchwi, pietruszki, buraka, rzodkiewki (**ryc. VI.7.5.**).



Ryc. VI.7.5. Korzenie spichrzowe – przykłady.

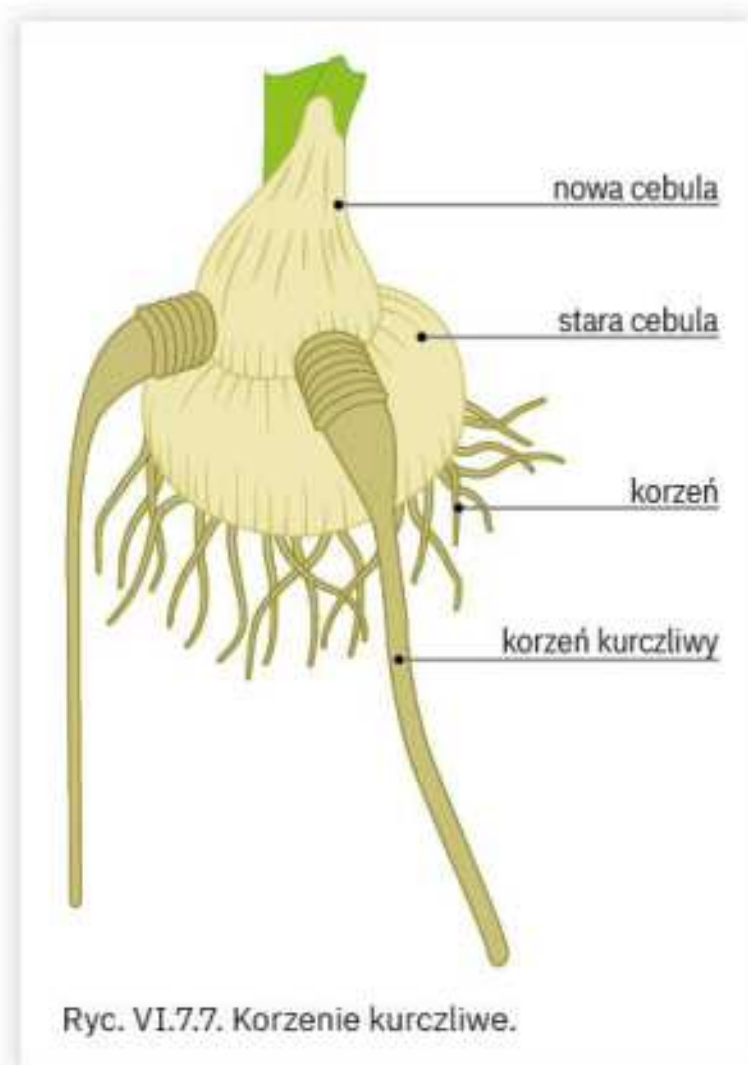
W organy spichrzowe mogą się przekształcać także korzenie boczne lub przybyszowe, tworząc tzw. bulwy korzeniowe (np. u dali, batatów czy manioku; **ryc. VI.7.6.**).



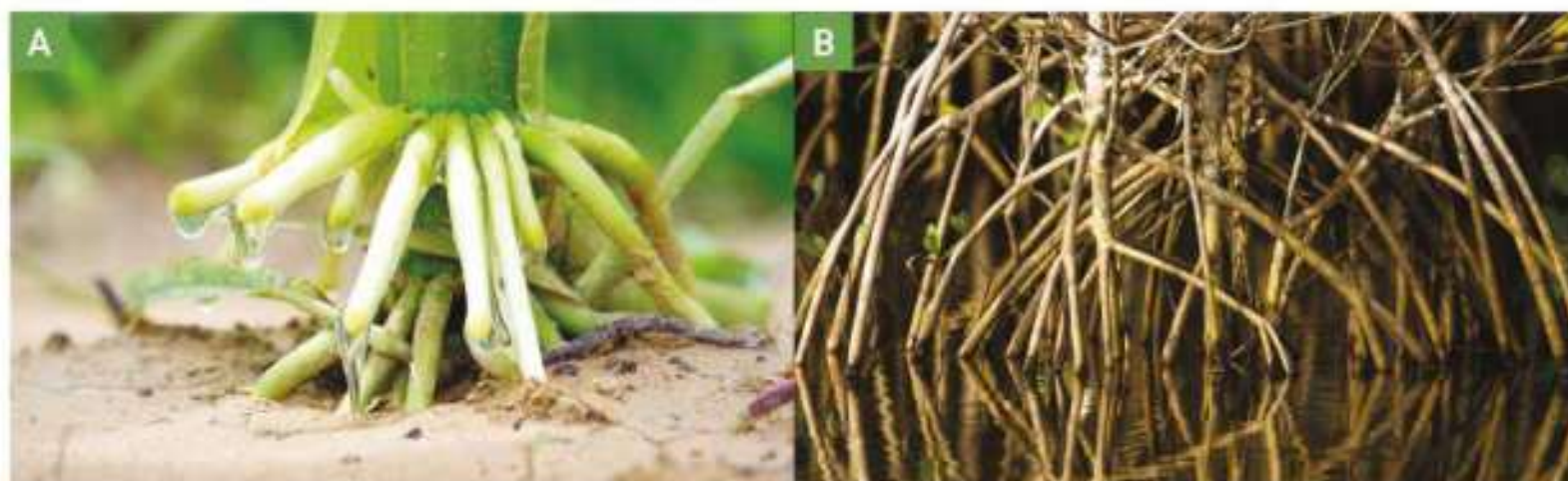
Ryc. VI.7.6. Bulwy korzeniowe występują np. u batatów (A) czy manioku (B).

Korzenie kurczliwe mogą skracać swoją górną część (w wyniku odwodnienia i obumierania komórek kory pierwotnej), co umożliwia wciąganie rośliny głębiej w glebę. Korzenie kurczliwe występują u roślin, których nasiona kielkują na powierzchni gleby, a pędy rosną pod ziemią (w postaci cebul lub kłączy), np. u lilii i krokusa.

Korzenie podporowe są charakterystyczne dla roślin terenów podmokłych, które mają wysokie pędy nadziemne i niezbyt głęboki system korzeniowy (rośliny tropikalnych lasów deszczowych lub lasów namorzynowych). To korzenie przybyszowe wyrastające na pewnej wysokości z łodygi i wnika-jące do gleby (pionowo lub ukośnie). Ich zadaniem jest dodatkowe stabilizowanie rośliny w podłożu. Korzenie podporowe spotykamy u kukurydzy, namorzynów (**ryc. VI.7.8.**), monstery, pandanów, figowców i niektórych palm. Odmianą korzeni podporowych są korzenie skarpowe występujące u drzew rosnących na terenach wilgotnych (np. wiąz szypułkowy, grab).



Ryc. VI.7.7. Korzenie kurczliwe.



Ryc. VI.7.8. Korzenie podporowe kukurydzy (A) i namorzynów (B).

Korzenie czepne. Zadaniem tych zmodyfikowanych korzeni jest „wspinanie” i przytwierdzanie rośliny do podpór, którymi często są pnienie, gałęzie drzew, ściany lub różnego rodzaju tyczki. Występują u epifitów i pnączy, np. u wanilii czy bluszczu (**ryc. VI.7.9.**).



Ryc. VI.7.9. Korzenie czepne bluszczu.



Ryc. VI.7.10. Korzenie powietrzne figowca.

Korzenie powietrzne zwisają swobodnie w dół i są pokryte skórą o specjalnej budowie, która umożliwia im pobieranie wody (lub pary wodnej) z powietrza. Czasami pełnią funkcje asymilujące. Korzenie powietrzne występują u epifitów, np. u storczyków oraz u figowca (**ryc. VI.7.10.**).

Korzenie oddechowe stanowią boczne odgałęzienia poziomych korzeni podziemnych. Wyrastają pionowo w górę ponad powierzchnię podłoża (nawet do 1,5 m)

i służą do pobierania tlenu. Są charakterystyczne dla roślin klimatu ciepłego, które występują na terenach niedotlenionych, tj. zabagnionych lub okresowo zalewanych przez wodę (np. cypryśnik błotny; **ryc. VI.7.11.**).

Korzenie pasożytów (ssawki) służą do czerpania wody z solami mineralnymi oraz niekiedy substancji pokarmowych z tkanek rośliny żywicielskiej. Występują u roślin pasożytniczych i półpasożytniczych (np. jemiola i kianiaka; **ryc. VI.7.12.**).



Ryc. VI.7.11. Korzenie oddechowe cypryśnika błotnego.



Ryc. VI.7.12. Pasożytnicza kianiaka wytwarza ssawki, którymi czerpie związki odżywcze z rośliny – żywiciela.

Obserwacja

Obserwacja mikroskopowa budowy pierwotnej korzenia rośliny dwuliściennej

Materiał: preparat trwały, barwiony ze strefy włośnikowej korzenia rośliny dwuliściennej (np. bobu)

Przeprowadzenie obserwacji: Na preparacie korzenia zidentyfikuj charakterystyczne dla niego tkanki (ryzodermę wraz z włosnikami, korę pierwotną, walec osiowy).

Wykonanie rysunku: Wykonaj w zeszycie schematyczny rysunek i opisz wszystkie widoczne elementy.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wymień wegetatywne i generatywne organy roślinne.
2. Podaj cztery funkcje korzenia.
3. Wykonaj w zeszycie schematyczny rysunek systemów korzeniowych: palowego i wiązkowego.
4. Scharakteryzuj trzy wybrane modyfikacje korzenia.



PODSUMOWANIE LEKCJI

- Organy roślinne dzielimy na **wegetatywne** (korzeń, łodyga, liście) i **generatywne** (kwiaty, nasiona, owoce). ◀ s. 169
- Głównymi **funkcjami korzenia** są: pobieranie wody i soli mineralnych z podłoża oraz utrzymywanie rośliny w podłożu. ◀ s. 169
- U roślin lądowych występują **dwa typy systemów korzeniowych**: wiązkowy (np. u traw) i palowy (np. u mniszka lekarskiego). ◀ s. 170
- W budowie morfologicznej korzenia wyróżniamy następujące **strefy**: wierzchołkową (stożek wzrostu), wydłużenia, włośnikową oraz korzeni bocznych. ◀ s. 170
- **Budowa pierwotna korzenia** to układ tkanek wytworzony w wyniku aktywności merystemu wierzchołkowego korzenia, który obejmuje: ryzodermę (z włośnikami), korę pierwotną (tkanka mięsistowa) i walec osiowy (wiązki łyka i drewna pierwotnego). ◀ s. 171
- **Budowa wtórna korzenia** jest wynikiem aktywności merystemów bocznych: kambium i fellogenu, które warunkują przyrost korzenia na grubość. ◀ s. 171
- **Kambium** odkłada do wnętrza drewno wtórne, a na zewnątrz – łyko wtórne. W wyniku różnicowania fellogenu powstaje tkanka okrywająca, czyli korkowica (periderma). ◀ s. 140
- Do najważniejszych **modyfikacji korzenia** należą: korzenie spichrzowe (np. marchew, rzodkiewka), kurczliwe (np. lilia), podporowe (np. kukurydza), czepne (np. bluszcz), powietrzne (np. figowiec), oddechowe (np. cypryśnik błotny) i ssawki pasożytów (np. kania). ◀ s. 172

8. Organy wegetatywne roślin – łodyga

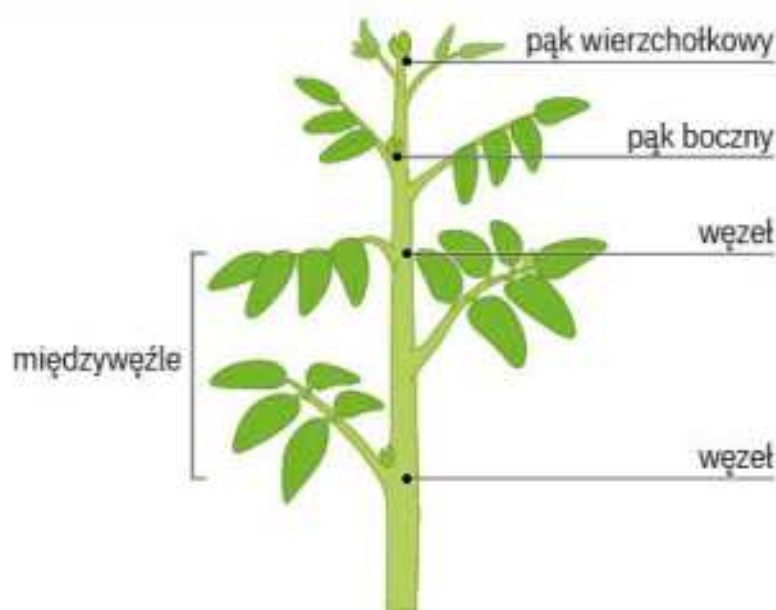
NA TEJ LEKCJI:

- przeanalizujesz budowę morfologiczną łodygi;
- dowiesz się, jakie funkcje pełni łodyga;
- poznasz budowę anatomiczną pierwotną i wtórną łodygi;
- uzyskasz informacje o modyfikacji budowy i funkcji łodygi.

Łodyga to nadziemny organ wegetatywny, który wraz z osadzonymi na nim liśćmi tworzy **pęd** (ryc. VI.8.1.). Miejsca na łodydze, z których wyrastają liście, są czę-

◀ łodyga

pąki ▶



Ryc. VI.8.1. Budowa morfologiczna łodygi.

sto zgrubiałe i naszą nazwę **węzłów**. Odstępy między kolejnymi węzłami to **międzywęźla**. Przyrost rośliny na długość oraz jej boczne rozgałęzienia warunkują **pąki**. Zlokalizowany na szczycie łodygi **pąk wierzchołkowy** umożliwia wzrost rośliny na długość, a pąki boczne (najczęściej w kątach liści) wytwarzają boczne odgałęzienia (ryc. VI.8.1.). Na przekroju podłużnym łodygi, podobnie jak w przypadku

strefowość łodygi ▶

korzenia, można wyróżnić kilka stref. Szczyt łodygi osłonięty młodymi liśćmi tworzy strefę wierzchołkową – tu znajduje się pąk wierzchołkowy wraz ze stożkiem wzrostu. Strefa wydłużania to miejsce intensywnego wzrostu łodygi na długość. Strefa różnicowania obejmuje obszar z w pełni wykształconymi tkankami stałymi (skórką i tkankami przewodzącymi). Łodygi dzielimy na zielne i zdrewniałe. Łodygi zielne występują tylko przez jeden sezon wegetacyjny. Są delikatne i soczyste. Łodygi zdrewniałe mają znaczną grubość i są trwałe.

funkcje łodygi ▶

Głównymi funkcjami łodygi są:

- utrzymywanie liści, a także – u niektórych roślin – kwiatów i owoców;
- przewodzenie wody i soli mineralnych z korzenia do liści, kwiatów i owoców oraz substancji pokarmowych wytworzonych w procesie fotosyntezy z liści do korzenia i innych części rośliny.

budowa pierwotna łodygi ▶

Budowa pierwotna łodygi

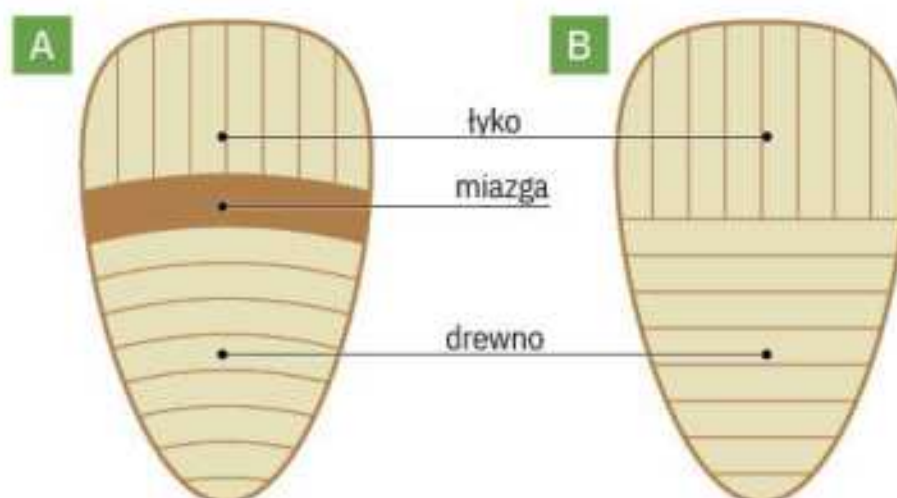
Budowa pierwotna łodygi występuje u roślin jednorocznych oraz w jednorocznych łodygach roślin wieloletnich. W budowie pierwotnej łodygi, będącej efektem działania stożku wzrostu, wyróżniamy: skórkę, korę pierwotną oraz walec osiowy.

Cienka **skórka** łodygi (**epiderma**) zawiera liczne aparaty szparkowe, które biorą udział w wymianie gazowej. Leżąca pod nią kora pierwotna jest cieńsza niż w korzeniu. Tworzą ją komórki miękkiszowe, z których te graniczące ze skórką mogą zawierać chloroplasty (dlatego młode łodygi są zielone). Między komórkami kory pierwotnej mogą występować pasma sklerenchymy i kolenchymy oraz komórki wydzielnicze. Walec osiowy to wewnętrzna część łodygi, która graniczy bezpośrednio z korą pierwotną (okolnica i endoderma nie występują u większości roślin nasiennej). Zasadniczymi składnikami walca osiowego są tkanki przewodzące – tylko pierwotne i drewno pierwotne. Układ drewna i łyka w walcu osiowym łodygi jest zwykle naprzeciwległy (w korzeniu naprzemianległy). łyko znajduje się w części zewnętrznej, tj. graniczącej z korą pierwotną, a drewno w części wewnętrznej. Jeśli

naprzeciwległy układ wiązek ▶

między łykiem a drewnem wykształca się kambium, to jest to **wiązka otwarta**. Wiazki niezawierające kambium nazywamy **zamkniętymi** (ryc. VI.8.2.). Wiazki otwarte występują u roślin wykazujących wtórny przyrost na grubość, tj. nagozależkowych i dwuliściennych okrytozależkowych. Wiazki zamknięte występują u jednoliściennych, u których brak jest wtórnego przyrostu na grubość.

wiązka zamknięta i otwarta



Ryc. VI.8.2. Rodzaje wiązek przewodzących: (A) otwarta, (B) zamknięta.

Budowa wtórna łodygi

wtórna budowa łodygi

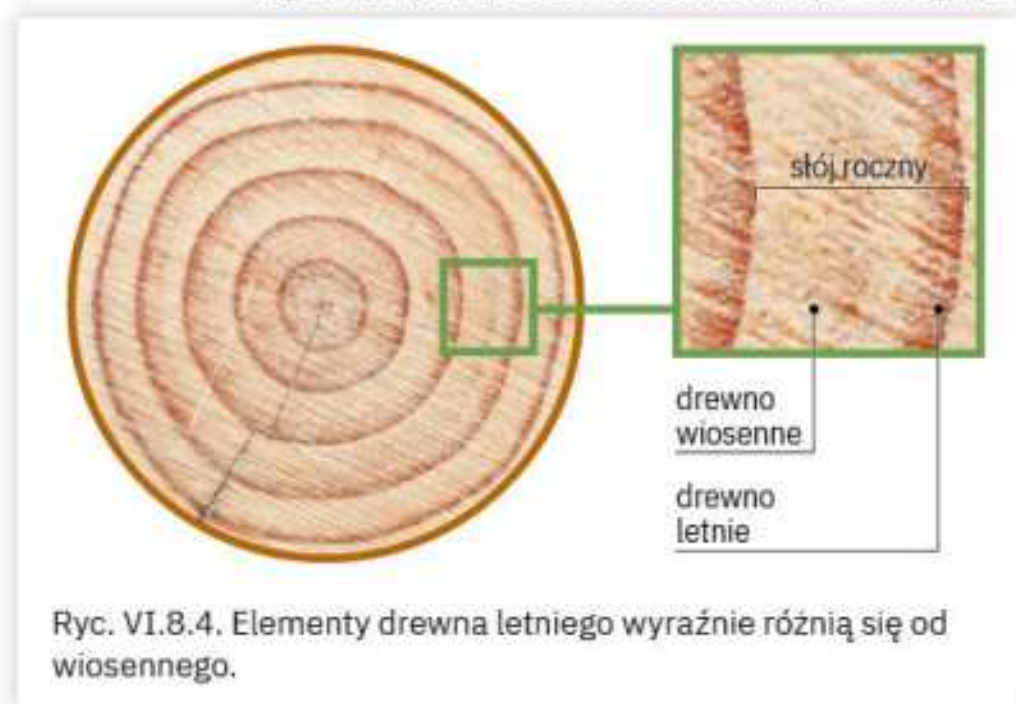
W wyniku działania merystemów bocznych – kambium i fellogenu – łodyga przyrasta na grubość i uzyskuje wtórną budowę. U roślin zielnych przyrost wtórny na grubość jest nieznaczny lub w ogóle nie zachodzi. Natomiast przyrost na dużą skalę odbywa się u dużych, wieloletnich form drzewiastych, prowadząc do powstania grubych i silnych pni.

Przyrost na grubość inicjowany jest aktywnością **kambium wiązkowego** (leżącego w obrębie wiązek przewodzących) oraz **kambium międzywiązkowego**, które łączą się ze sobą w ciągły cylinder. Intensywnie dzielące się komórki kambium prowadzą do odkładania się wtórnych tkanek przewodzących: do środka drewna wtórnego, a na zewnątrz – łyka wtórnego (ryc. VI.8.3.). W trakcie przyrostu wtórnego wiązkowy układ tkanek przewodzących zostaje zastąpiony przez układ cylindryczny tkanek wtórnych.



Ryc. VI.8.3. Budowa pierwotna łodygi i etapy przyrostu łodygi na grubość.

W naszym klimacie aktywność kambium zależy od pór roku – trwa wiosną i latem, natomiast ustaje w okresie jesienno-zimowym. Elementy przewodzące drewna wiosennego różnią się od elementów drewna letniego (są jaśniejsze, mają większą średnicę i cieńsze ściany). Warstwy drewna tworzą **pierścienie przyrostów rocznych** (słoje), dobrze widoczne na przekroju poprzecznym łodygi. Pierścień przyrostu jednorocznego składa się zatem z jasnego pasma drewna wiosennego oraz z ciemniejszego drewna letniego (**ryc. VI.8.4.**). Przyrost na grubość w łodydze obejmuje także powstawanie wtórnej tkanki okrywającej – **korkowicy (perydermy)**. Jest ona wynikiem aktywności fellogenu, który najczęściej tworzy się z komórek kory pierwotnej.



Ryc. VI.8.4. Elementy drewna letniego wyraźnie różnią się od wiosennego.

Przekształcenia budowy łodygi

modyfikacje
budowy łodygi

Podobnie jak korzenie, również łodygi mogą być wykształcone w nietypowy sposób i pełnić specyficzne funkcje. Do najważniejszych **modyfikacji łodygi** należą: kłącza, rozłogi, bulwy pędowe, ciernie i wąsy.

Kłącza to podziemne łodygi, których wzrost jest nieograniczony. Pełnią funkcje spi-chrzowe i przetrwalnikowe oraz służą do rozmnażania wegetatywnego. Występują u imbiru, kurkumy (**ryc. VI.8.5.**), rabarbaru, konwalii czy perzu.

Rozłogi są płożącymi się odgałęzieniami dolnej części nadziemnego pędu, które rosną nad lub pod ziemią. Służą do rozmnażania wegetatywnego. Występują np. u truskawki i poziomki (**ryc. VI.8.6.**).



Ryc. VI.8.5. Kłącze kurkumy.



Ryc. VI.8.6. Rozłogi truskawki.

Bulwy pędowe to krótkie i zgrubiałe podziemne pędy o ograniczonym wzroście (zwykle jeden sezon wegetacyjny). Pełnią funkcje spichrzowe i przetrwalnikowe oraz służą do rozmnażania wegetatywnego. Występują m.in. u ziemniaka (ryc. VI.8.7.), szafranu czy słonecznika.



Ryc. VI.8.7. Bulwy pędowe ziemniaka.

Ciernie pędowe są sztywnymi, zaostrozonymi i zdrewniałymi odgałęzieniami bocznymi łodygi. Stanowią mechaniczną obronę przed roślinożercami. Występują np. u śliwy tarniny (ryc. VI.8.8.).



Ryc. VI.8.8. Śliwa tarnina – ciernie.

Wąsy pędowe to organy czepne, rozgałęzione lub nierozgałęzione. Są wrażliwe na dotyk i pod wpływem bodźca mechanicznego owijają się wokół podpory. Występują np. u winorośli (ryc. VI.8.9.).



Ryc. VI.8.9. Wąg czepny u winorośli.

88 Obserwacja

Obserwacja mikroskopowa budowy łodygi rośliny jednoliściennej i dwuliściennej

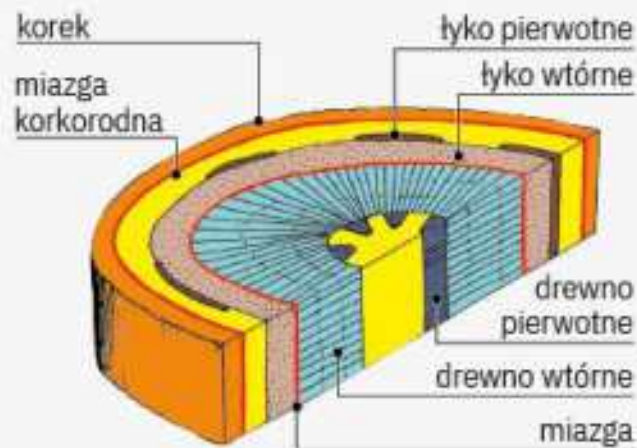
Materiał: preparaty trwałe, barwione przekroju poprzecznego łodygi rośliny jednoliściennej (np. kukurydzy) i dwuliściennej (np. bobu)

Przeprowadzenie obserwacji: Na preparatach przekroju poprzecznego łodyg zidentyfikuj charakterystyczne dla nich tkanki i porównaj ich budowę.

Wykonanie rysunku: Wykonaj w zeszycie schematyczne rysunki i opisz wszystkie widoczne elementy.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wymień główne funkcje łodygi.
2. Scharakteryzuj w zeszycie budowę pierwotną łodygi.
3. Wyjaśnij, na czym polega różnica między wiązkami otwartymi i zamkniętymi.
4. Uzasadnij, czy przedstawiona na schemacie budowa łodygi jest budową pierwotną, czy wtórną.



5. Wymień w zeszycie trzy przykłady przekształceń budowy łodygi i podaj przykład ich występowania.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- s. 175 ▶ • **Łodyga** to nadziemny organ wegetatywny, który wraz z liśćmi tworzy pęd.
- s. 176 ▶ • Na szczycie łodygi jest zlokalizowany **merystem (pąk) wierzchołkowy**, który umożliwia wzrost rośliny na długość.
- s. 176 ▶ • W budowie morfologicznej łodygi wyróżniamy **strefy**: wierzchołkową, wydłużania i różnicowania.
- s. 176 ▶ • **Funkcjami łodygi są**: utrzymywanie liści, kwiatów i owoców oraz przewodzenie wody z solami mineralnymi i produktów fotosyntezy.
- s. 176 ▶ • W **budowie pierwotnej łodygi** wyróżniamy skórkę, korę pierwotną oraz walec osiowy.
- s. 176 ▶ • W łodydze układ drewna pierwotnego i łyka pierwotnego jest zwykle **naprzeciwległy** (łyko na zewnątrz, a drewno wewnątrz).
- s. 177 ▶ • Wiązka otwarta między łykiem a drewnem zawiera warstwę **kambium** i występuje u roślin wykazujących wtórny przyrost na grubość. Wiązka zamknięta nie zawiera kambium.
- s. 177 ▶ • **Wtórna budowa łodygi** jest wynikiem aktywności kambium i fellogenu – kambium wiązkowe odkłada do środka drewno wtórne, a na zewnątrz – łyko wtórne. W wyniku działania fellogenu powstaje korkowica.
- s. 178 ▶ • Do najważniejszych **modyfikacji łodygi** należą: kłącza (np. u kurkumy), rozłogi (np. u truskawki), bulwy pędowe (np. u ziemniaka), ciernie pędowe (np. u śliwy tarniny) i wąsy pędowe (np. u winorośli).

9. Organy wegetatywne roślin – liście

NA TEJ LEKCJI:

- zapoznasz się z funkcjami liści;
- dowiesz się, jakie wyróżnia się rodzaje liści i ulistnienia;
- przeanalizujesz budowę morfologiczną liścia;
- prześledzisz podział liści na pojedyncze i złożone oraz typy nerwacji liści;
- poznasz budowę anatomiczną liści roślin okrytozalążkowych i nagozalążkowych;
- uzyskasz informacje o modyfikacjach budowy i funkcji liści.

Liście są częścią pędu i **pełnią następujące funkcje**:

◀ funkcje liści

- są miejscem zachodzenia fotosyntezy, w czasie której powstają substancje odżywcze;
- biorą udział w transpiracji, czyli w procesie parowania wody z rośliny;
- uczestniczą w wymianie gazowej;
- niekiedy stanowią organy wegetatywnego rozmnażania.

Liście powstają w wyniku aktywności merystemu wierzchołkowego. Są organami o ograniczonym wzroście – po osiągnięciu ostatecznego kształtu i rozmiaru przestają się dalej rozwijać. Liście można podzielić na **mikrofile** oraz **makrofile**. Mikrofile to prymitywne, łuskowate liście spotykane u roślin zarodnikowych (np. widłaków). Makrofile to duże, w pełni wykształcone liście spotykane u większości liści naczyniowych. U roślin nasiennych występują **liścienie** (liście zarodkowe), czyli pierwsze liście powstające w zarodku, które pełnią funkcje spichrzowe.

◀ mikro- i makrofile

Sposób ułożenia wszystkich liści na łodydze nazywamy **ulistnieniem**, co stanowi ważną cechę taksonomiczną. Wyróżniamy następujące typy ulistnienia (**ryc. VI.9.1.**):

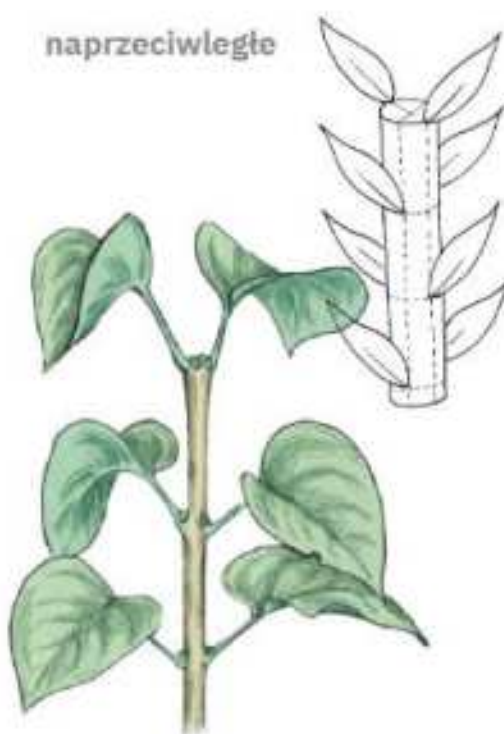
◀ ulistnienie

- skrętoległe (np. grusza pospolita),
- naprzeciwległe (np. bez czarny),
- naprzemianległe (np. wiechlina łąkowa),
- nakrzyżległe (np. pokrzywa zwyczajna),
- okótkowe (np. marzanka wonna).

naprzemianległe



naprzeciwległe



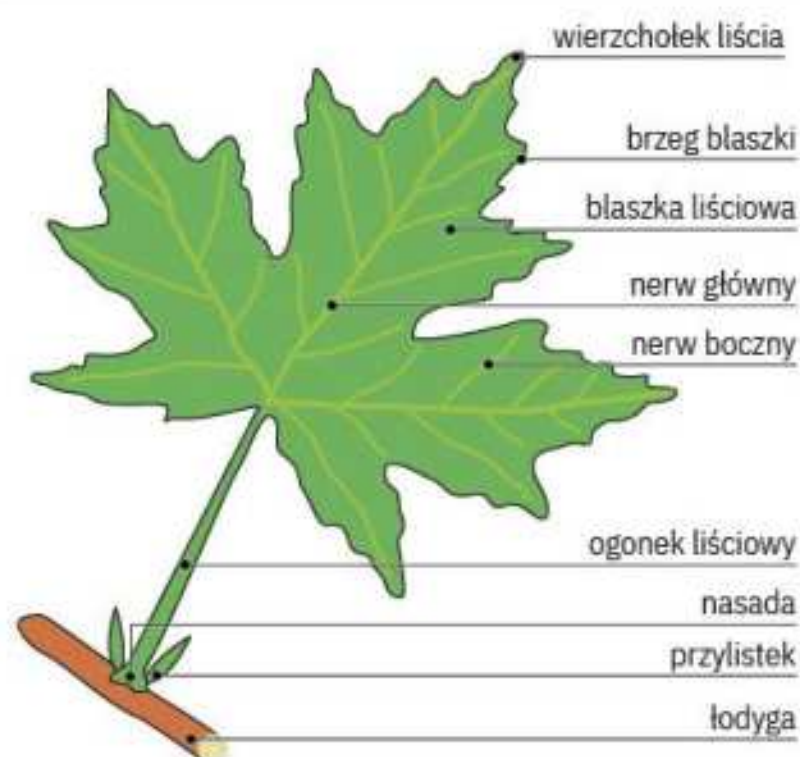
okółkowe



Ryc. VI.9.1. Wybrane typy ulistnienia.

budowa
morfologiczna
liścia

► Budowa morfologiczna liścia



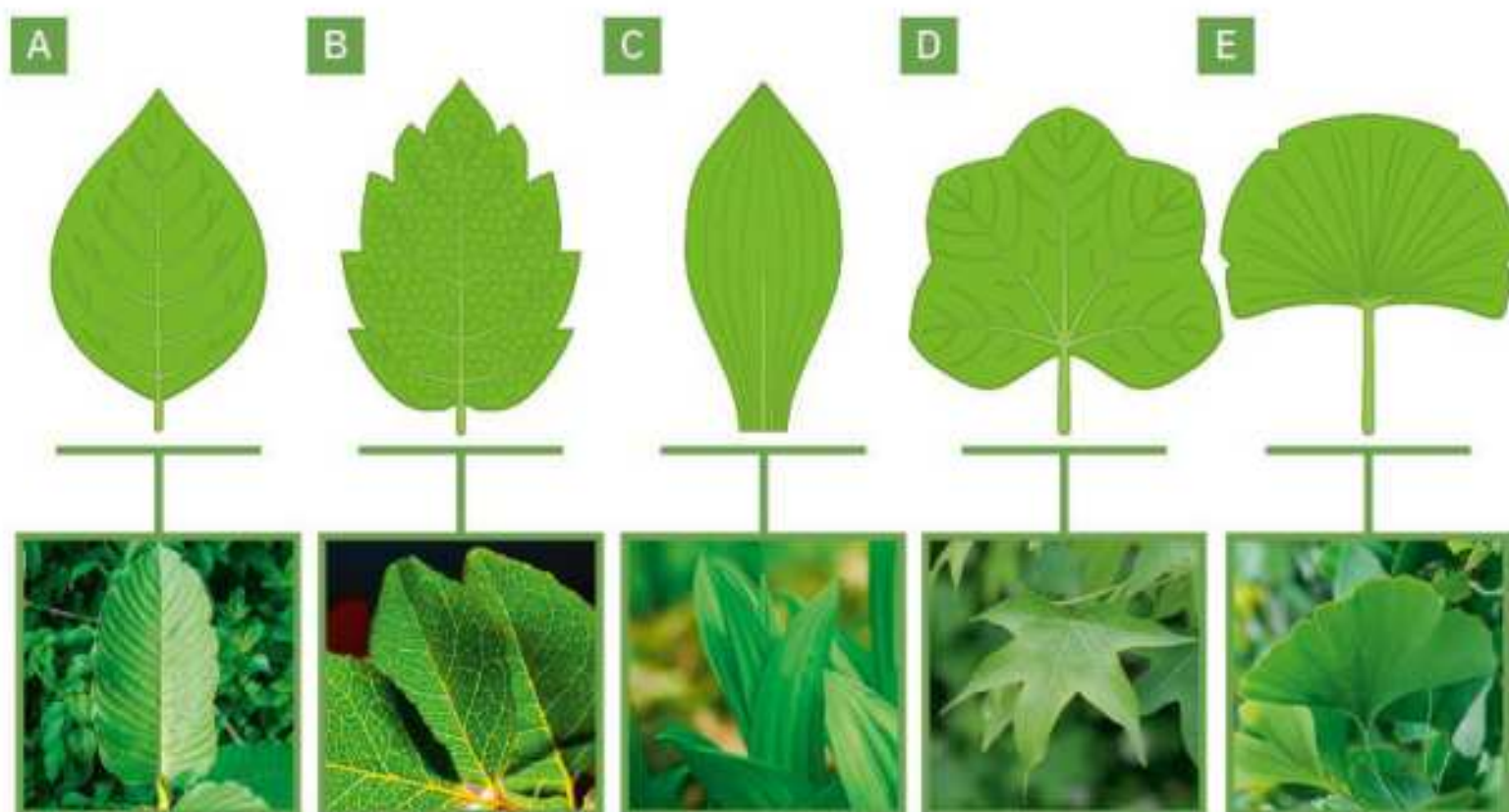
Ryc. VI.9.2. Budowa morfologiczna liścia.

W budowie morfologicznej typowego liścia rośliny okrytonasiennej wyróżniamy blaszkę liściową, ogonek i nasadę. **Blaszka liściowa** jest najczęściej płaska i cienka, co zwiększa jej powierzchnię i zapewnia optymalne wykorzystanie światła słonecznego (ryc. VI.9.2.).

W obrębie blaszki przebiega system wiązek przewodzących, który tworzy **nerwację liścia**. Występują różne wzory nerwacji, co zależy od przynależności systematycznej.

nerwacja liścia ►

U roślin dwuliściennych nerwacja jest najczęściej pierzasta lub dłoniasta, a u jednoliściennych – równoległa (ryc. VI.9.3.). **Ogonek liściowy** stanowi łącznik między blaszką liściową a nasadą. Dodatkowo zapewnia odpowiednie położenie liścia względem padającego światła. U niektórych gatunków występują tzw. **liście siedzące**, u których blaszka łączy się bezpośrednio z nasadą. **Nasada liścia** jest najczęściej płaska i rozszerzona, łączy liść z łodygą.



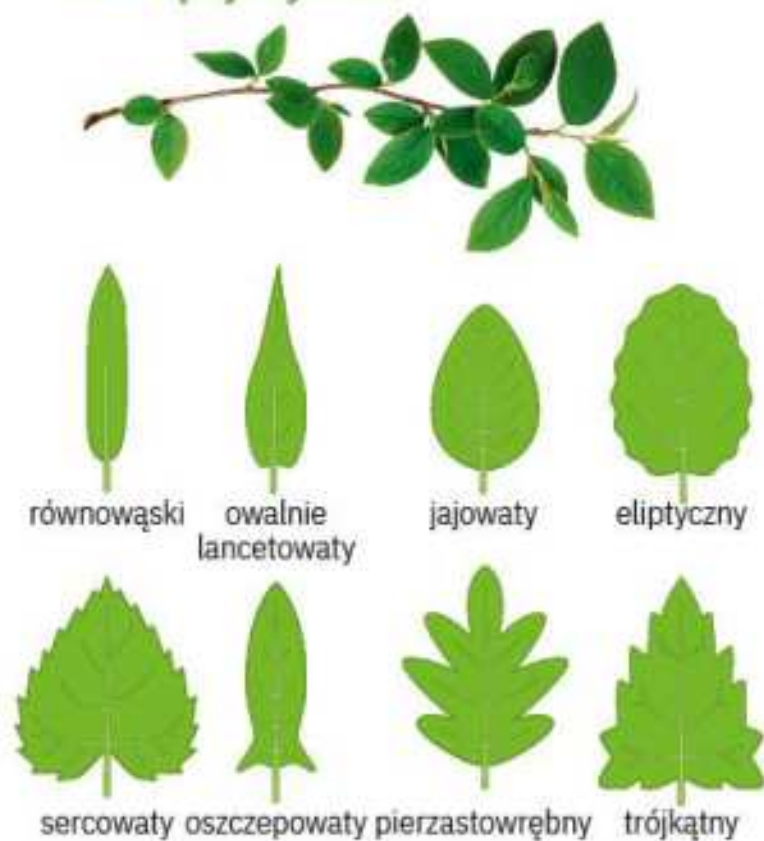
Ryc. VI.9.3. Nerwacja liścia: (A) pierzasta, (B) siatkowata, (C) równoległa, (D) dłoniasta, (E) wachlarzowata.

Różnorodność morfologiczna liści

Liście są organem bardzo zróżnicowanym (ryc. VI.9.4).

◀ podział liści

Liście pojedyncze

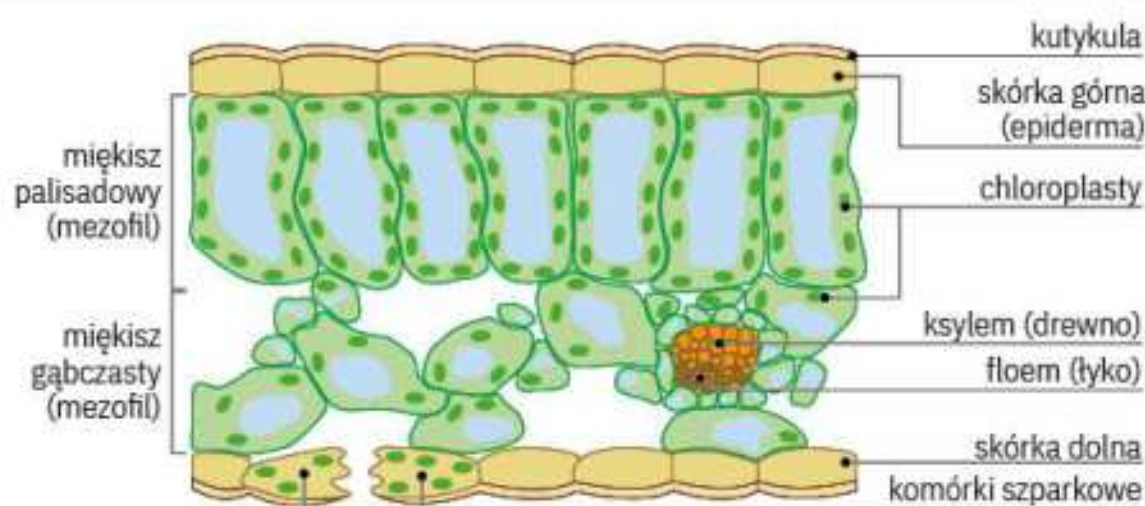


Liście złożone



Ryc. VI.9.4. Rodzaje liści.

► Budowa anatomiczna liścia

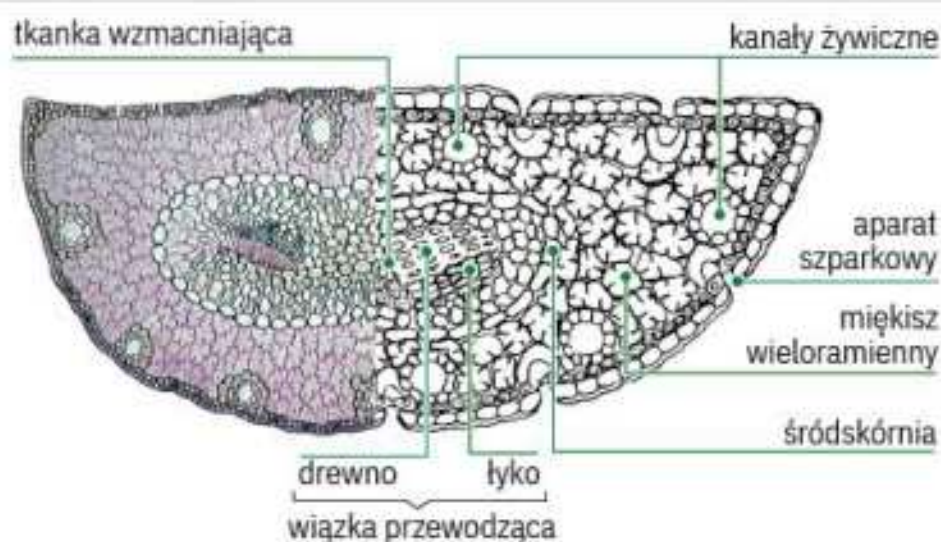


Ryc. VI.9.5. Budowa anatomiczna liścia.

Anatomiczna budowa liścia jest wynikiem specjalizacji tego organu w przeprowadzaniu procesu fotosyntezy. Liść budują trzy tkanki: okrywająca, miękiszowa i przewodząca (drewno i łyko).

Skórka (epiderma) to najbardziej zewnętrzna warstwa liścia. Zbudowana jest przeważnie z pojedynczej warstwy żywych komórek, które mają nieregularne zgrubienia w ścianach komórkowych. Skórkę pokrywa nieprzepuszczalna dla wody i gazów **kutykula**. Wymiana gazowa odbywa się za pośrednictwem zlokalizowanych w skórcie aparatów szparkowych. U roślin lądowych aparaty szparkowe występują najczęściej w skórcie dolnej powierzchni blaszki liściowej. Między dolną a górną skórą blaszki liściowej znajduje się miękisz asymilacyjny. U roślin dwuliściennych miękisz asymilacyjny występuje w dwóch formach: jako palisadowy (zwarty, bez przestrzeni międzykomórkowych) oraz gąbczasty (zbudowany z luźno ułożonych komórek, z dużymi przestworami komórkowymi). Miękisz asymilacyjny palisadowy znajduje się pod powierzchnią górnej skórki, a gąbczasty zajmuje dolną część liścia (**ryc. VI.9.5.**). Wewnątrz warstwy miękiszowej przebiegają wiązki przewodzące, które tworzą nerwicę liścia. Wiązki przewodzące transportują wodę z solami mineralnymi oraz substancje organiczne. Dodatkowo stanowią rusztowanie blaszki liściowej.

liście szpilkowe ► Nieco odmienną budowę anatomiczną mają liście roślin iglastych, zwane **szpilkami** lub igłami. Są one wielosezonowe, mają silnie zredukowaną powierzchnię, a ich budowa jest odzwierciedleniem adaptacji do warunków niedoboru wody. Komórki



Ryc. VI.9.6. Budowa liścia rośliny szpilkowej.

skórki pokrywające szpilki są grubościennymi i silnie skutykizowanymi, a dodatkowo pokryte warstwą wosku. Aparaty szparkowe są zlokalizowane w specjalnych zagłębieniach skórki, co ogranicza transpirację. Pod skórą znajduje się warstwa sklerenchymy, a pod nią wieloramienny miękisz asymilacyjny (**ryc. VI.9.6.**). W centralnej części liścia biegną wiązki przewodzące otoczone specjalną **tkanką transfuzyjną**, która pośredniczy

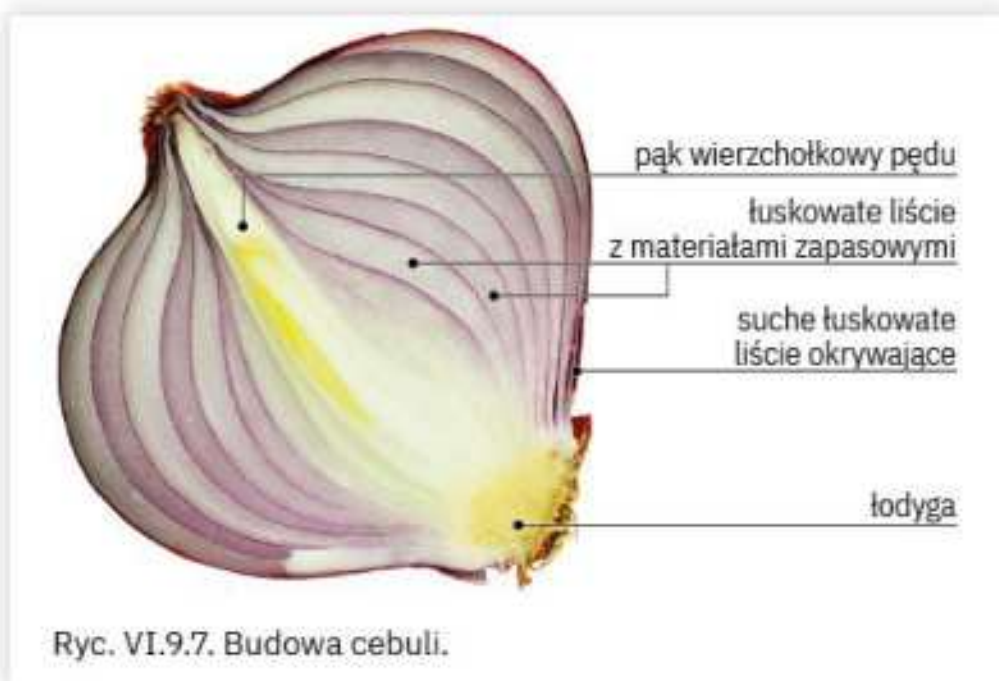
w transporcie wody i substancji organicznych między miękiszem asymilacyjnym a wiązkami przewodzącymi. Wzdłuż liścia szpilkowego, w miękiszu asymilacyjnym, przebiegają kanały żywiczne otoczone włóknami sklerenchymatycznymi.

Przekształcenia liści

przekształcenia liści

Liście niektórych gatunków roślin ulegają modyfikacjom strukturalno-funkcyjnym. Do najważniejszych przekształceń należą: cebule, liście pułapkowe, ciernie, liściaki, liście spichrzowe oraz liście czepne.

Cebula to podziemny organ powstały z przekształcenia liści, który pełni funkcje spichrzowe i przetrwalnikowe, a u niektórych roślin (np. tulipan) jest także organem rozmnażania wegetatywnego. U cebul łodyga jest silnie zredukowana i tworzy tzw. **piętkę**. Na niej są osadzone grube i mięsiste liście. Występują one np. u czosnku (ryc. VI.9.7.).



Liście pułapkowe są wyspecjalizowane w chwytaniu i trawieniu drobnych zwierząt, głównie owadów, które stanowią źródło azotu. Występują u roślin owadożer-nych, np. rosiczki, dzbanecznika (ryc. VI.9.8.B) czy muchotłówki (ryc. VI.9.8.A).



Ciernie liściowe są silnie zdrewniałymi, ostrymi i zredukowanymi liśćmi, w których wnętrzu znajdują się wiązki przewodzące. Pełnią funkcję elementów obronnych. Występują np. u opuncji, berberysu i kaktusów (ryc. VI.9.9.).

Liściaki. Stanowią spłaszczone ogonki liściowe, które przejmują funkcje asymilacyjne od silnie zredukowanych blaszek liściowych. Występują u roślin zajmujących suche siedliska, np. akacji (ryc. VI.9.10.).



Ryc. VI.9.9. Ciernie kaktusa.



Ryc. VI.9.10. Liściaki u akacji.

Liście spichrzowe to grube i mięsiste liście pełniące funkcje spichrzowe. Występują np. u kapusty (**ryc. VI. 9.11.**).

Wąsy liściowe są liśćmi przekształconymi w organy czepne, za pomocą których roślina owija się wokół podpór. Występują np. u grochu (**ryc. VI.9.12.**).



Ryc. VI.9.11. Liście spichrzowe kapusty.



Ryc. VI.9.12. Wąsy liściowe.

Obserwacja

Obserwacja mikroskopowa budowy anatomicznej liścia rośliny dwuliściennej

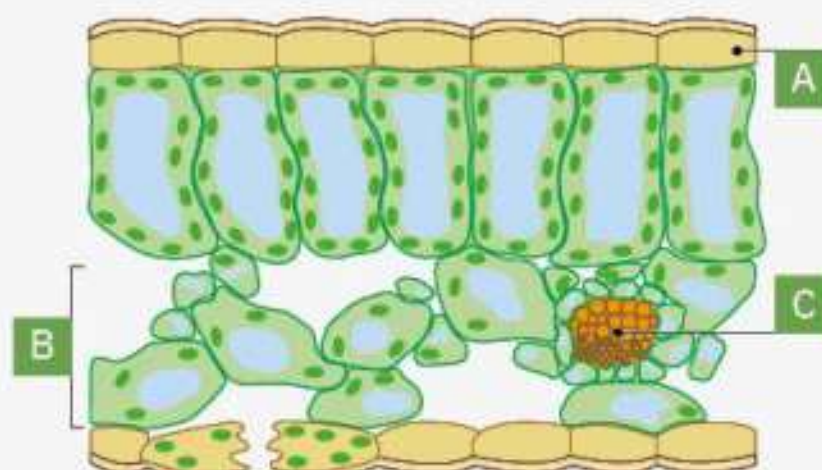
Materiał: barwiony preparat trwały przekroju poprzecznego liścia rośliny dwuliściennej (np. jabłoni)

Przeprowadzenie obserwacji: Na preparacie przekroju poprzecznego liścia zidentyfikuj charakterystyczne dla niego tkanki.

Wykonanie rysunku: Wykonaj w zeszycie schematyczny rysunek i opisz wszystkie widoczne elementy.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wymień w zeszycie główne funkcje liści.
2. Podaj, jaki typ ulistnienia występuje u gatunku przedstawionego na zdjęciu.
3. Wymień najważniejsze różnice w budowie anatomicznej liścia rośliny okrytozalążkowej oraz liścia szpilkowego.
4. Napisz w zeszycie, jakie elementy budowy anatomicznej liścia oznaczono literami A, B i C.



5. Zapisz w zeszycie, jakie modyfikacje liści występują u poniższych gatunków roślin i określ funkcję każdej z nich.

czosnek – ... rosiczka – ... berberys – ... fasola – ...

PODSUMOWANIE LEKCJI

- **Głównymi funkcjami liści są** przeprowadzanie fotosyntezy oraz udział w transpiracji i wymianie gazowej. ◀ s. 181
- Liście powstają w wyniku aktywności merystemu wierzchołkowego; dzielimy je na **mikrofile** (luskowate liście zarodnikowych) oraz **makrofile** (duże, w pełni wykształcone liście roślin naczyniowych). ◀ s. 181
- **Ulistnienie** to sposób ułożenia wszystkich liści na łodydze (np. skrętoległe, naprzeciwległe, okółkowe). ◀ s. 181
- W **budowie morfologicznej liścia** wyróżniamy blaszkę liściową, ogonek oraz nasadę. ◀ s. 182
- **Nerwację liścia** tworzy system wiązek przewodzących (np. dłoniasta, pierzasta, równoległa). ◀ s. 182
- **Liście dzielimy na pojedyncze** (m.in. równowąskie, jajowate, wrębne) oraz złożone (m.in. dłoniaste, pierzaste). ◀ s. 183
- W **budowie anatomicznej liścia** wyróżniamy następujące tkanki: okrywającą (pokrytą kutykulą, zawierającą aparaty szparkowe), miękiszową (mięksisz palisadowy i gąbczasty) oraz przewodzącą. ◀ s. 184
- **Liście szpilkowe** mają zredukowaną powierzchnię i odznaczają się przystosowaniem do warunków niedoboru wody (grubościenne komórki epidermy, aparaty szparkowe w zagłębieniach, wieloramienny miękisz asymilacyjny, tkanki przewodzące otoczone tkanką transfuzyjną). ◀ s. 184
- Do najważniejszych **przekształceń liści** należą: cebule (np. czosnek, cebula), liście pulapkowe (np. rosiczka, mucholówka), ciernie liściowe (np. u kaktusów), liściaki (np. u akacji) i wąsy liściowe (np. u grochu). ◀ s. 185

10. Nagozalążkowe – rośliny nasienne z nieosłoniętym zalążkiem

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz różnice między zarodnikami a nasionami;
- uzyskasz informacje o cechach wyróżniających rośliny nasienne;
- dowiesz się, czym się różnią rośliny nagonasienne i okrytonasienne;
- przeanalizujesz budowę sporofitu i gametofitu nagozalążkowych;
- prześledzisz cykl rozwojowy sosny zwyczajnej;
- zapoznasz się z charakterystyką roślin nagozalążkowych wielkolistnych i drobnolistnych;
- zrozumiesz, jakie znaczenie mają rośliny nagozalążkowe dla przyrody i człowieka.

nasiona
dominacja
w środowisku
lądowym

W przeciwieństwie do omówionych w poprzednich rozdziałach roślin zarodnikowych rośliny nasienne rozmnażają się i rozprzestrzeniają za pomocą **nasion**, co jest ważną adaptacją tych roślin do życia na lądzie (ryc. VI.10.1.; tab. VI.10.1.). Rośliny nasienne są najbardziej zaawansowane ewolucyjnie i współcześnie **dominują w środowiskach lądowych**.

A



B



Ryc. VI.10.1. Przykłady nasion: (A) awokado i (B) groch.

Tab. VI.10.1. Porównanie zarodników i nasion

Cecha	Zarodniki	Nasiona
Budowa	prosta, pojedyncza komórka	skomplikowana, zawiera młodą roślinę z korzeniem zarodkowym, łodygą i wiązkami liści
Zawartość substancji pokarmowych	mała ilość substancji pokarmowych	duża ilość substancji pokarmowych, służących do odżywiania młodej rośliny
Ochrona przed czynnikami zewnętrznymi	brak	wielokomórkowa, często gruba i twarda łupina nasienna

Cecha	Zarodniki	Nasiona
Żywotność	długookresowa	długookresowa
Rośliny, u których występują	rośliny zarodnikowe: mszaki, paprociowe, widłakowe	nagozależkowe, okrytozależkowe

Wspólnymi **cechami roślin nasiennych** są:

◀ **charakterystyka roślin nasiennych**

- występowanie w cyklu życiowym **przemiany pokoleń**, w której dominującym pokoleniem jest wielokomórkowy diploidalny sporofit; gametofit jest silnie zredukowany i zależny od sporofitu;
- **różnozarodnikowość**, tzn. wytwarzanie mikrospor i makrospor;
- wytwarzanie **zależków**, czyli przekształconych megasporangiów, z których po zapłodnieniu rozwija się nasienie z łupiną nasienną;
- wytwarzanie **nasion** – organów przetrwalnikowych służących do rozprzestrzeniania się gatunku;
- wytwarzanie **kwiatów**, czyli organów generatywnych służących do rozmnażania płciowego;
- **uniezależnienie procesu zapłodnienia od obecności wody** – plemniki są transportowane bezpośrednio do wnętrza rodni za pomocą łagiewki pyłkowej, która występuje tylko u roślin nasiennych.

Do nasiennych zaliczamy dwie grupy: rośliny **nagozależkowe** i **okrytozależkowe**, które różnią się wieloma cechami (**tab. VI.10.2.**). Rośliny nagozależkowe, inaczej nagonasienne, wytwarzają nieosłonięte (nagie) nasiona i zależki. Przedstawicielami tej grupy są m.in. sosna, świerk, jodła i młotok. Rośliny okrytozależkowe, czyli okrytonasienne, wytwarzają osłonięte nasiona – rozwijają się one wewnątrz owocni, czyli dojrzałej zależni. Do tej wysoce zróżnicowanej grupy zaliczamy m.in. dąb, buk, trawy, palmy i stokrotkę.

◀ **przedstawiciele nasiennych**

Tab. VI.10.2. Porównanie nagozależkowych i okrytozależkowych

Cecha	Nagozależkowe	Okrytozależkowe
Pokrój	drzewa i krzewy	drzewa, krzewy, rośliny zielne, byliny, rośliny kwiatowe
Elementy tkanek przewodzących	drewno: cewki łyko: komórki sitowe	drewno: człony naczyń i cewki łyko: rurki sitowe
Organy rozmnażania	szyszki	kwiaty
Zapłodnienie	pojedyncze	podwójne
Nasiona	nieosłonięte lub osadzone na łuskach szyszek	zamknięte w owocni (dojrzałej zależni)
Forma substancji odżywczej i zapasowej	gametofit żeński	bielmo
Liczba znanych gatunków	ok. 850	ok. 300 000
Występowanie	cały świat	cały świat

nagozalążkowe ▶ **Nagozalążkowe**

drewno
nagozalążkowych

jednopiennosc

Do nagozalążkowych należą w większości zimozielone krzewy i drzewa, w tym gatunki z okazami rekordowymi pod względem wieku i rozmiarów (**ryc. VI.10.2.**). Są one ważnymi **gatunkami lasotwórczymi** na całym świecie. Wiele nagonasiennych wytwarza żywicę. Łodygi i korzenie nagozalążkowych są grube, solidne i wykazują wtórny przyrost na grubość. Liście są zróżnicowane, ale najczęściej przyjmują postać szpilek lub łusek o znacznie zredukowanej powierzchni. **Drewno nagonasiennych** składa się z **cewek**, a tyko – z **komórek sitowych**. Większość nagozalążkowych jest **jednopienna**, tzn. wytwarza oddzielnie męskie i żeńskie organy płciowe zlokalizowane w różnych miejscach na tej samej roślinie.



Ryc. VI.10.2. Sosna długowieczna (A), sekwoja wiecznie zielona (B), sekwoja olbrzymia (C) – gatunki rekordowe pod względem długości życia i rozmiarów.

Budowa sporofitu nagozalążkowych

sosna zwyczajna

Sporofit to dominujące pokolenie nagonasiennych mające postać solidnego drzewa, rzadziej krzewu. Sporofit rozwija się z nasienia i wytwarza organy wegetatywne (korzeń, łodygę i liście) oraz generatywne w postaci jednopłciowych kwiatów. Typowym rodzimym przedstawicielem nagozalążkowych jest **sosna zwyczajna**. Na przykładzie tego gatunku zostanie przedstawiona budowa i cykl rozwojowy nagozalążkowych.

szyszki

Sosna jest rośliną różnozarodnikową. Mikro- i makrospory są produkowane na osobnych **szyszkach** (**ryc. VI.10.3.**). Zlokalizowane są one zwykle na wyższych gałęziach drzewa niż męskie. Szyszkę sosny tworzy oś, na której są gęsto osadzone kwiaty. **Kwiat żeński** jest zbudowany z łuski wspierającej oraz zlokalizowanej w jej pachwinie łuski nasiennej, czyli owocolistka (makrosporofilu). Na górnej powierzchni łuski nasiennej znajdują się dwa nagie zalążki. Zalążek jest otoczony jedną osłonką, która w szczytowej części zawiera niewielki otwór zwany okienkiem (**ryc. VI.10.5.**). Wnętrze zalążka wypełnia wielokomórkowa struktura zwana ośrodkiem. W ośrodku jest zawarta jedna komórka macierzysta – makrospor, która w efekcie podziału mejotycznego daje cztery haploidalne makrospory. Jedna z tych komórek rozwija się w gametofit żeński, a trzy pozostałe obumierają.

Drobne **kwiatostany męskie** sosny są zebrane są w żółte, kłosokształtne kwiatostany, zwane także szyszkami męskimi. Kwiat męski sosny składa się z osi i osadzonych na niej spiralnie licznych łuskowatych mikrosporofili. U nasady każdego sporofila znajdują się dwa **woreczki pytkowe**, czyli mikrosporangia. W ich wnętrzu na skutek podziału mejotycznego powstają liczne **ziarna pytku**, czyli mikrospory. Ziarna pytku są otoczone **sporopoleniną**, która chroni je przed wysychaniem. Sporopolenina nie występuje u makrospor.

szyszki męskie

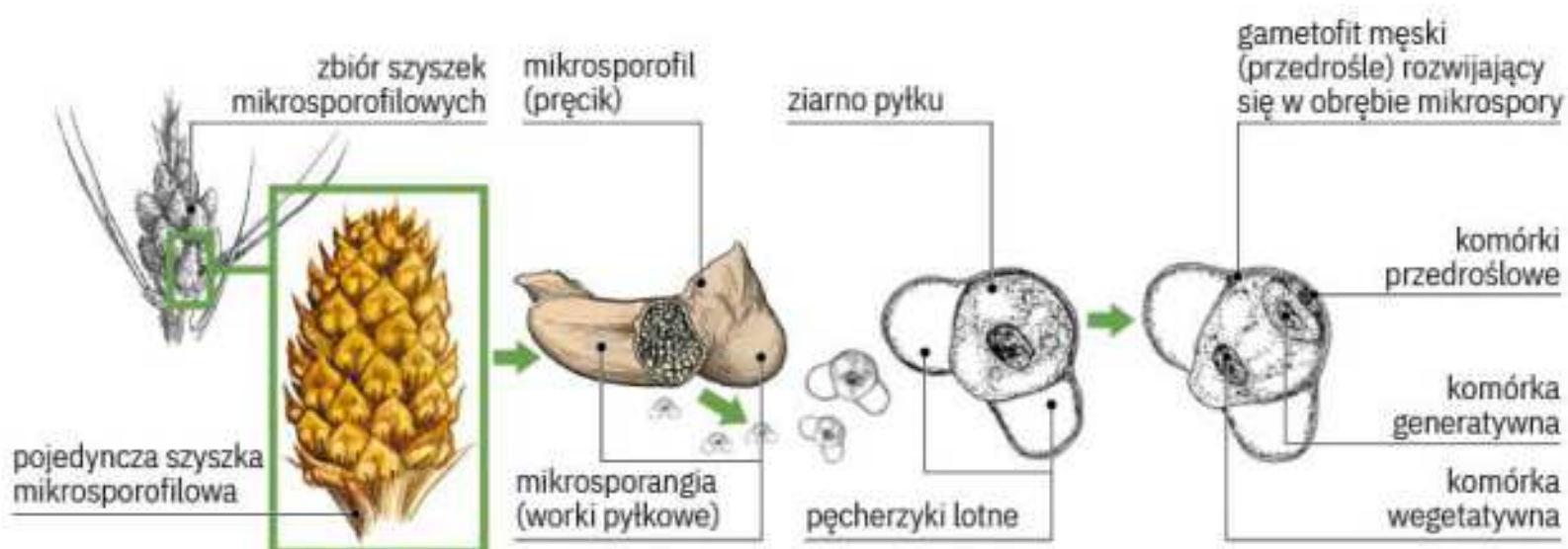


Ryc. VI.10.3. Kwiatostany sosny zwyczajnej: (A) żeński niedojrzały, (B) żeński dojrzały i (C) męski.

Budowa gametofitu nagozalążkowych

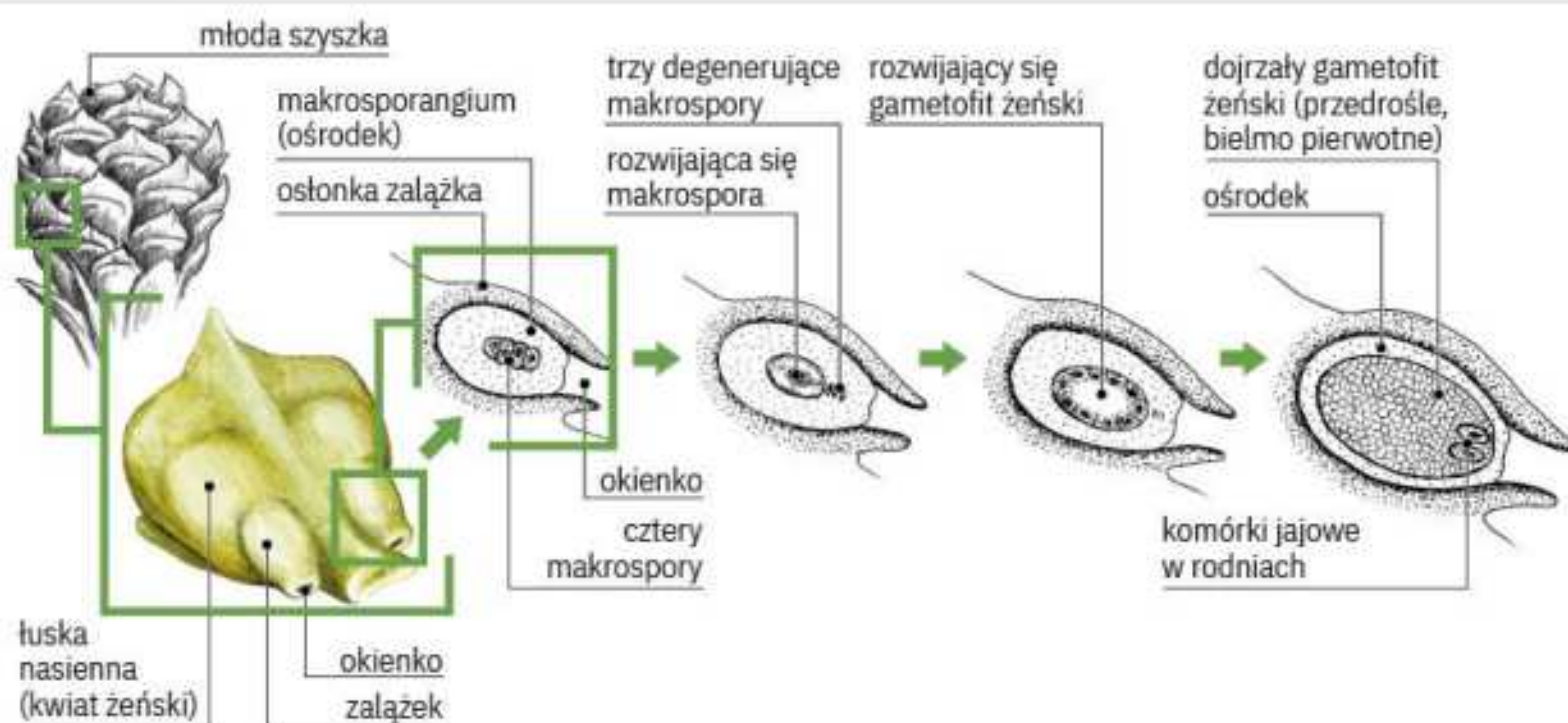
U nagonasiennych doszło do silnej redukcji gametofitu. **Gametofit męski**, czyli przedrośle, rozwija się na skutek podziałów mitotycznych ziarna pytku (ryc. VI.10.4.). Zbudowany jest z jednej lub dwóch komórek przedroślowych, dużej komórki wegetatywnej oraz mniejszej komórki generatywnej. W trakcie rozwoju komórki przedroślowe stopniowo obumierają, z komórki generatywnej powstają dwie nieruchome komórki plemnikowe, a komórka wegetatywna daje początek łagiewce pytkowej. W pełni rozwinięte ziarno pytku, czyli gametofit męski, ma dwa wypełnione powietrzem pęcherze lotne, które ułatwiają rozsiewanie za pomocą wiatru.

gametofit męski

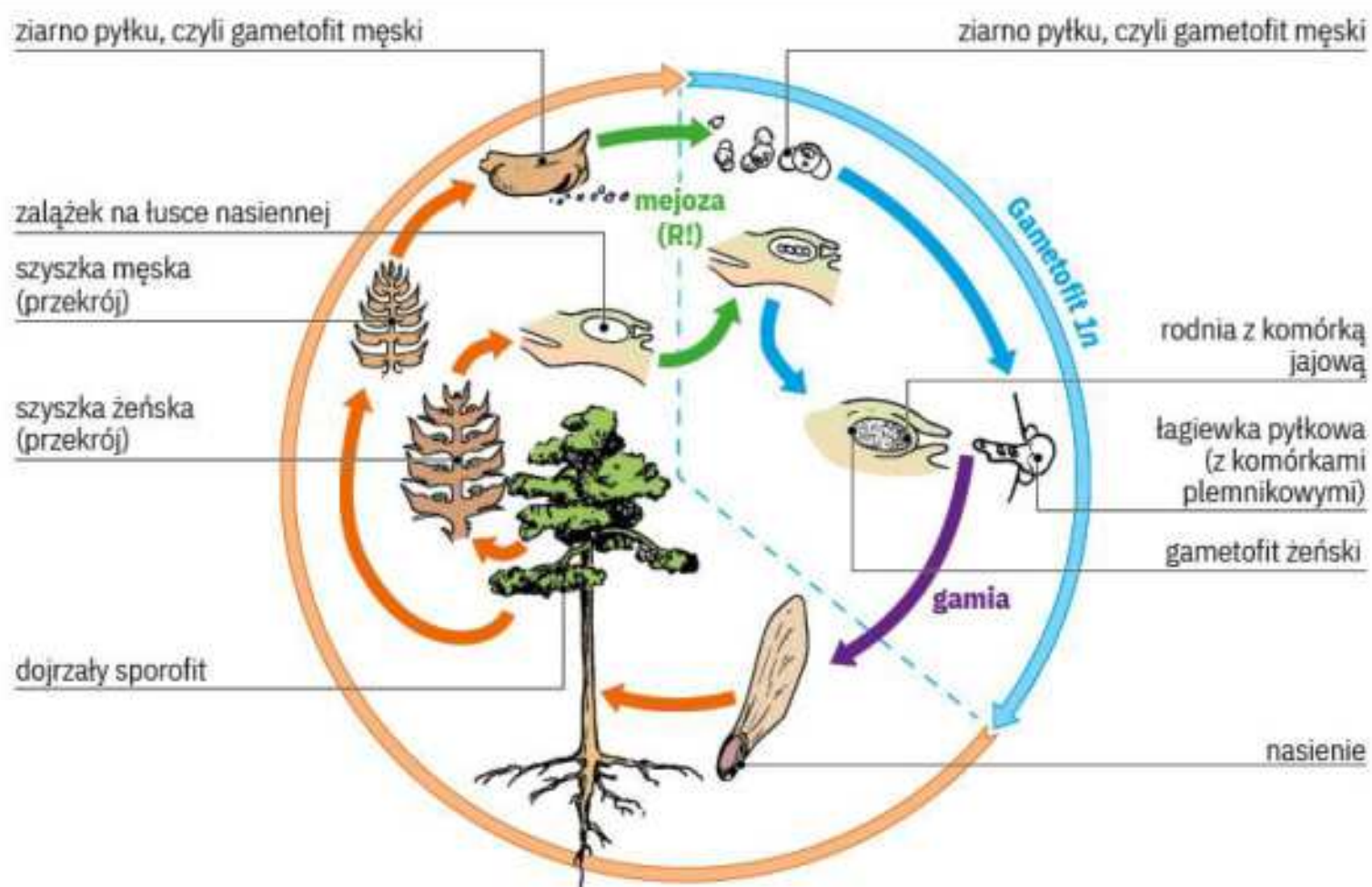


Ryc. VI.10.4. Budowa kwiatostanu męskiego sosny zwyczajnej.

gametofit żeński ➤ **Gametofit żeński** – przedrośle żeńskie, które nazywamy też bielmem pierwotnym – powstaje na skutek wielokrotnych podziałów mitotycznych makrospory. Wnętrze przedrośla żeńskiego wypełniają komórki mięsiste zawierające znaczne ilości substancji odżywczych. W obrębie gametofitu żeńskiego wytwarzają się zazwyczaj dwie rodnie, z których każda zawiera dużą komórkę jajową (**ryc. VI.10.5.**).



Ryc. VI.10.5. Budowa i rozwój gametofitu żeńskiego sosny zwyczajnej.



Ryc. VI.10.6. Cykl rozwojowy sosny zwyczajnej.

Przegląd systematyczny nagozalążkowych

Wśród nagozalążkowych wyróżniamy dwie linie ewolucyjne: **nagozalążkowe wielkoliste** i **nagozalążkowe drobnolistne**. W skład pierwszej grupy wchodzi: sagowce, gniotowe oraz wymarłe paprocie nasienne (ryc. VI.10.7.). Wśród gatunków tej linii przeważają gatunki z silnie podzielonymi liśćmi oraz z łodygami o słabym przyroście na grubość. Do nagozalążkowych drobnolistnych zaliczamy: mitorzębowe, szpilkowe oraz benetyty (wymarłe). Gatunki te mają zwykle małe liście i silnie zdrewniałe łodygi ze znacznym przyrostem na grubość. Liczba współcześnie żyjących nagozalążkowych jest szacowana na ok. 850 gatunków.



nagozalążkowe
wielkoliste
i drobnolistne

Ryc. VI.10.7. Paprocie nasienne dominowały w karbonie.

NAGOZALĄŻKOWE WIELKOLISTNE

Sagowce dominowały w erze mezozoicznej, a do dziś przetrwało ok. 130 gatunków rosnących głównie w strefie równikowej. Rośliny te mają krótkie, grube pnie, wielkie szyszki i liście wyglądem podobne do palm (ryc. VI.10.8.). Są roślinami dwupiennymi – szyszki nasienne rosną na okazach żeńskich, a szyszki pyłkowe – na okazach męskich. Ich pyłek jest przenoszony przez owady (głównie chrząszcze). U tej grupy roślin występują ruchliwe plemniki, a nasiona nie mają charakteru przetrwalnego. Niektóre gatunki sagowców są hodowane jako ozdobne rośliny doniczkowe (ryc. VI.10.9.).

sagowce



Ryc. VI.10.8. Sagowce pokrojem przypominają palmy.



Ryc. VI.10.9. Zamia należąca do sagowców jest popularną rośliną doniczkową.

gmiotowe ► Do **gmiotowych** należy ok. 70 gatunków przynależnych do trzech rodzajów: gmiot, prześl i welwiczja. Gatunki należące do gmiotowych wykazują cechy charakterystyczne dla okrytozalążkowych. Należą do nich: obecność naczyń w drewnie wtórnym, silnie zredukowane gametofity, siatkowe unerwienie liści oraz zaczątek obupłciowości i owadopylność.



Ryc. VI.10.10. Welwiczja przedziwna.



Ryc. VI.10.11. Prześl skrzypowata.



Ryc. VI.10.12. Gmiot.

■ Rodzaj **welwiczja** jest reprezentowany tylko przez jeden gatunek – **welwiczję przedziwną** (*Welwitschia mirabilis*). Roślina ta żyje tylko na pustyniach południowo-zachodniej Afryki. Krótki i gruby pień (o średnicy 1 m) częściowo znajduje się w podłożu. Wyrastają z niego dwa taśmowate liście, które należą do najdłuższych na świecie (nawet do 6 m długości). U nasady liści występują jednopłciowe kwiaty zebrane w kwiatostany. Kwiaty te są zapylane przez owady.

■ Rodzaj **prześl** obejmuje ok. 40 gatunków występujących na obszarach ciepłych i suchych. Rośliny tego rodzaju zwykle mają postać mocno rozgałęzionych, niewielkich krzewów. Drobne liście dość szybko odpadają, a funkcje asymilacyjne przejmują zielone łodygi. Krzewy te wytwarzają **efedrynę**, związek o właściwościach obkurczających błony śluzowe, wykorzystywany w medycynie.

■ W obrębie rodzaju **gmiot** występuje ok. 35 gatunków tropikalnych drzew, krzewów i pnączy. Rośliny te mają niepodzielone, pojedyncze liście z siatkową nerwacją i nasiona podobne nieco do owoców (ryc. VI.10.12.).

NAGONASIEENNE DROBNOLISTNE

Do **miłorzębowych** należy współcześnie tylko jeden gatunek – **miłorząb dwukłapowy** (*Ginkgo biloba*) (**ryc. VI.10.13.**). Rośnie naturalnie na dwóch stanowiskach w Chinach i jest gatunkiem zagrożonym. Na pozostałych obszarach jest sadzony jako drzewo ozdobne (również w Polsce). Miłorząb ma rozgałęziony pień dochodzący do 30–40 metrów wysokości. Liście, w zarysie wachlarzowate, mają widlastą nerwację i opadają na zimę. Miłorząb jest rośliną dwupienną. Kwiaty męskie mają postać żółtych kotków (2–4 cm). Kwiaty żeńskie stanowią dwa malutkie, nagie zalążki. Żółte nasiona są osadzone na długiej szypule i otoczone mięsistą osnówką, która po dojrzeniu ma nieprzyjemny zapach zjełczałego masła. Miłorząb jest popularną rośliną leczniczą – nasiona po uprażeniu nadają się do spożycia, a z osnówki wyrabia się mydło (np. w Japonii).



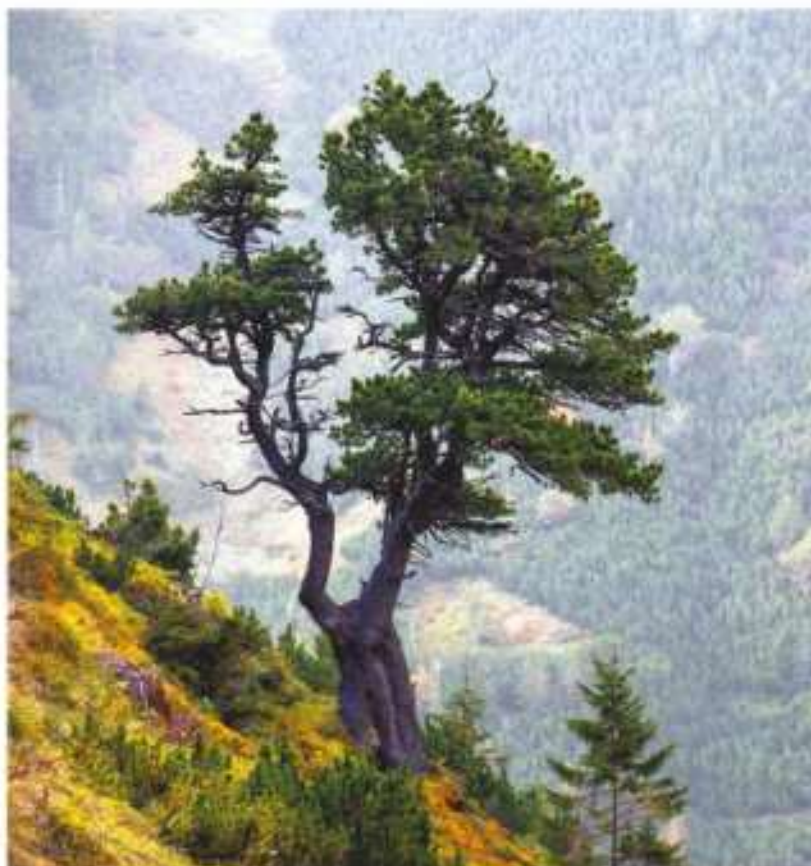
Ryc. VI.10.13. Miłorząb japoński.

miłorzębowe

Szpilkowe (iglaste) stanowią najliczniejszą gromadę w obrębie nagozalążkowych (ponad 600 gatunków). Nazwa wywodzi się od liści mających postać szpilek (igieł), które są trwałe i zimozielone (wyjątek stanowią modrzewie, metasekwoje czy cyprysniki, które zrzucają liście na zimę). Iglaste to zwykle potężne drzewa, występujące głównie w lasach. Pędy są zazwyczaj zróżnicowane na krótkopędy i długopędy. Nasiona są najczęściej rozsiewane przez wiatr, ale w niektórych przypadkach, np. u cisu pospolitego czy jałowca, są rozprzestrzeniane przez zwierzęta. Poniżej wymieniono przykłady nagozalążkowych **występujących w Polsce**.

szpilkowe

Sosna limba (*Pinus cembra*) to rodzime jednopienne drzewo wysokości ok. 20 metrów. W Polsce podlega prawnej ochronie gatunkowej. Z krótkopędów limby wyrastają pęki złożone z pięciu igieł. Szyszki są jasnobrązowe i jajowate (**ryc. VI.10.14.**).



Ryc. VI.10.14. Sosna limba.

krajowi
przedstawiciele
szpilkowych

Jodła pospolita (*Abies alba*) ma stożkową koronę z wyraźnym, strzelistym pniem (do 40 m wysokości) i okółkowo ułożonymi konarami. Igły są płaskie, na



spodniej stronie mają dwa biegnące równoległe białe-matowe paski. Szyszki są wydłużone i wzniesione (stojące na gałęzi). Po dojrzeniu rozpadają się na łuski. W Polsce populacje jodły pospolitej stanowią główny element ochrony w wielu rezerwatach przyrody (np. RP Jedlina, RP Jodły Ostrzeszowskie, RP Jodłowice) (ryc. VI.10.15.).



Ryc. VI.10.15. Jodła pospolita (A) oraz jej szyszki (B).

Świerk pospolity (*Picea abies*) jest drzewem jednopiennym o smukłej, wzniesionej koronie. Dolne, starsze konary z wiekiem charakterystycznie opadają, a górne rosną poziomo. Świerk dorasta do 50 metrów wysokości. Ma krótkie, twarde i ostre igły, kwadratowe w przekroju. Dojrzałe szyszki są długie, gładkie i zwisające. Odpadają w całości (ryc. VI.10.16.).

Modrzew europejski (*Larix decidua*) jest jednopienny, ma stożkowaty pień i luźną koronę. Dorasta do 45 metrów wysokości. Igły są jasnozielone, miękkie i wyrastają w pęczkach z krótkopędów. Liście opadają na zimę. Szyszki są małe i owalne (ryc. VI.10.17.).



Ryc. VI.10.16. Świerk pospolity.



Ryc. VI.10.17. Modrzew europejski.

Jałowiec pospolity (*Juniperus communis*, czyt. juniperus komunis) jest dwupiennym krzewem o kolumnowym pokroju. Liście są wąskie i kłujące. Wyrastają po trzy w okółku. Na wierzchniej stronie mają biały pasek. Jałowiec wytwarza niebieskie, matowe szyszkojagody, które powstają ze zrośnięcia się mięsistych łusek (**ryc. VI.10.18.**).



Ryc. VI.10.18. Jałowiec pospolity.

Cis pospolity (*Taxus baccata*, czyt. tak-sus bakkata) jest dwupiennym krzewem lub drzewem. Jego liście mają postać miękkich, spłaszczonych, lekko zaokrąglonych igieł. Wytwarza jasnobrązowe nasiona okryte twardą łupiną nasienną oraz czerwoną mięsistą osnówką. Roślina jest trująca (z wyjątkiem czerwonej osnówki wokół twardego, trującego nasienia). Cisy należą do najstarszych polskich drzew (tzw. Cisy Raciborskiego w Harbutowicach w województwie małopolskim) i podlegają prawnej ochronie.



Ryc. VI.10.19. Cis pospolity.

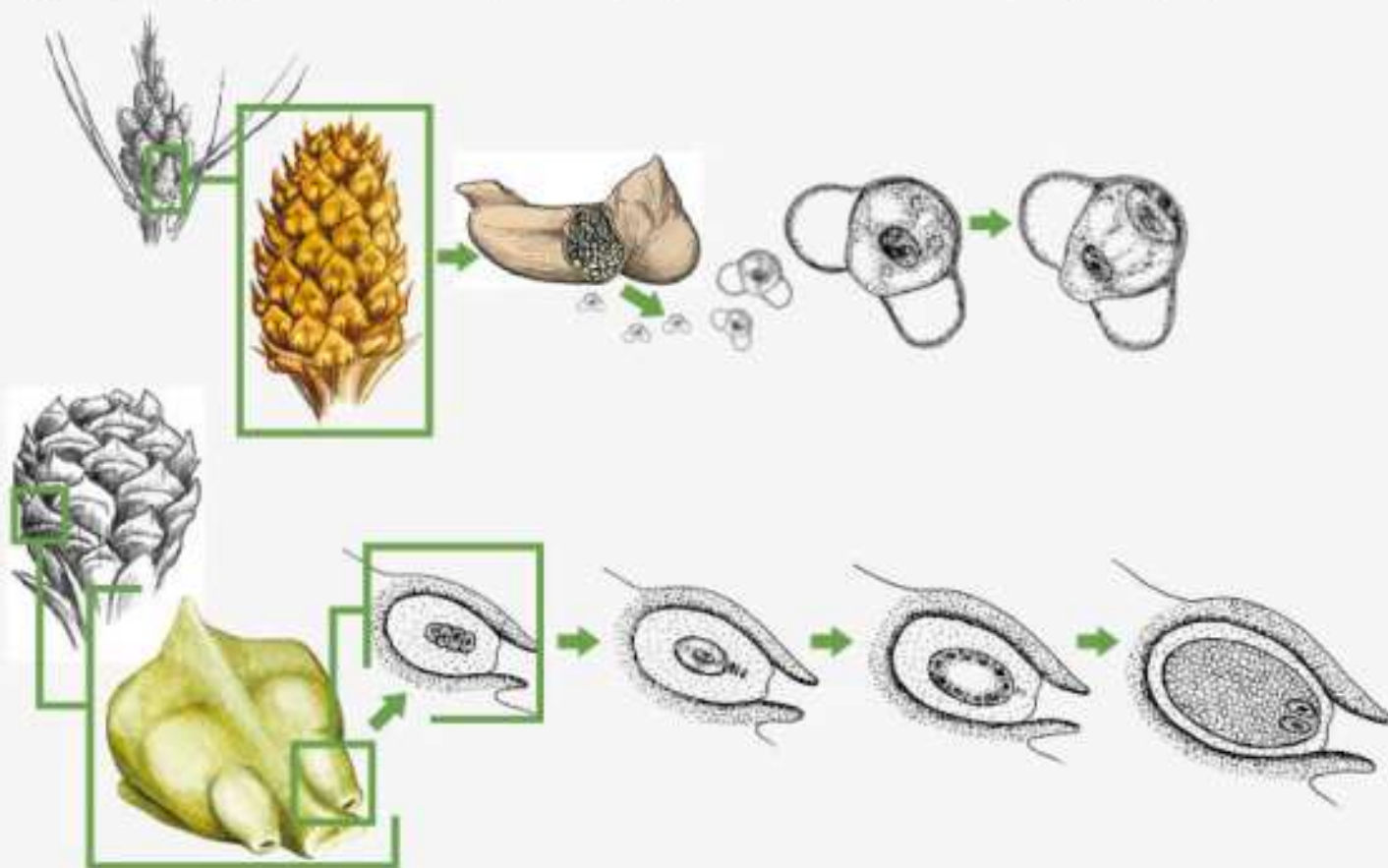
Znaczenie nasiennych – nagozalążkowych

- Są **ważnym elementem lasotwórczym** w większości stref klimatyczno-roślinnych oraz dominującym składnikiem tajgi.
- Ich części, głównie nasiona, są ważnym pożywieniem: zawierają cenne białka, tłuszcze, witaminy. Można je zbierać na zapas i długo przechowywać.
- Iglaste są źródłem drewna stanowiącego materiał budulcowy (konstrukcje wewnętrzne i zewnętrzne) oraz meblarski (sklejki, meble, podłogi, płyty). Z wysokiej jakości drewna wytwarza się m.in. instrumenty muzyczne (uważa się, że z drewna świerkowego z Czech są wykonane słynne skrzypce Stradivariusa).
- Są surowcem w przemyśle papierniczym.
- Mają właściwości lecznicze i stanowią źródło: leków (np. taksol z cisa), terpentyny, kalafonii oraz żywic (stosowanych w przemyśle kosmetycznym, perfumeryjnym czy medycynie).
- Stanowią środowisko życia innych organizmów.
- Iglaste są wykorzystywane do umacniania wydm, nasypów czy zboczy górskich. Chronią je przed erozją i osuwaniem się ziemi lub śniegu (lawiny).
- Są hodowane w celach ozdobnych (np. modrzew, pewne gatunki sosen, araukaria, jałowiec i inne) w domach, ogródkach i parkach.

◀ gatunki lasotwórcze

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wymień cechy roślin nasiennych, które uwarunkowały zasiedlenie przez nie środowisk lądowych.
2. Omów budowę kwiatów męskich i żeńskich sosny zwyczajnej.
3. Jakie procesy przedstawiono na poniższych rysunkach? Omów ich fizjologiczną rolę.



4. Scharakteryzuj budowę i występowanie wybranej rośliny nagozalążkowej wielkolistnej.
5. Jakie gatunki krajowych roślin szpilkowych przedstawiono na poniższych fotografiach? Wymień po trzy charakterystyczne cechy każdego z tych gatunków.



6. W dostępnych źródłach znajdź informacje na temat wolemii szlachetnej (*Wollemia nobilis*) i sporządź krótką notatkę.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- Rośliny nasienne rozmnażają się za pomocą **nasion** i współcześnie **dominują w środowiskach lądowych**. s. 188
- **Nasiona** mają bardziej skomplikowaną budowę niż zarodniki (m.in. są wielokomórkowe, okryte lupiną nasienną, z dużą ilością substancji zapasowych). s. 188
- **Rośliny nasienne charakteryzują się** występowaniem: przemiany pokoleń z dominacją sporofitu, silną redukcją gametofitu, różnozarodnikowością, wytwarzaniem zalążków, a z nich nasion, wytwarzaniem kwiatów oraz uniezależnieniem procesu zapłodnienia od wody. s. 188
- Do **nasiennych** zaliczamy rośliny nagozalążkowe oraz okrytozalążkowe. s. 189
- **Rośliny nagozalążkowe** (nagonasienne) wytwarzają nieosłonięte zalążki i nasiona. s. 190
- Wśród nagonasiennych dominują **jednopienne drzewa i krzewy** (sporofit). Rośliny te wykazują wtórny przyrost na grubość. s. 190
- W **drewnie nagozalążkowych** występują cewki, a w łyku – komórki sitowe. s. 190
- Przedstawicielem nagozalążkowych jest **sosna zwyczajna**, która wytwarza mikro- i makrospory na osobnych szyszkach. Kwiaty żeńskie, zwane szyszkami, są zbudowane z lusek: wspierającej oraz nasiennej, na której znajdują się dwa nagie zalążki; w ośrodku każdego zalążka tworzą się makrospory, z których tylko jedna rozwija się w gametofit żeński. s. 190
- **Kwiaty męskie (szyszki męskie)** składają się z osi i licznych pręcików, u których nasady znajdują się woreczki pyłkowe. W woreczkach pyłkowych powstają zarodniki. s. 191
- **Gametofit męski** jest zbudowany z dwóch komórek przedroślowych, komórki wegetatywnej (dającej początek łagiewce pyłkowej) oraz komórki generatywnej (źródło komórek plemnikowych). s. 191
- **Gametofit żeński** wypełnia miękisz, w którym są umieszczone dwie rodnie. W każdej z nich znajduje się komórka jajowa. s. 192
- Do nagozalążkowych zaliczamy **nagozalążkowe wielkolistne** (sagowce, gniotowe) oraz **drobnolistne** (milorzębowe, szpilkowe). s. 193
- **Dwupienne sagowce** rosną w strefie równikowej; mają krótkie pnie i palmopodobne liście, np. zamia. s. 193
- Wśród **gniutowych** wyróżniamy trzy rodzaje: gniot, prześl i welwiczja. s. 194
- **Milorzębowe** są reprezentowane przez jeden gatunek – miłorząb dwuklapowy (dwupienny, z wachlarzowatymi liśćmi i nasionami osadzonymi na długich szypułkach). s. 195
- **Szpilkowe** stanowią najliczniejszą gromadę nagozalążkowych. Mają formę dużych drzew. Ich liście mają postać zimozielonych igieł (szpilek). s. 195
- Do **krajowych przedstawicieli szpilkowych** należą m.in. sosna pospolita, sosna limba, jodła pospolita, świerk pospolity, modrzew europejski, cis pospolity i jałowiec pospolity. s. 195
- Nagozalążkowe są m.in. ważnymi **gatunkami lasotwórczymi** oraz źródłem cennego drewna. s. 197

11. Okrytozalążkowe – rośliny nasienne z osłoniętym zalążkiem

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz adaptacje okrytozalążkowych do życia na lądzie;
- dowiesz się, jak są zbudowane sporofity okrytozalążkowych, kwiaty i rodzaje kwiatostanów oraz gametofity okrytonasiennych;
- zrozumiesz, na czym polega zapylenie i podwójne zapłodnienie;
- zapoznasz się z budową nasienia i owocu;
- uzyskasz informacje o sposobach rozsiewania nasion i owoców;
- prześledzisz proces kiełkowania nasion;
- dowiesz się, czym charakteryzują się rośliny jednoliścienne i dwuliścienne;
- zrozumiesz, jakie znaczenie mają rośliny okrytozalążkowe.

okrytozalążkowe ► **Okrytozalążkowe** powszechnie nazywamy **roślinami kwiatowymi**, ponieważ wytwarzają one organy generatywne – kwiaty i owoce. W owocach znajdują się nasiona, które są dojrzałymi zalążkami. Obecnie okrytozalążkowe dominują we florze całego świata – stanowią ponad 90% wszystkich znanych i opisanych gatunków. Wśród nich większość stanowią rośliny lądowe, choć spotykamy także gatunki wtórnie wodne. W obrębie okrytozalążkowych zwraca uwagę ogromna różnorodność form – od roślin wielkich, drzewiastych (np. eukaliptusy) przez krzewy (np. bez czarny) po małe rośliny zielne (np. stokrotka) (**ryc. VI.11.1.**). Stanowi to odzwierciedlenie wysokiej specjalizacji oraz adaptacji do życia w warunkach środowiska lądowego.

adaptacje do życia na lądzie ► Cechami, które zapewniły okrytozalążkowym **sukces życia na lądzie**, są:

- **nasiona** jako główny sposób rozmnażania i rozsiewania;
- **owocnia** otaczająca i chroniąca nasiona;
- **podwójne zapłodnienie**;
- rozmaite sposoby **przenoszenia pyłku** – często uzależnione od zwierząt, co zapewnia wymieszanie materiału genetycznego i większą różnorodność;
- sprawny **system transportowania** wody z solami mineralnymi i produktów fotosyntezy;
- **budowa liści** zapewniająca efektywną absorbcję światła; zrzucanie liści zapobiega utracie wody i umożliwia przetrwanie w rejonach o surowym klimacie;
- zdolność i **elastyczność adaptacyjna** sporofitu do przystosowania się do różnych warunków (np. kaktusy, grzybenie wodne).



Ryc. VI.11.1. Różnorodność form w obrębie okrytozalążkowych.

U okrytozalążkowych pojawiają się **kwiaty**. Występuje u nich także proces podwójnego zapłodnienia, niespotykany u innych roślin, w wyniku którego powstają nasiona wewnątrz owocu. Charakterystyczną cechą kwiatu okrytozalążkowych jest słupek, który wykształcił się w wyniku zrośnięcia się owocolistków. W dolnej części słupka znajduje się zalążnia, która okrywa zalążki. Z tego powodu rośliny te nazywamy okrytozalążkowymi. Z zalążni oraz czasami z innych części kwiatu powstaje ściana owocu, okrywająca i chroniąca nasiona – stąd wywodzi się nazwa druga tej gromady: okrytonasienne. U tych najwyżej wyspecjalizowanych ewolucyjnie roślin w tkance przewodzącej znajdują się **człony naczyn** (w drewnie) oraz **rukki sito-we** (w łyku). W cyklu życiowym okrytonasiennych występuje przemiana pokoleń z dominacją sporofitu, a redukcja gametofitu jest u nich jeszcze dalej posunięta niż u nagozalążkowych.

◀ kwiaty

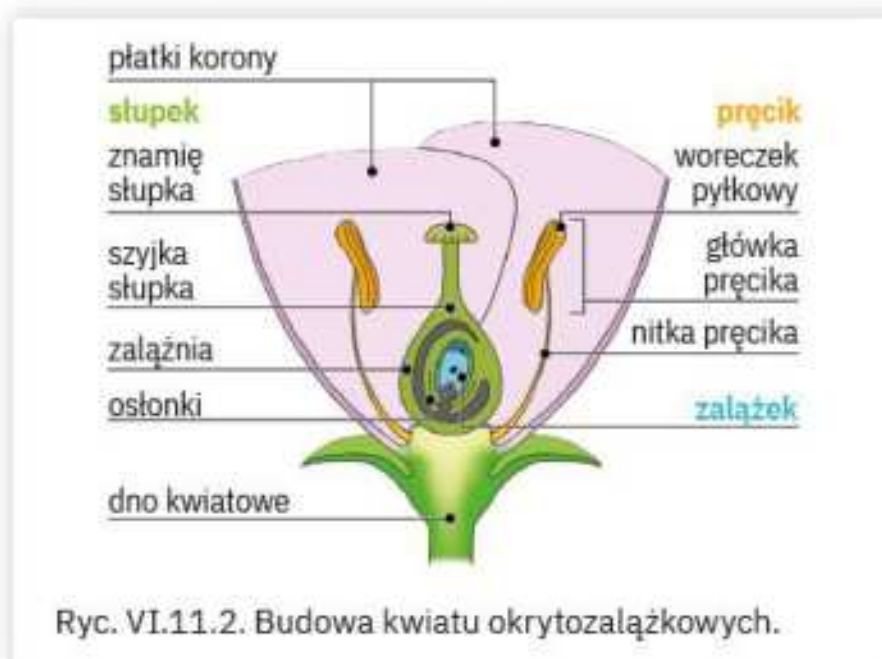
Budowa sporofitu okrytozalążkowych

Sporofit okrytonasiennych, w zależności od gatunku, ma postać drzewa, krzewu lub rośliny zielnej. Powstaje z nasienia, które zaczyna kiełkować, kiedy znajdzie się w sprzyjających warunkach środowiska. Wytwarza organy wegetatywne (korzeń, łodygę i liście) oraz generatywne (kwiaty, nasiona i owoce).

◀ sporofit

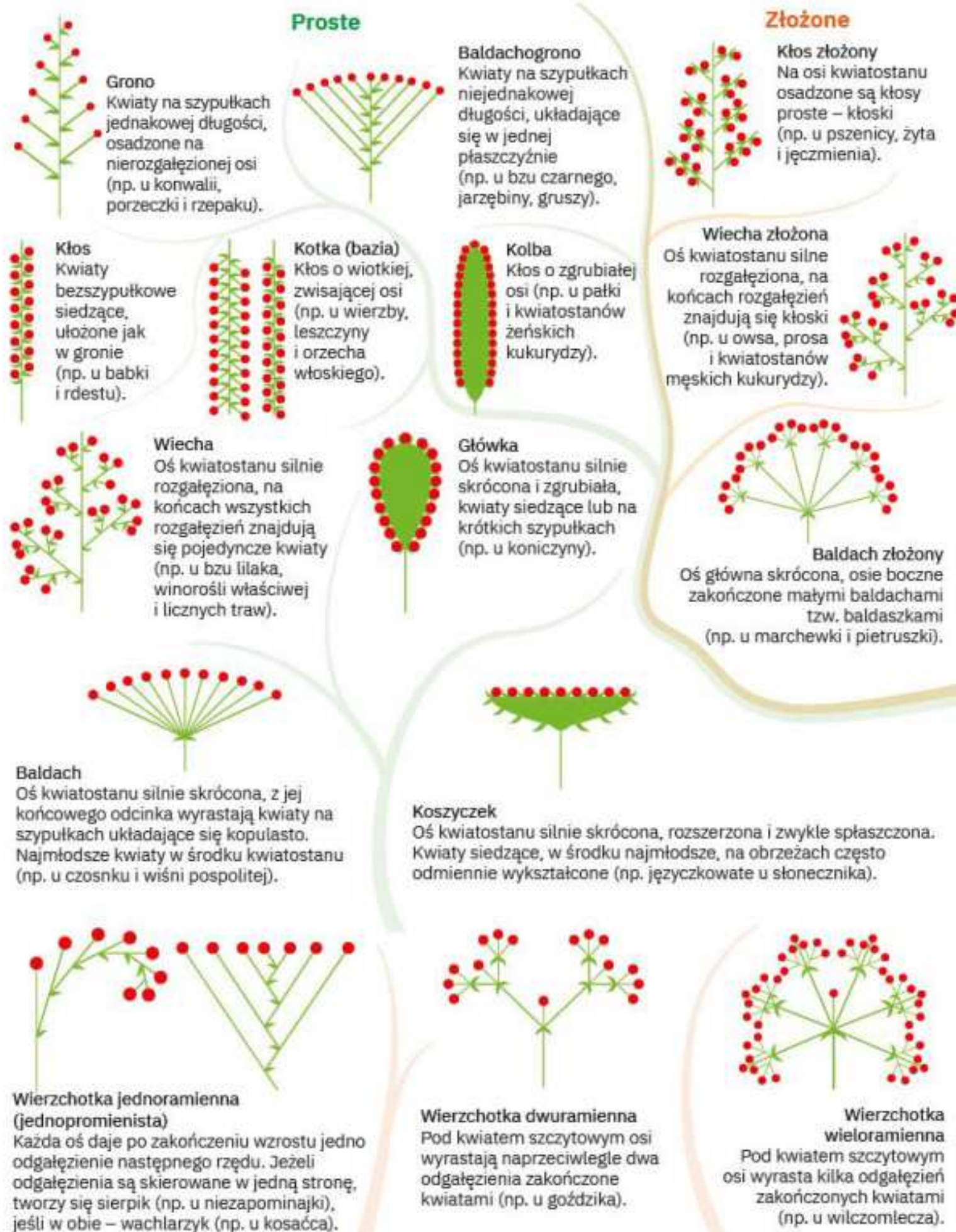
Kwiat jest wyspecjalizowanym organem służącym do rozmnażania płciowego. Składa się z czterech elementów: działek kielicha, płatków korony, pręcików oraz słupka (ryc. VI.11.2.). Wszystkie te elementy są osadzone okółkowo (rzadziej spiralnie) na **dnie kwiatowym**, czyli szczytowej części osi kwiatu, tzw. **szypułki**.

◀ kwiat



Ryc. VI.11.2. Budowa kwiatu okrytozalążkowych.

kwiatostany ➤ Kwiaty mogą występować pojedynczo lub w skupieniach zwanych **kwiatostanami**, które zwiększają szanse zapylenia. W zależności od rozmieszczenia kwiatów w kwiatostanie wyróżniamy kwiatostany groniaste (np. grono, baldach, kłos, kolba, wiecha, główka i koszyczek) oraz wierzchotkowe (rozgałęzione wieloosiowo) (**ryc. VI.11.3.**).



Ryc. VI.11.3. Rodzaje kwiatostanów.

Działki kielicha (kielich) zajmują najniższy i najbardziej zewnętrzny okółek kwiatu. Zwykle są jasnozielone i kształtem przypominają liście. Ich funkcją jest ochrona leżących wewnątrz części kwiatu. Następny okółek tworzą **płatki korony** (korona kwiatowa). Są one zwykle większe od działek kielicha, płaskie, barwne i o zróżnicowanym kształcie. Ich funkcją jest przywabianie zwierząt zapylających. U wielu roślin w płatkach korony znajdują się struktury wydzielające olejki eteryczne oraz nektar. Nektar to mieszanina glukozy, fruktozy i sacharozy, których proporcja zależy od rodzaju zwierząt zapylających dany kwiat, np. kwiaty zapylane przez pszczoły, motyle czy ptaki mają bardzo dużą zawartość sacharozy. Kielich i korona tworzą razem **okwiat**.

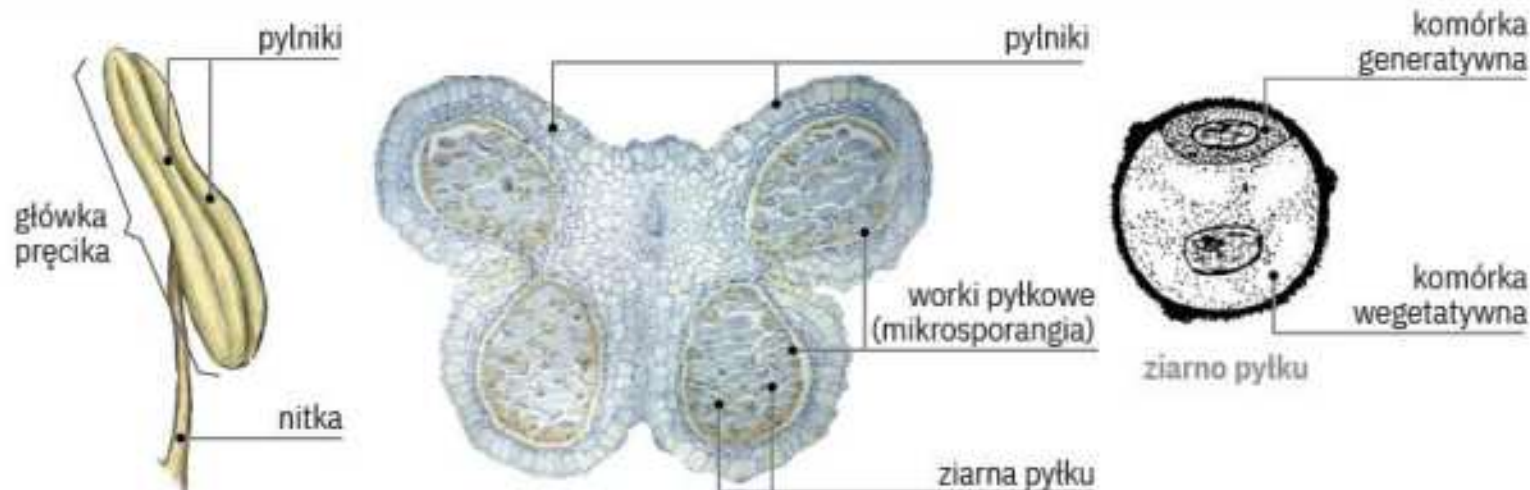
◀ działki kielicha

◀ płatki korony

◀ okwiat

Wewnątrz korony znajdują się **pręciki**, których zbiór określamy jako pręcikowie. Pojedynczy pręcik składa się z cienkiego trzonka zwanego **nitką** oraz osadzonej na nim **główki**, w której mieszczą się dwa **pylniki**. (ryc. VI.11.4.). Pylniki połączone są ze sobą za pomocą łącznika. W każdym pylniku znajdują się dwa **woreczki pyłkowe**, wewnątrz których w wyniku podziałów mejotycznych powstają haploidalne ziarna pyłku (mikrospory).

◀ pręciki



Ryc. VI.11.4. Budowa pręcika i ziarna pyłku.

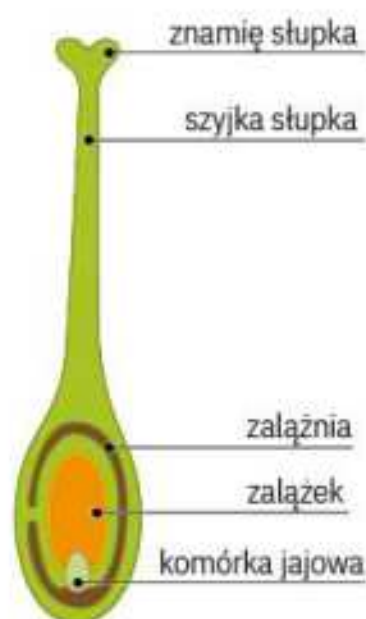
Ziarna pyłku są otoczone mocną, podwójną ścianą zbudowaną z celulozy, pektyn oraz odpornej na działanie czynników zewnętrznych sporopoleniny. Są one bardzo zróżnicowane pod względem wielkości i kształtu (ryc. VI.11.5.). Ziarno wytwarza dwie komórki. Z jednej komórki ziarna pyłku powstają dwie komórki plemnikowe (gamety męskie), a druga komórka rozwija się w łagiewkę pyłkową, która przenosi plemniki do zalążka.



Ryc. VI.11.5. Zróżnicowanie budowy i kształtu ziaren pyłku. U roślin wiatropylnych średnica ziaren waha się od 5 do 200 μm do nawet 1 mm (*Zostera*). Mogą przyjmować kształt kulisty, podłużny lub dzwonowaty. Na powierzchni mają bruzdy lub pory, których położenie i liczba są cechami taksonomicznymi wielu roślin.

słupek ➤

zalążek ➤



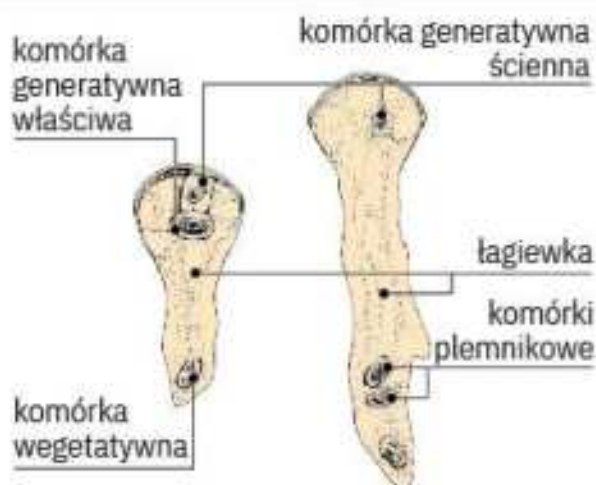
Ryc. VI.11.6. Budowa słupka okrytozalążkowych.

Słupek znajduje się w najbardziej wewnętrznym, centralnym okółku kwiatu. Słupek powstał po zrośnięciu się owocolistków (makrosporofili). Zbiór wszystkich słupków kwiatu nazywamy słupkowiem. W słupku możemy wyróżnić trzy części: **znamię**, na którym osiada ziarno pyłku, **szyjkę**, przez którą przechodzi łagiewka pyłkowa, oraz **zalążnię** – rozszerzoną dolną część słupka, w której mieszczą się zalążki (ryc. VI.11.6.). **Zalążek** składa się z ośrodka (makrosporangium) i otaczających go dwóch osłonek, tworzących na szczycie okienko. Każdy młody zalążek zawiera gametofit żeński. Po zapłodnieniu zalążek przekształca się w nasienie, a cała zalążnia – w owoc.

Budowa gametofitu okrytozalążkowych

Gametofit okrytozalążkowych uległ bardzo silnej redukcji: gametofit męski składa się z dwóch komórek, a żeński – z kilku komórek. Jest pokarmowo uzależniony od sporofitu.

gametofit męski ➤



Ryc. VI.11.7. Budowa i rozwój gametofitu męskiego.

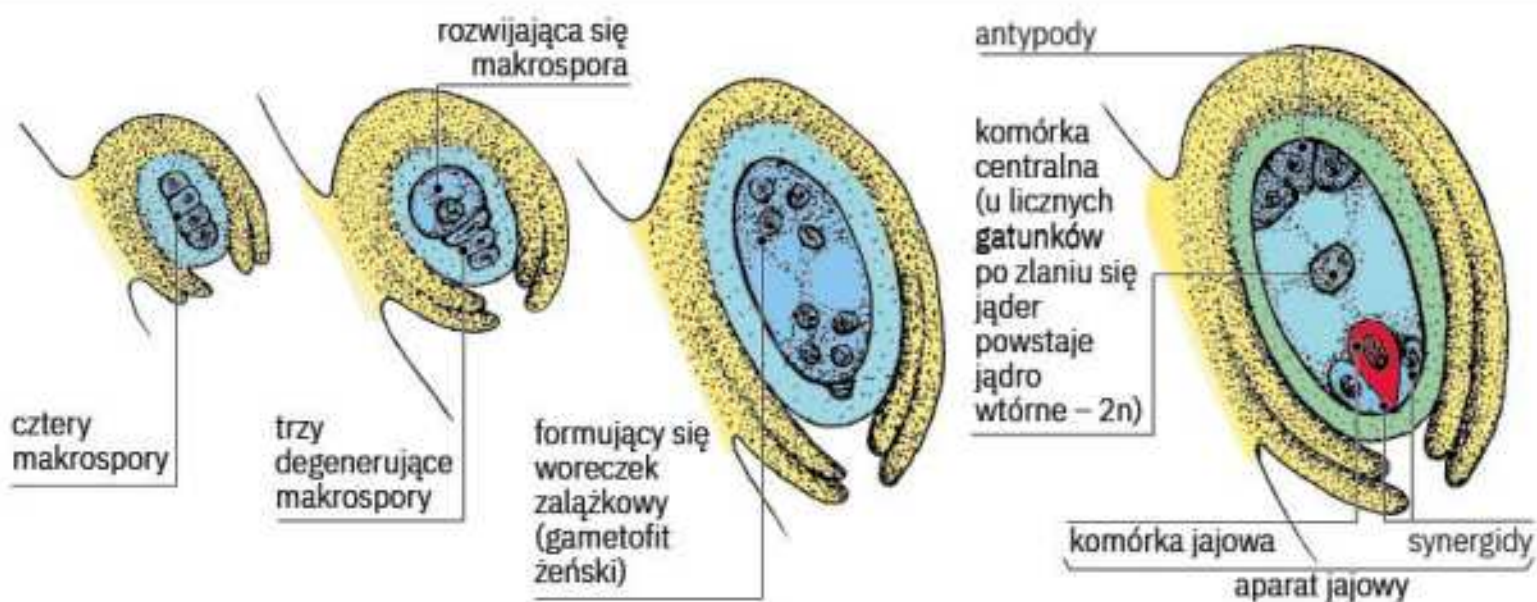
Gametofit męski (przedrośle męskie) rozwija się z ziarna pyłku (ryc. VI.11.7.). Dojrzałe ziarna pyłku są mikroskopijnej wielkości i zawierają dwie komórki: wegetatywną oraz generatywną. Z komórki generatywnej powstają dwie pozbawione możliwości ruchu komórki plemnikowe, a komórka wegetatywna daje początek łagiewce pyłkowej, która stanowi strukturę transportującą komórki plemnikowe do wnętrza zalążka.

gametofit żeński ➤

Gametofit żeński (przedrośle żeńskie) rozwija się z jednej z czterech haploidalnych makrospor powstających w młodym zalążku (ryc. VI.11.8.).

woreczek zalążkowy ➤

Po obumarciu trzech megaspor czwarta dzieli się mitotycznie i rozwija w dojrzały gametofit żeński, zwany woreczkiem zalążkowym. U większości okrytozalążkowych **woreczek zalążkowy** składa się z siedmiu komórek zawierających osiem haploidalnych jąder komórkowych. Sześć komórek, w tym komórka jajowa, zawiera po jednym jądrze, a jedna komórka, tzw. centrala – dwa jądra. W trakcie rozwoju komórki te rozmieszczają się w charakterystyczny sposób – komórka jajowa oraz dwie komórki pomocnicze (synergidy) lokują się na jednym z biegunów woreczka zalążkowego (od strony okienka), dwujądrowa komórka centralna w jego środku, a na drugim biegunie – trzy pozostałe komórki (tzw. antypody). W zapłodnieniu biorą udział komórka jajowa i komórka centralna (której jądra ulegają połączeniu w diploidalne jądro komórki centralnej). Pozostałe pięć komórek obumiera.



Ryc. VI.11.8. Budowa i rozwój gametofitu żeńskiego.

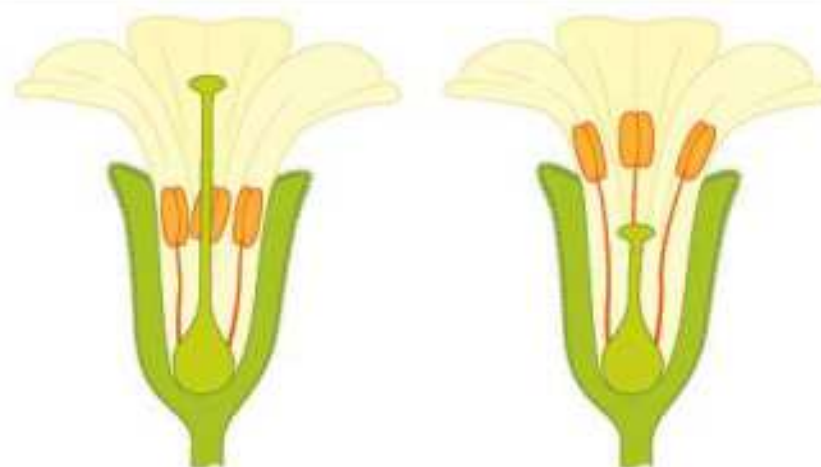
Zapylenie i podwójne zapłodnienie

W wyniku pęknięcia pylników zostaje uwolniony pyłek, który trafia na znamię słupka. Proces ten nazywamy **zapyleniem**. Rośliny wykształciły wiele mechanizmów ułatwiających zapylenie. Należy do nich cała gama sposobów wabienia zwierząt zapylających, m.in. kolorowe kwiaty, wydzielanie nektaru, olejków, żywicy i substancji zapachowych (zarówno przyjemnych, jak i o woni gnijącego mięsa) czy upodabnianie się do samicy owada (**ryc. VI.11.9.**).



Ryc. VI. 11.9. Przykłady zoogamii.

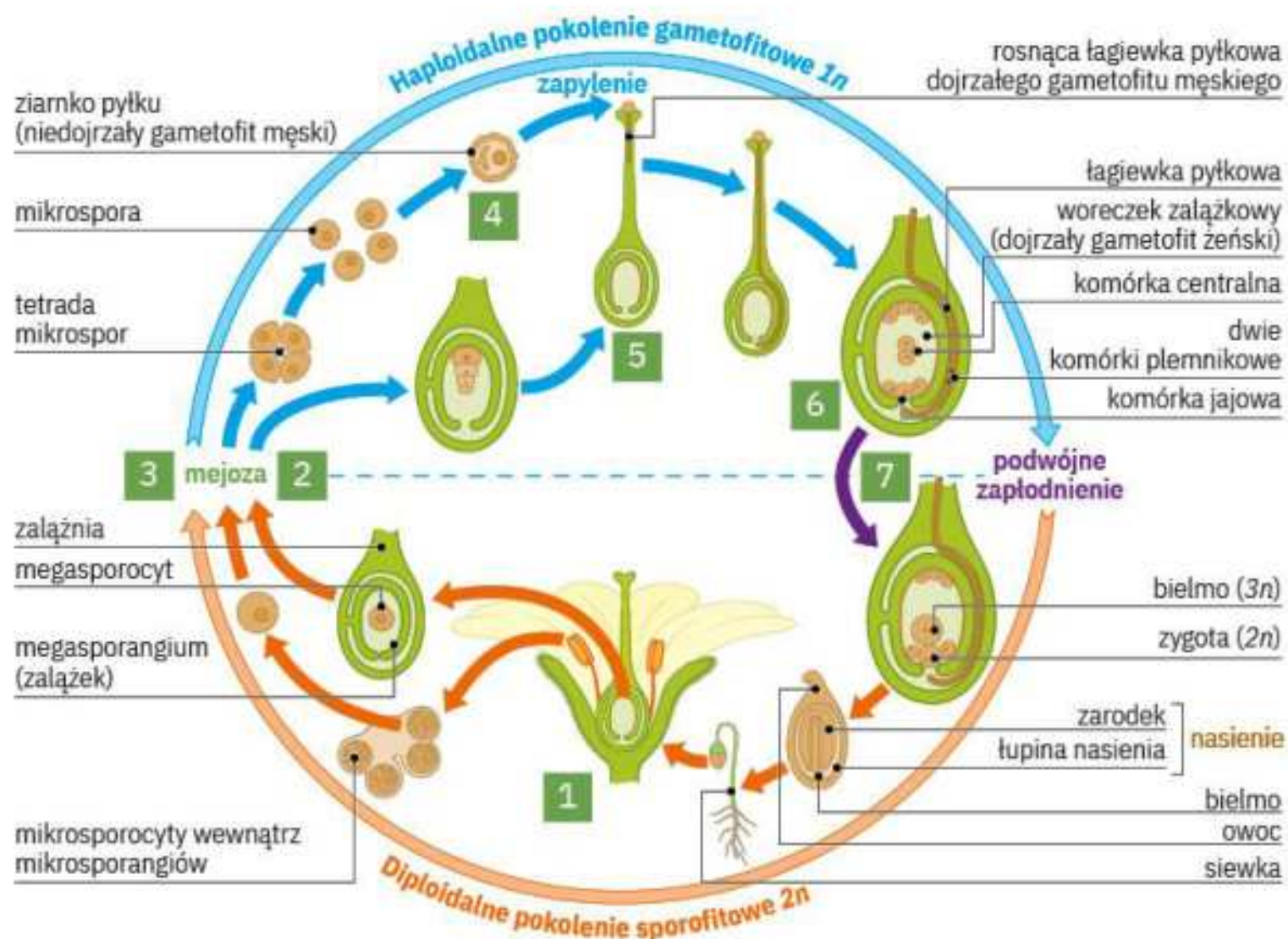
U niektórych roślin (np. zbóż) występuje tzw. **samozapylenie**, czyli przeniesienie ziarna pyłku na słupkę tego samego kwiatu lub innych kwiatów tej samej rośliny. Z punktu widzenia rośliny samozapylenie jest procesem niekorzystnym, gdyż ogranicza możliwość rekombinacji (wymiany) genów. Rośliny dysponują mechanizmami chroniącymi je przed samozapyleniem, to m.in. wytwarzanie dwupostaciowych kwiatów (z różną długością słupków i pręcików), czyli heterostylia (**ryc. VI.11.10.**), lub samosterylność (brak rozwoju nasion po zapyleniu własnym pyłkiem).



Ryc. VI.11.10. Heterostylia u pierwiosnka.

podwójne
zapłodnienie

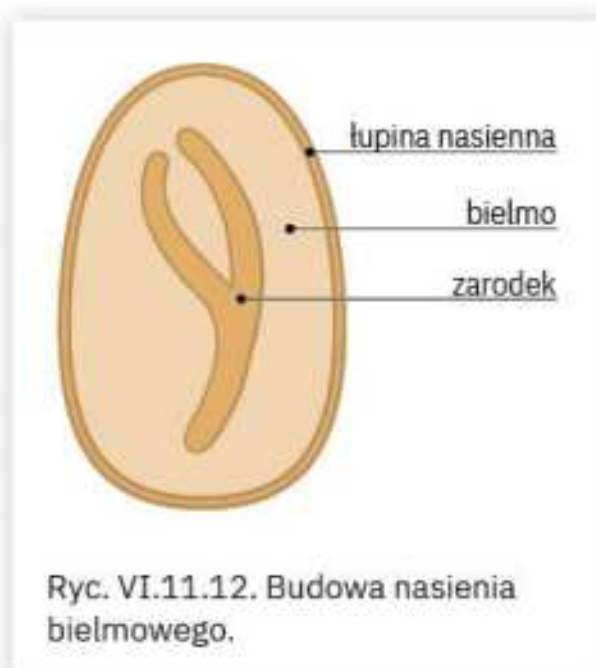
Osadzone na znamieniu ziarno pyłku kiełkuje, powstała łagiewka pyłkowa wrasta przez szyjkę słupka do zalążni, gdzie zostają uwolnione dwie komórki plemnikowe. Obie biorą udział w zapłodnieniu. Jedna z nich łączy się z komórką jajową, dając zygotę, która na skutek wielokrotnych podziałów mitotycznych przekształca się w **zarodek nasienia**. Druga komórka plemnikowa (n) łączy się z diploidalną ($2n$) komórką centralną, tworząc triploidalną komórkę ($3n$), rozwijającą się w **bielmo**. Bielmo (endosperma) jest bogatą w składniki pokarmowe tkanką odżywiającą rosnący zarodek. Cały proces zapłodnienia u okrytozalążkowych, w czasie którego następują dwa odrębne połączenia komórek, nazywamy **podwójnym zapłodnieniem**. W wyniku dalszego rozwoju powstaje **nasienie**. Na **rycinie VI.11.11.** przedstawiono cykl rozwojowy rośliny okrytozalążkowej.



Ryc. VI.11.11. Cykl rozwojowy rośliny okrytozalążkowej.

Budowa nasienia

Typowe nasienie zawiera **zarodek rośliny** i **tkankę odżywczą** (bielmo) oraz jest otoczone **łupiną nasienną** (ryc. VI.11.12.). W trakcie rozwoju komórki zarodka, dzieląc się, wytwarzają jeden lub dwa liścienie, korzeń zarodkowy oraz stożek wzrostu pędu. **Korzeń zarodkowy** z liścieniem łączy się za pomocą **hipokotylu**. Bielmo pełni funkcję tkanki odżywczej w trakcie rozwoju zarodka (u większości dwuliściennych), ale także jest głównym źródłem substancji odżywczych w dojrzałym nasieniu (u jednoliściennych). Takie nasiona nazywamy **nasionami bielmowymi**.



Ryc. VI.11.12. Budowa nasienia bielmowego.

◀ budowa nasienia

◀ korzeń zarodkowy

◀ podział nasion

U niektórych roślin funkcje odżywcze spełnia także **obielmo**, które jest zachowanym ośrodkiem zalążka (**nasiona obielmowe**). Niektóre nasiona gromadzą substancje zapasowe w liścieniach i nie mają bielma (**nasiona bezbielmowe**), m.in. fasola, dynia, słonecznik. Najważniejszymi substancjami odżywczymi nasiona są skrobia, tłuszcze i białka. W zależności od tego, który z wymienionych składników dominuje, wyróżniamy nasiona skrobiowe (np. pszenica), oleiste (np. słonecznik) czy białkowe (np. fasola). Nasiona są także organami przetrwalnikowymi roślin. Wiele z nich po długim okresie spoczynku (trwającym nawet kilkaset lat) może w sprzyjających warunkach zacząć kiełkować.

Budowa i rodzaje owoców

Owoc pełni funkcje ochronne w stosunku do znajdujących się w jego wnętrzu nasion, a niekiedy pomaga w ich rozsiewaniu. Owoce są zatem organami generatywnymi okrytozalążkowych, które rozwijają się z zalążni. Czasami zdarza się, że oprócz zalążni w tym procesie biorą udział inne części kwiatu. Owoce powstałe w taki sposób nazywamy **owocami rzekomymi** (lub **szupinkami**). Przykładem jest gruszka, której mięsista część tworzy się w wyniku rozrostu dna kwiatowego (ryc. VI.11.13.).

◀ owoc

◀ owoc rzekomy

W niektórych przypadkach owoc jest pozbawiony nasion, a jego powstawanie nie jest poprzedzone procesem zapłodnienia. Zjawisko powstawania owoców bez nasion nazywamy **partenokarpia**. Przykładami roślin wytwarzających beznasienne owoce są m.in. pomidor, banan, grapefruit czy ananas. W zależności od budowy wyróżnia się kilka typów owoców: **pojedyncze** (powstające z jednej zalążni), **zbiorowe** (powstające z wielu zalążni wielosłupkowego kwiatu) oraz **owocostany** (powstające w wyniku przekształcenia całych kwiatostanów) (tab. VI.11.1.).



Ryc. VI.11.13. Owoc rzekomy gruszy.

Tab. VI.11.1. Rodzaje owoców

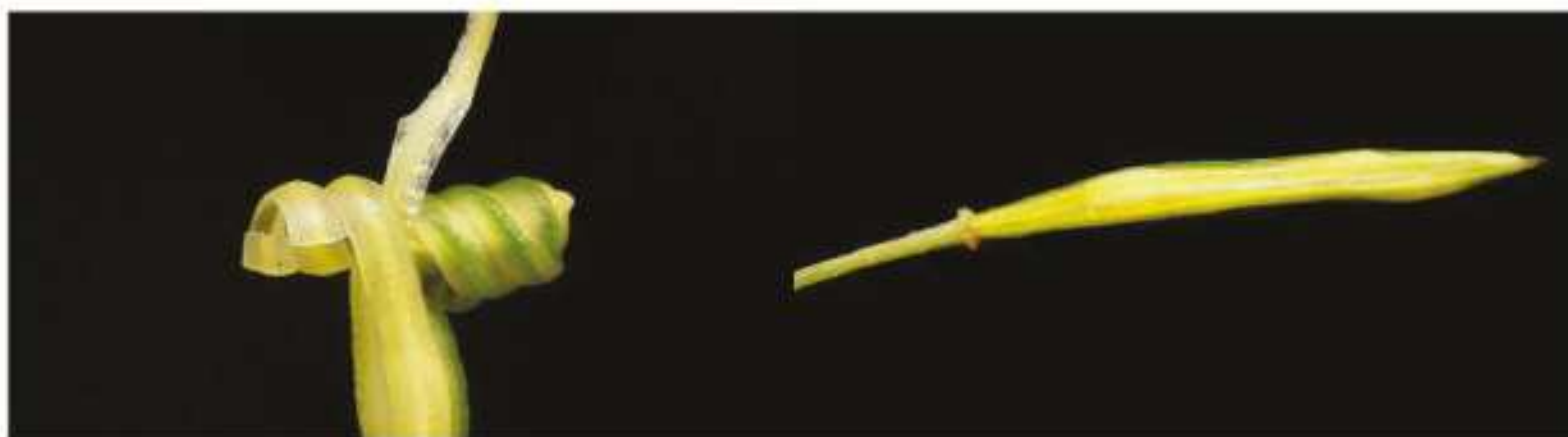
Rodzaj owoców			Przykłady	
Owoce pojedyn- cze (powstają z pojedynczej załążni)	suche – owoce ze skórzastą lub zdrewniałą owocnią	pękające – owocnia otwiera się i wysypuje nasiona		
			Strąk: fasola.	Łuszczyna: rzepak.
				
			Torebka: mak.	Mieszek: kaczeniec.
		niepękające – dojrzała owocnia pozostaje zamknięta		
			Orzech: dąb.	Ziarniak: pszenica.
				
			Nietupka: słonecznik.	Rozłupnia: jesion.

Rodzaj owoców	Przykłady
mięsiste – owoce z soczystą i miękką owocnią	 Jagoda: pomidor.  Pestkowiec: śliwka.  Cytrusy.
Owoce zbiorowe (powstają z wielu zalążni jednego kwiatu)	 Jeżyna.
Owocostany (powstają z przekształcenia całych kwiatostanów)	 Figa.
Owoce rzekome	 Jabłko.

► Sposoby rozprzestrzeniania się owoców i nasion u okrytozalążkowych

autochoria ►

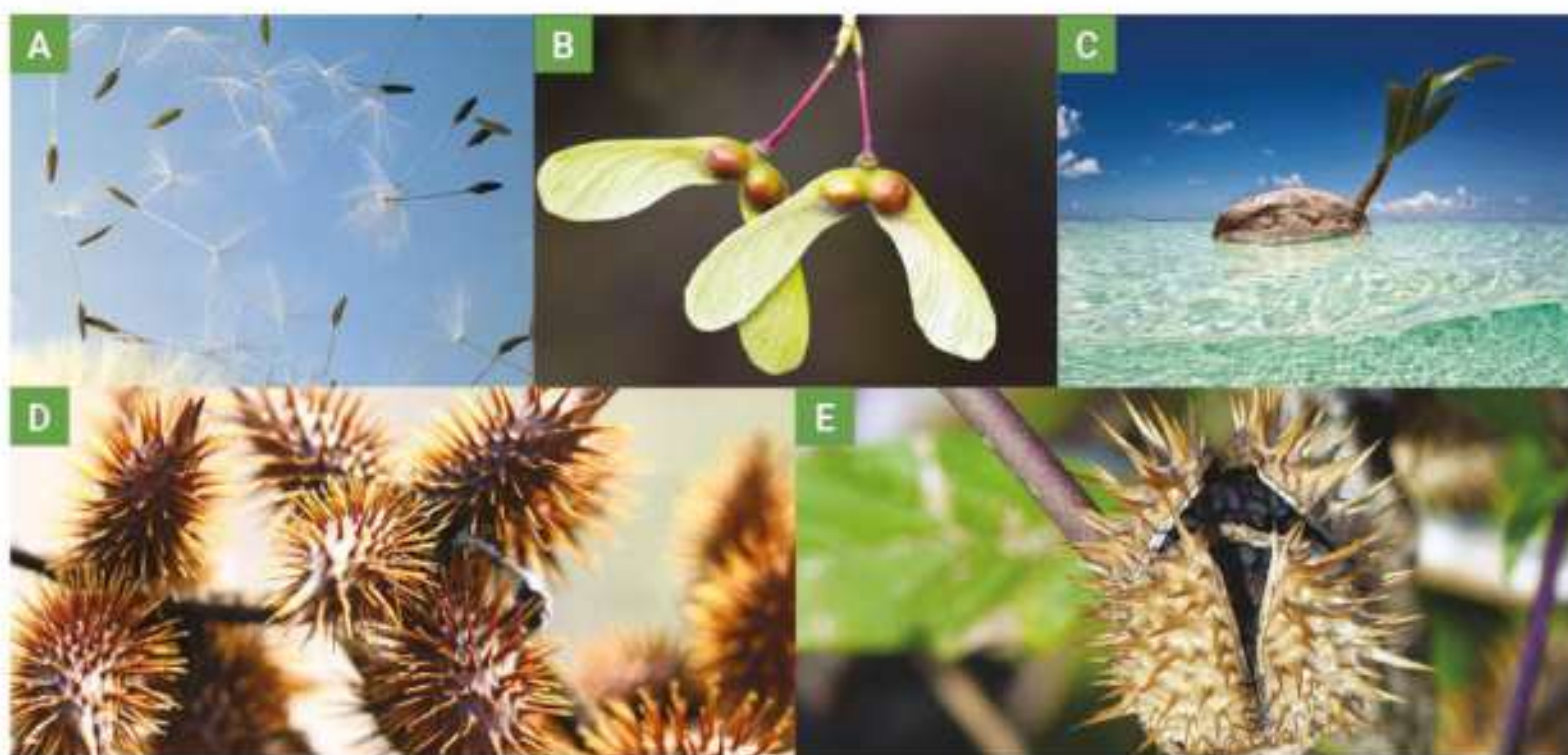
Różnorodność i ogromny zasięg występowania okrytozalążkowych odzwierciedla m.in. różne sposoby rozsiewania nasion i owoców. U niektórych gatunków roślin ułatwia to już sama budowa owocu. Mówimy wtedy o tzw. **autochorii**. Występuje ona u gatunków, których owoce łatwo pękają, a także mają mechanizmy umożliwiające im wystrzeliwanie nasion na znaczne odległości (np. u niecierpka, ogórecznika) (ryc. VI.11.14.).



Ryc. VI.11.14. U niecierpka występuje mechanizm wystrzeliwania nasion.

anemochoria ►

Jednak znakomita większość owoców i nasion okrytozalążkowych jest rozsiewana przez wiatr, zwierzęta oraz wodę (ryc. VI.11.15.). Rozsiewanie nasion za pomocą **wiatru** nazywamy **anemochorią**. W ten sposób rozprzestrzeniają się nasiona wielu roślin. Drobne i lekkie nasiona oraz owoce wiatr unosi na znaczne odległości. Dodatkowym ułatwieniem są różnego typu aparaty lotne, np. oskrzydłone owoce klonu czy pierzaste pióropusze mniszka.



Ryc. VI.11.15. Sposoby rozsiewania nasion i owoców: anemochoria – nasiona mniszka z aparatem lotnym z puchu kielichowego (A) i skrzydłaki klonu (B); hydrochoria – owoce palmy kokosowej (C) unoszone przez wody oceaniczne na wiele kilometrów, dzięki czemu mogą kiełkować na nowych plażach; zoochoria – owoce rzepnia kolczastego (D) lub bielunia dziędzierzawego (E) przyczepiające się do sierści zwierząt.

Wiele nasion i owoców jest rozsiewanych przez **zwierzęta (zoochoria)**. Organy roślin mają specjalne struktury, które umożliwiają im przyczepianie się do sierści i piór zwierząt, np. haczyki, kolce i wyrostki. Niektóre zwierzęta (np. wiewiórki, ptaki) zagrzebują zapasy nasion pod ziemią na zimę – niejedzone kiełkują wiosną. Dodatkowo mięsiste nasiona i owoce stanowią pożywienie dla wielu zwierząt (ptaków, naczelnych, przeżuwaczy czy mrówek), które wydalają niestrawione nasiona wraz z kałem w pewnej odległości od rośliny macierzystej. Dla nasion niektórych gatunków roślin przejście przez przewód pokarmowy jest kluczowym warunkiem koniecznym do zainicjowania procesu kiełkowania. ◀ zoochoria

Zjawisko rozsiewania nasion i owoców za pomocą **wody** nazywamy **hydrochorią**. Owoce rozsiewane tą drogą mają specjalne przystosowania umożliwiające im długie przebywanie w wodzie i nienasiąkanie nią, co umożliwia transport na znaczne odległości. Są to m.in. stwardniała owocnia i dobrze wykształcona tkanka powietrzna (np. u palmy kokosowej). ◀ hydrochoria

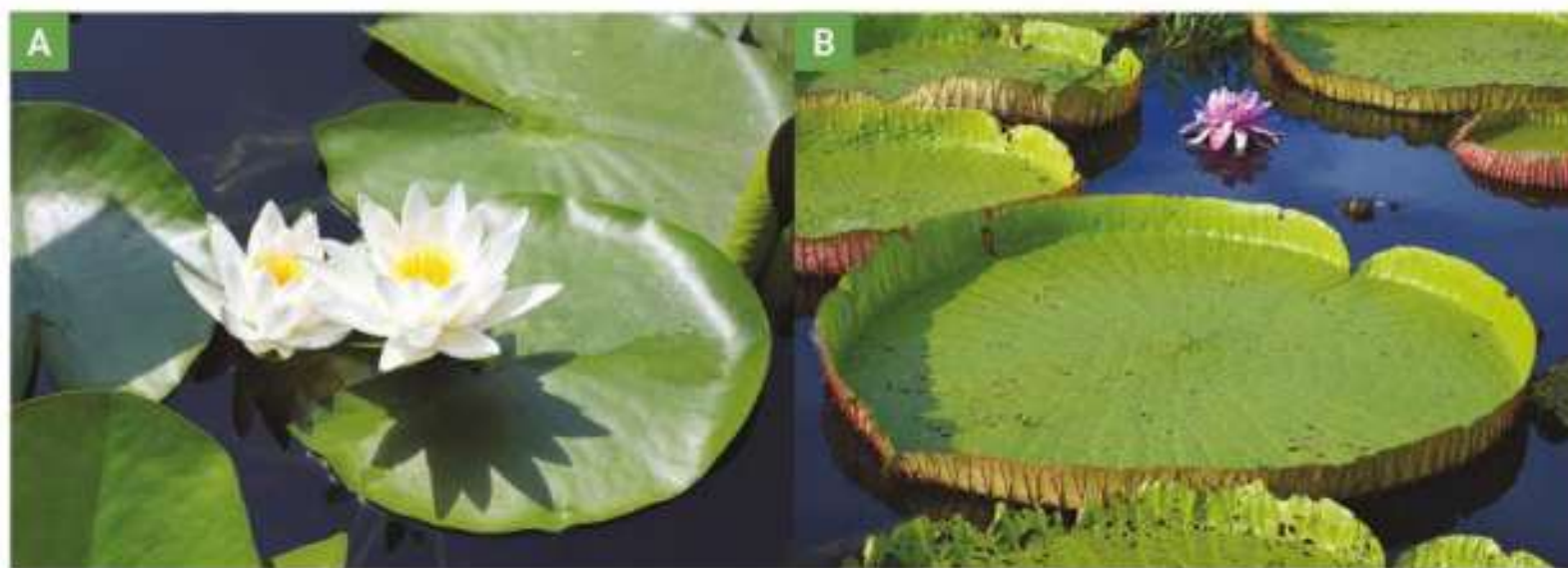
Przegląd systematyczny okrytozalążkowych

Do roślin okrytozalążkowych zaliczamy blisko **300 tys. gatunków**. Współcześnie rośliny te dominują w środowiskach lądowych. Badania ostatnich lat dzielą okrytozalążkowe na kilka monofiletycznych kladów, wśród których wyróżniamy m.in. grzybieniove, magnoliowe, jednoliścienne i dwuliścienne właściwe. Spośród nich największe znaczenie mają **jednoliścienne i dwuliścienne właściwe**. Różnią się one wieloma cechami, m.in. liczbą liścieni w zarodku – stąd ich nazwa (**tab. VI.11.2.**). ◀ 300 tys. gatunków

Tab. VI.11.2. Porównanie jednoliściennych i dwuliściennych

Cecha	Jednoliścienne	Dwuliścienne właściwe
Liczba liścieni w zarodku	jeden	dwa
Kwiaty	zwykle 3-krotne; okwiat najczęściej niezróżnicowany na kielich i koronę	zwykle 4- lub 5-krotne; okwiat w postaci kielicha i korony
Ziarna pyłku	jedna bruzda lub por	trzy bruzdy lub pory
Liście	liście bezogonkowe, wydłużone, równowąskie; unerwienie równoległe	osadzone na ogonkach; blaszka zróżnicowana, unerwienie pierzaste lub siatkowate
Budowa blaszki liściowej (przekrój poprzeczny)	miękkisz asymilacyjny niezróżnicowany	miękkisz asymilacyjny zróżnicowany na miękisz palisadowy i gąbczasty
Wiązki przewodzące w łodydze o budowie pierwotnej	rozproszone na całym przekroju; wiązki zamknięte (bez kambium)	ułożone pierścieniowo; wiązki otwarte (z kambium)
Przyrost łodygi na grubość	zwykle nie występuje (wyjątkiem są np. palmy)	występuje i polega na odkładaniu do środka łodygi drewna wtórnego, a na zewnątrz – łyka wtórnego
System korzeniowy	wiązkowy	palowy

grzybieniowe ➤ **Grzybieniowe.** Należą do nich rośliny wodne (hydrofity), a najliczniejszą rodzinę stanowią grzybieniowate. Gatunki tej grupy mają grube kłącze, które rośnie na dnie zbiornika. Wyrastają z niego liście na długich ogonkach i pojedyncze kwiaty. Część liści jest zanurzona pod wodą, a część – pływająca. Do rodziny grzybieniowatych należą m.in. krajowe gatunki: grążel żółty i grzybienie białe (**ryc. VI.11.16.A**). Ciekawą rośliną jest wiktoria królewska pochodząca z Ameryki Południowej, a uprawiana w naszych ogrodach botanicznych. Jej liście mają niezwykłą wyporność i są w stanie utrzymać ciężar dorosłego człowieka (**ryc. VI.11.16.B**).



Ryc. VI.11.16. Przedstawiciele grzybieniowatych: grzybienie białe (A) i wiktoria królewska (B).

magnoliowe ➤ Z **magnoliowych** wywodzą się rośliny jednościenne i dwuliścienne właściwe. Najczęściej mają formę małych drzew lub krzewów. Charakteryzuje je wiele cech określanych jako pierwotne (lub prymitywne): spiralne (a nie okółkowe) rozmieszczenie elementów kwiatu, wydłużona oś kwiatowa, okwiat nieodróżniony na kielich i koronę oraz obecność cewek w drewnie. Naturalnie rośliny te występują w strefie klimatów zwrotnikowych i podzwrotnikowych. Do magnoliowatych należy wiele gatunków dostarczających popularnych przypraw: muskatołowiec korzenny (gałka muskatołowa), wawrzyn (liść laurowy), cynamonowiec (cynamon), pieprz czarny (**ryc. VI.11.17.**). W naszym kraju ze względu na walory ozdobne często sadi się magnolie oraz tulipanowce.



Ryc. VI.11.17. Pieprz zielony (A) i muskatołowiec korzenny (B) należą do magnoliowych.

Do **jednoliściennych** należy ok. 65 tysięcy gatunków. Są to rośliny zielne, rzadko zdrewniałe (np. bambus). Do tej grupy zaliczamy m.in. wiechlinowate (potocznie trawy), storczykowate (np. wanilia, obuwik, kukurka) i liliowate (np. lilia, tulipan, szachownica). **Trawy** są roślinami zielnymi z pustymi w środku łodygami w postaci źdźbła, podzielonymi na węzły i międzywęzła. Kwiaty wiechlinowatych są wiatropylne i zredukowane, a ich owoc to ziarniak. Do tej grupy należy wiele roślin uprawnych: żyto, pszenica, owies, jęczmień, ryż, kukurydza czy trzcina cukrowa (ryc. VI.11.18.).

Dwuliścienne właściwe obejmują ponad 75% gatunków okrytozalążkowych. Obserwuje się wśród nich ogromną różnorodność form – od drzew po krzewy i rośliny zielne. Wszystkie krajowe drzewa liściaste należą do dwuliściennych właściwych. Grupa ta dzieli się na liczne taksony niższych rang, m.in. rzędy i rodziny. Wśród tych ostatnich, ze względu na znaczenie i rozpowszechnienie, na uwagę zasługują m.in. następujące rodziny: różowate, kapustowate, bobowate oraz astrowate.

Rodzina *różowatych* jest szeroko rozprzestrzeniona na świecie. Obejmuje 90 rodzajów i ok. 2,5 tysiąca gatunków o różnych formach: drzew, krzewów i roślin zielnych. W Polsce występuje ok. 150 gatunków, z których wiele ma duże znaczenie gospodarcze. Należą do nich liczne uprawne drzewa i krzewy owocowe oraz rośliny ozdobne i lecznicze, np. brzoskwinia, czereśnia, grusza, jabłoń, malina, poziomka, aronia, wiśnia (ryc. VI.11.19.).



Ryc. VI.11.18. Przedstawiciele jednoliściennych: (A) trawy, (B) bambus, (C) szachownica.

◀ jednoliścienne

▶ trawy i rośliny uprawne

▶ dwuliścienne właściwe



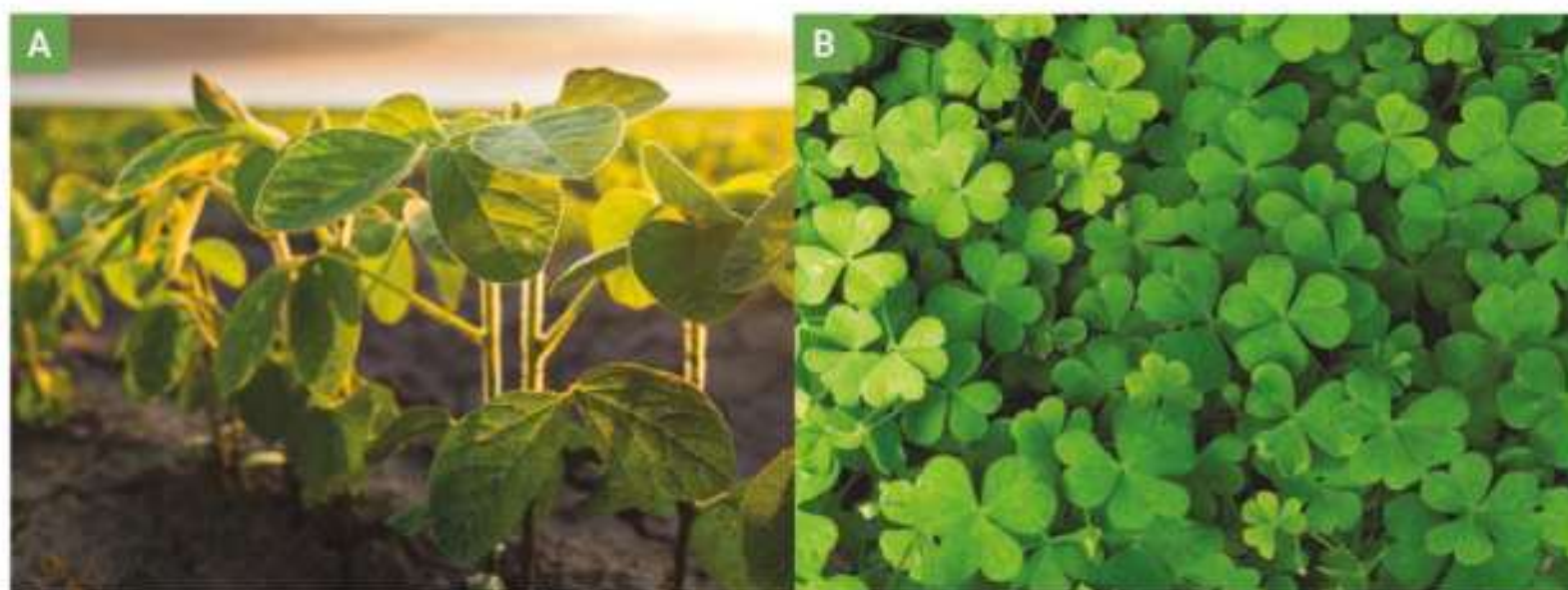
Ryc. VI.11.19. Wiśnia należy do różowatych.

Kapustowate (dawniej krzyżowe) liczą ponad 3700 gatunków, z których większość to rośliny zielne. Kwiaty kapustowatych są czterokrotne (cztery działki kielicha i cztery działki korony). Owocem jest łuszczyzna. Rodzina ta zawiera wiele gatunków o dużym znaczeniu rolniczym (np. rośliny olejowe i paszowe). Są to rośliny uprawne, w tym warzywa, oraz gatunki zielarskie, np. kapusta i jej odmiany (m.in. brokuł, kalafior, brukselka), chrzan, gorczyca, rzodkiew, rzepak (**ryc. VI.11.20.**). Do tej grupy należy także rzodkiewnik pospolity – podstawowy model w badaniach roślinnych.



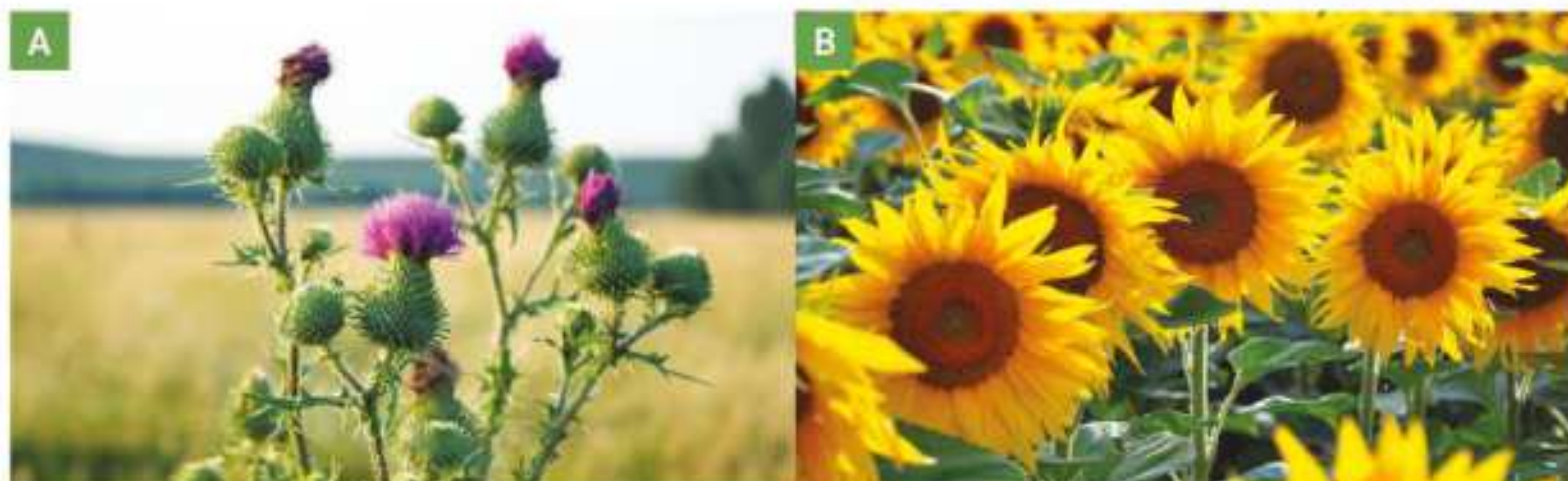
Ryc. VI.11.20. Kapusta warzywna (A) i rzepak (B) należą do kapustowatych.

Bobowate (dawniej motylkowe) obejmują głównie rośliny zielne, rzadziej krzewy (np. robinia akacjowa). Rośliny bobowate żyją w symbiozie z bakteriami brodawkowatymi, co umożliwia im wykorzystanie azotu atmosferycznego. Rośliny te wyróżniają się tzw. kwiatami motylkowatymi, które są grzbieciste i mają postać gro-na. Owocem jest strąk. Gatunki rodziny bobowatych mają bardzo duże znaczenie użytkowe dla człowieka. Należą do nich rośliny pastewne (np. koniczyna, lucerna), rośliny dające wysokobiałkowe nasiona (np. fasola, groch, soczewica, soja, bób), a także rośliny oleiste (np. soja), lecznicze i ozdobne (**ryc. VI.11.21.**).



Ryc. VI.11.21. Soja (A) i koniczyna (B) należą do bobowatych.

Astrowate (dawniej złożone) są najliczniejszą rodziną okrytozalążkowych (ponad 23,5 tys. gatunków). Należą do nich rośliny zielne i byliny. Wiele gatunków wytwarza sok mleczny. Większość tych roślin jest owadopylna. Wyróżniają się drobnymi kwiatami zebranymi w kwiatostan zwany koszyczkiem. Są szeroko wykorzystywane jako rośliny ozdobne (np. aksamitki, dalie, cynie, astry), uprawne (np. słonecznik, sałata, karczoch) i zioła (np. rumianek, ostropest) (**ryc. VI.11.22.**).



Ryc. VI.11.22. Ostropest (A) i słonecznik (B) należą do astrowatych.

Jak bada się różnorodność roślin?

Dział biologii zajmujący się budową, rozmieszczeniem i różnorodnością roślin to **botanika**. W jej obrębie mieści się wiele innych działów, które wyróżniono ze względu na konieczność stosowania różnych technik i metod badawczych. Botanika zajmuje się klasyfikacją (taksonomia), tworzeniem struktury (anatomia, morfologia, histologia) oraz poznawaniem zasad funkcjonowania (fizjologia, socjologia, ekologia) roślin. To z kolei sprawia, że niektóre działy botaniki (np. anatomia czy genetyka) bazują na badaniach laboratoryjnych, a inne (np. taksonomia czy ekologia) opierają się na obserwacji i badaniach terenowych. Przykłady różnych metod eksperymentalnych zaprezentowano w poprzednich rozdziałach. Działami botaniki, w których na szeroką skalę wykorzystuje się badania terenowe, są m.in. fitogeografia oraz fitosocjologia. **Fitogeografia** zajmuje się badaniem rozmieszczenia roślin na Ziemi oraz przyczynami leżącymi u jego podstaw. Z kolei **fitosocjologia** bada skład naturalnych zbiorowisk roślinnych charakterystycznych dla danego terenu. W tym celu na wyznaczonym obszarze (np. 10 m²) jednorodnego zbiorowiska sporządza się spis (tzw. zdjęcie fitosocjologiczne) występujących tam gatunków wraz z opisem warunków siedliskowych (**ryc. VI.11.23.**). Zdjęcia fitosocjologiczne podlegają analizom statystycznym, na podstawie których wyróżnia się konkretne zbiorowiska roślinne.

◀ botanika



Ryc. VI.11.23. Terenowe badania fitosocjologiczne.

► Znaczenie okrytozalążkowych

- Są dominującym składnikiem szaty roślinnej całej planety i głównymi producentami materii organicznej.
- Należą do nich wszystkie rośliny uprawne, m.in.: ryż, pszenica, żyto, ziemniaki, kukurydza, pomidory, fasola, kapusta oraz drzewa owocowe (np. jabłoń, grusza, śliwka, wiśnia) i cytrusowe (np. pomarańcza, cytryna, mandarynka).
- Stanowią surowiec spożywczy, np. do wyrobu kasz i mąk (głównie zboża), w przemyśle cukrowniczym (trzcina cukrowa, burak cukrowy), a także do tłoczenia olejów (m.in. rzepak, słonecznik, soja, oliwka uprawna).
- Całe rośliny lub ich części są stosowane jako przyprawy: pieprz, cynamonowiec, goździkowiec, wanilia, szafran, imbir i kurkuma.
- Są źródłem popularnych używek: kawa, herbata, kakao (w czekoladzie), tytoń.
- Nektar wytwarzany przez rośliny jest surowcem do produkcji miodu przez pszczoły.
- Całe rośliny lub ich części (np. nasiona) są źródłem paszy dla zwierząt (koniczyna, wyka, ziemniaki, buraki pastewne).
- Dostarczają cennego drewna dla przemysłu meblarskiego (np. sosna, dąb, olśa, jesion) oraz włókien (bawełna, len, konopie).
- Stanowią cenne rośliny lecznicze (np. rumianek, mięta, szalwia) oraz źródło substancji leczniczych, np. digitalina, kodeina, atropina, efedryna.
- Są źródłem kauczuku naturalnego i gutaperki wykorzystywanych w wielu gałęziach przemysłu (np. medycznym i gumowym) (**ryc. VI.11.24.**).
- Pozyskuje się z nich oleje oraz olejki eteryczne wykorzystywane w przemyśle farmaceutycznym, kosmetycznym, perfumeryjnym.
- Są wysoko cenione za swoje walory ozdobne.



Ryc. VI.11.24. Z drzewa kauczukowego pozyskuje się kauczuk naturalny.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wymień cechy budowy okrytozalążkowych, które umożliwiły im zasiedlenie i sukces reprodukcyjny w warunkach lądowych.
2. Przedstaw w zeszycie przebieg cyklu życiowego roślin okrytozalążkowych.
3. Podaj pięć cech różniących nagozalążkowe od okrytozalążkowych.
4. Omów sposoby zapylania kwiatów.
5. Przerysuj do zeszytu i uzupełnij poniższą tabelę dotyczącą rodzajów nasion.

Nasiona bielkowe	Nasiona obielkowe	Nasiona bezbielkowe
...	...	...

6. Na dowolnie wybranym przykładzie wyjaśnij związek budowy owocu ze sposobem jego rozsiewania.
7. Wskaż różnicę między kiełkowaniem hipogeicznym i epigeicznym. Podaj przykład gatunków, u których występują.
8. Wymień co najmniej pięć cech różniących jednoliścienne i dwuliścienne właściwe.
9. Uzasadnij, podając konkretne argumenty, następujące stwierdzenie: „Rośliny okrytozalążkowe mają podstawowe znaczenia dla człowieka”.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- **Okrytozalążkowe** współcześnie dominują w środowiskach lądowych. ◀ s. 200
- **Cechami adaptacyjnymi u roślin do lądowych warunków** życia są m.in.: wytwarzanie nasion (do rozmnażania i rozsiewania), owocnia otaczająca nasiona, podwójne zapłodnienie, sposób rozsiewania nasion, wyspecjalizowana tkanka przewodząca, budowa liści, elastyczność adaptacyjna sporofitu. ◀ s. 200
- **Sporofit** okrytozalążkowych powstaje z nasienia i ma postać drzewa, krzewu, byliny lub rośliny zielnej. ◀ s. 201
- **Kwiat** jest organem rozmnażania płciowego i składa się z działek kielicha, płatków korony, pręcików oraz słupka, osadzonych na dnie kwiatowym. ◀ s. 201
- Kwiaty mogą być pojedyncze lub zebrane w **kwiatostany** (groniaste lub wierzchołkowe). ◀ s. 202
- **Działki kielicha i płatki korony** tworzą okwiat, który pełni funkcje ochronne w stosunku do pręcików i słupka oraz przywabia zwierzęta zapylające. ◀ s. 203
- **Pręcik** składa się z nitki i główki, w której mieszczą się dwa pylniki. W każdym pylniku znajdują się dwa woreczki pyłkowe z ziarnami pyłku. ◀ s. 203
- **Słupek** powstał ze zrośnięcia się owocolistków i składa się ze znamienia, szyjki i zalążni z zalążkami. Zalążek zbudowany jest z ośrodka i otaczających go dwóch osłonek. ◀ s. 204
- **Zalążek** zawiera gametofit żeński i po zapłodnieniu przekształca się w nasienie, a zalążnia – w owoc. ◀ s. 204
- **Gametofit męski** rozwija się z ziarna pyłku. Ziarno pyłku wytwarza dwie komórki: z jednej powstają dwie komórki plemnikowe, a z drugiej – lagiewka pyłkowa, która transportuje komórki plemnikowe do zalążni. ◀ s. 204
- **Gametofit żeński** rozwija się z jednej z czterech makrospor, która daje początek woreczkowi zalążkowemu. ◀ s. 204

- s. 204 ▶ • **Woreczek zalążkowy** składa się z siedmiu komórek: komórki jajowej i dwóch synergid (zlokalizowanych na jednym z biegunów zalążka), dwujądrowej komórki centralnej oraz trzech komórek – antypodów (ułożonych na przeciwległym wobec komórki jajowej biegunie woreczka). W zapłodnieniu biorą udział komórka jajowa oraz centralna.
- s. 205 ▶ • Proces zapłodnienia rozpoczyna **zapylenie**, czyli przeniesienie ziarna pyłku na znamię słupka. Zapylenie umożliwiają wiatr oraz zwierzęta zapylające. U niektórych roślin występuje samozapylenie.
- s. 206 ▶ • Proces **podwójnego zapłodnienia** rozpoczyna kiełkowanie ziarna pyłku, którego lagiewka pyłkowa wrasta przez szyjkę słupka do zalążni, gdzie uwalnia komórki plemnikowe. Jedna komórka plemnikowa łączy się z komórką jajową (powstaje zygota, a następnie zarodek nasienia), a druga komórka plemnikowa łączy się z diploidalną komórką centralną, tworząc bielmo (tkankę odżywczą).
- s. 207 ▶ • **Nasienie** zawiera zarodek rośliny i bielmo. Jest otoczone lupiną nasienną. Komórki zarodka wytwarzają jeden lub dwa liścienie, korzeń zarodkowy oraz stożek wzrostu pędu.
- s. 207 ▶ • **Nasiona dzielimy na** bielmowe, obielmowe i bezbielmowe.
- s. 207 ▶ • **Owoce** – generatywne organy roślin – rozwijają się z zalążni. Stanowią ochronę dla nasienia i ułatwiają rozsiewanie.
- s. 207 ▶ • Owoce mogą być pojedyncze (powstają z jednej zalążni, np. strąk fasoli, torebka maku), zbiorowe (powstają z wielu zalążni, np. jeżyna), owocostany (z przekształcenia całego kwiatostanu, np. morwa), **rzekome** (w ich powstawaniu oprócz zalążni biorą udział inne części kwiatu, m.in. dno kwiatowe, np. gruszka).
- s. 210 ▶ • Owoce i nasiona mogą być **rozsiewane przez** wiatr (anemochoria), zwierzęta (zoochoria), wodę (hydrochoria) lub za pomocą mechanizmów własnych rośliny (autochoria).
- s. 210 ▶ • W czasie kiełkowania nasion wytwarza się najpierw **korzeń zarodkowy**, a następnie pęd, z których po czasie powstaje młoda siewka. Kielkowanie rozpoczyna się w optymalnych warunkach, do których należą: obecność wody, tlenu, temperatura, a czasami dostęp do światła.
- s. 211 ▶ • Okrytozalążkowe obejmują ok. **300 tys. gatunków** wchodzących w skład kładów: grzebieniowe, magnoliowe, jednoliścienne i dwuliścienne właściwe.
- s. 212 ▶ • Do **grzebieniowych** zaliczamy rośliny wodne z zanurzonymi lub pływającymi liśćmi, np. grzybień biały, grązel żółty.
- s. 212 ▶ • **Magnoliowe** mają zwykle postać drzew lub krzewów i występują w strefie klimatów równikowych; zaliczamy do nich m.in. pieprz czarny, muskatolowiec korzenny czy wawrzyn.
- s. 213 ▶ • **Jednoliścienne** mają jeden liścień z zarodka, zwykle 3-krotne kwiaty, jednobruzdowe ziarna pyłku, liście zazwyczaj pojedyncze z równoległą nerwacją, nieodróżnicowany miękisz asymilacyjny, wiązkowy system korzeniowy; brak u nich przyrostu na grubość.
- s. 213 ▶ • Do jednoliściennych zaliczamy **trawy** i wiele roślin uprawnych, takich jak: żyto, pszenica, ryż, kukurydza, trzcina cukrowa.
- s. 213 ▶ • **Dwuliścienne** mają dwa liścienie z zarodka, zwykle 5-krotne kwiaty, trzybruzdowe ziarna pyłku, liście zazwyczaj osadzone na ogonkach, pojedyncze z pierzastą lub siatkową nerwacją, różnicowany miękisz asymilacyjny, palowy system korzeniowy; występuje przyrost na grubość.
- s. 213 ▶ • W obrębie **dwuliściennych właściwych wyróżniamy** różowate (np. grusza, jabłoń, malina), kapustowate (np. kapusta, chrzan, gorczyca), bobowate (np. fasola, groch, soja, soczewica, koniczyna) oraz astrowate (np. słonecznik, sałata, rumianek).
- s. 216 ▶ • **Okrytozalążkowe** to podstawowe rośliny uprawne (zboża, warzywa), olejowe (np. rzepak, słonecznik), cytrusowe i przyprawowe. Są też roślinami leczniczymi i stanowią źródło cennego drewna.

Porównanie roślin pierwotnie wodnych i roślin lądowych

s. 129

Cecha	Krasnorosty	Zielenice	Rośliny lądowe
Rodzaje form morfologicznych	jednokomórkowe, kolonijne, nitkowate, wielokomórkowe	jednokomórkowe, wiciowe, kolonijne, nitkowate, wielokomórkowe	wielokomórkowe
Budowa	organizmy plechowe, czasami podzielone na część liściokształtną, łodygokształtną i korzeniokształtną	organizmy plechowe, czasami podzielone na chwytники, część łodygokształtną i korzeniokształtną	występują organy: korzeń, łodyga, liść
Składnik ściany komórkowej	kwasy alginowe i celuloza	celuloza	celuloza
Rodzaj substancji zapasowej	ziarna poliglikanu	skrobia	skrobia
Rodzaj barwników fotosyntetycznych	chlorofil <i>a</i> , karotenoidy, fikoerytryna	chlorofil <i>a</i> i <i>b</i> , karotenoidy	chlorofil <i>a</i> i <i>b</i> , karotenoidy

Cechy mszaków typowe dla plechowców i organowców

s. 155

Mszaki jako formy przejściowe	
Cechy plechowców	Cechy organowców
• rozmnażanie płciowe uzależnione od wody • brak typowych organów – występują ich analogi: chwytники, łodyżki, listki • brak typowej tkanki przewodzącej • niezdrewniałe ściany komórkowe	• obecność wielokomórkowych gametangiów (plemni, rodni) • obecność tkanek (okrywającej, wzmacniającej i mięsistej) w gametoficie wielu gatunków • skórka pokryta kutikulą • występowanie w zarodnikach sporopoleniny (zabezpiecza przed wysychaniem)

TKANKI ROŚLINNE					
TWÓRCZE		STAŁE			
Pierwotne	Wtórne	Okrywające	Wzmacniające	Przewodzące	Miękiszowe
• merystemy wierzchołkowe • merystemy wstawowe • tkanka zarodniotwórcza (niektóre)	• kambium • fellogen • kalus • tkanki zarodnikotwórcze	• skórka (epiderma i ryzoderma) • peryderma	• zwarcica • twardzica	• łyko • drewno	• miękisz zasadniczy • miękisz asymilacyjny • miękisz spichrzowy • miękisz powietrzny • miękisz wodny

Miękisz asymilacyjny		
Palisadowy	Gąbczasty	Wieloramienny
Znajduje się pod górną epidermą liści. Jest zbudowany z przylegających do siebie cylindrycznych komórek. Zachodzi w nim fotosynteza.	Charakteryzuje się luźno ułożonymi komórkami, między którymi występują duże przestwory komórkowe. Funkcją miękiszu gąbczastego jest wymiana gazowa.	Zbudowany z komórek o nieregularnych, pofałdowanych ścianach. Taka budowa zapewnia większą powierzchnię asymilacji, zwłaszcza w liściach o małej powierzchni, np. igłach nago-nasiennych.

Cecha	Tkanka przewodząca	
	Drewno	Łyko
Komórki, z których jest zbudowana tkanka	martwe	żywe
Elementy przewodzące	naczynia, cewki	rurki sitowe, komórki sitowe
Rodzaj transportowanych substancji	woda i sole mineralne	produkty fotosyntezy
Kierunek transportu	w górę rośliny, z korzeni do łodyg i liści	z liści do łodyg i do korzenia

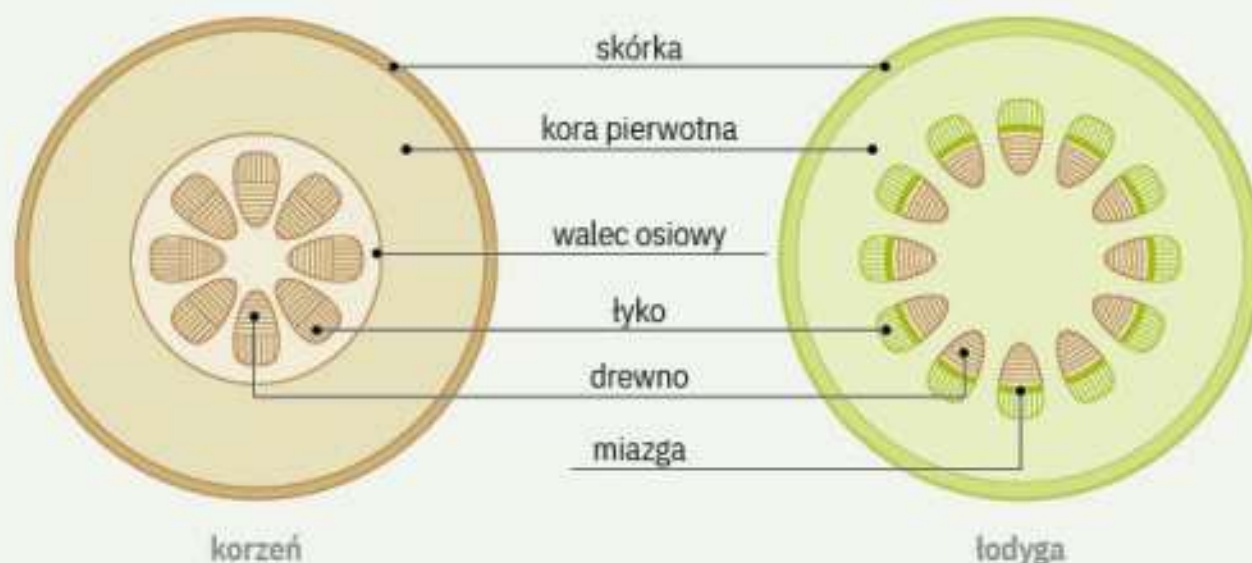
Organy roślinne					
Wegetatywne			Generatywne		
korzeń	liść	łodyga	kwiat	nasienie	owoc

	Mchy	Wątrobowce	Glewiki
Sporofit	• zależny od gametofitu • krótko żyjący • zbudowany z sety z zarodnią • zarodnia z kolumienką i czepkiem	• zależny od gametofitu • krótko żyjący • rozwija się w obrębie rodni • zarodnia bez kolumienki i czepka • wysyp zarodników ułatwiają tzw. sprężyce	• zależny od gametofitu • długo żyjący • zarodnia podłużna z kolumienką • dojrzałe zarodniki wysypują się z górnej części zarodni, a w dolnej wytwarzają się nowe
Gametofit	wzniesiony, ma postać ulistnionej łodyżki z chwytnikami (oprócz torfowców)	plechowaty lub w postaci ulistnionej łodyżki	plechowaty z chwytnikami

Organy wegetatywne

Organ	Korzeń	Łodyga	Liść
Budowa morfologiczna	• strefa wierzchołkowa (stożek wzrostu) z czapeczką • strefa wydłużenia • strefa włósnikowa • strefa korzeni bocznych	• łodyga podzielona na węzły (miejsce wyrastania liści) i międzywęzła (odstęp między węzłami) • strefa wierzchołkowa (z pąkiem wierzchołkowym i stożkiem wzrostu) • strefa wydłużenia • strefa różnicowania	• liść podzielony na blaszkę liściową (z systemem wiązek przewodzących), ogonek i nasadę
Funkcja	• pobieranie wody i soli mineralnych z podłoża • utrzymywanie rośliny w podłożu	• utrzymywanie liści, kwiatów, owoców • przewodzenie wody z solami mineralnymi oraz produktów fotosyntezy	• przeprowadzanie fotosyntezy • udział w transpiracji
Modyfikacje	• korzenie spichrzowe (np. marchew) • korzenie czepne (np. bluszcz) • korzenie podporowe (np. kukurydza) • korzenie oddechowe (np. cyprysnik błotny) • korzenie kurczliwe (np. czosnek) • korzenie powietrzne (np. storczyki) • ssawki (np. kaniańka)	• rozłogi (np. truskawka) • kłącza (np. kosaciec) • bulwy (np. ziemniaki) • wąsy pędowe (np. winorośl) • ciernie pędowe (np. tarnina)	• liście spichrzowe (np. kapusta) • ciernie liściowe (np. kaktusy) • liście czepne (np. groch) • liście pułapkowe (np. rosiczka)

s. 151 ► **Porównanie budowy pierwotnej korzenia i łodygi**



s. 163 ► **Porównanie roślin zarodnikowych**

	Widłakowe	Paprociowe	Skrzypy
Sporofit	• pędy i korzenie widlasto rozgałęzione • liście asymilacyjne z jednym nerwem • zarodnie na liściach zarodnionośnych w postaci kłosów zarodnionośnych	• kłącze z korzeniami przybyszowymi • łodyga • liście pierzaste, młode – pastorałowate • zarodnie zebrane w kupki na spodniej stronie liścia	• kłącze z korzeniami przybyszowymi • łodygi z węzłami • liście łuskowate • zarodnie na liściach tarczowych zebranych w kłosa zarodnionośne
Gametofit	cudzożywny	samożywny	samożywny

s. 200 ► **Zaawansowane cechy roślin nasiennych**

Cecha	Objaśnienie
Zredukowany gametofit	Mikroskopijnej wielkości męskie i żeńskie gametofity są zależne od sporofitu.
Różnozarodnikowość	Mikrospora daje początek gametofitowi męskiemu. Makrospora daje początek gametofitowi żeńskiemu.
Pyłek	Obecność ziaren pyłku powoduje, że do zapłodnienia nie jest potrzebna woda.
Nasiona	Nasiona są długożyciowe (w przeciwieństwie do zarodników) i mogą być transportowane na znaczne odległości.

Porównanie nagozalążkowych i okrytozalążkowych

Cecha	Nagozalążkowe	Okrytozalążkowe
Pokrój	drzewa i krzewy	drzewa, krzewy, rośliny zielne, byliny, rośliny kwiatowe
Elementy tkanek przewodzących	drewno: cewki łyko: komórki sitowe	drewno: człony naczyń i cewki łyko: rurki sitowe
Organy rozmnażania	szyszki	kwiaty
Zapłodnienie	pojedyncze	podwójne
Nasiona	nieosłonięte lub osadzone na łuskach szyszek	zamknięte w owocni (dojrzałej zalążni)
Forma substancji odżywczej i zapasowej	gametofit żeński	bielmo
Liczba znanych gatunków	ok. 850	ponad 300 000
Występowanie	cały świat	cały świat

Porównanie jednoliściennych i dwuliściennych

◀ s. 211

Cecha	Jednoliścienne	Dwuliścienne właściwe
Liczba liścieni w zarodku	jeden	dwa
Kwiaty	zwykle 3-krotne; okwiat najczęściej niezróżnicowany na kielich i koronę	zwykle 4- lub 5-krotne; okwiat w postaci kielicha i korony
Ziarna pyłku	jedna bruzda lub por	trzy bruzdy lub pory
Liście	osadzone na ogonkach; blaszka zróżnicowana, unerwienie pierzaste lub siatkowate	liście bezogonkowe, wydłużone, równowąskie; unerwienie równoległe
Budowa blaszki liściowej (przekrój poprzeczny)	mięksisz asymilacyjny niezróżnicowany	mięksisz asymilacyjny zróżnicowany na mięksisz palisadowy i gąbczasty
Wiązki przewodzące w łodydze o budowie pierwotnej	rozproszone na całym przekroju; wiązki zamknięte (bez kambium)	ułożone pierścieniowo; wiązki otwarte (z kambium)
Przyrost łodygi na grubość	zwykle nie występuje (wyjątkiem są np. palmy)	występuje i polega na odkładaniu do środka łodygi drewna wtórnego, a na zewnątrz – łyka wtórnego
System korzeniowy	wiązkowy	palowy

Związki między gametofitem i sporofitem różnych grup roślin

	Mszaki	Rośliny zarodnikowe	Rośliny nasienne (nago- i okrytozalążkowe)
Gametofit	dominujący	zredukowany, niezależny, przeprowadza fotosyntezę i jest wolno żyjący	zredukowany, mikroskopijnej wielkości, zależny od sporofitu
Sporofit	zredukowany, zależ- ny od gametofitu	dominujący	dominujący
Przykład	 sporofit ($2n$) gametofit ($1n$)	 sporofit ($2n$) gametofit ($1n$)	 sporofit ($2n$) gametofit męski (n) wewnątrz męskiej szyszki z pyłkiem gametofit żeński (n) wewnątrz żeńskiej szyszki z zalążkami gametofit męski (n) wewnątrz pręcików gametofit żeński (n) wewnątrz słupka sporofit ($2n$)

BLOK ĆWICZENIOWY

1. (0–1 pkt)

Oceń prawdziwość poniższych stwierdzeń dotyczących roślin pierwotnie wodnych. Wybierz P, jeśli zdanie jest prawdziwe, lub F, jeśli jest fałszywe. Zadanie wykonaj w zeszycie.

Stwierdzenie	P/F
1. Rośliny pierwotnie wodne obejmują zielenice, krasnorosty i glaukocystofity.	...
2. Zielenice i krasnorosty rozmnażają się za pomocą zarodników.	...
3. Chloroplasty zielenic i krasnorostów są otoczone podwójną błoną.	...
4. W chloroplastach krasnorostów występują chlorofil <i>a</i> , chlorofil <i>b</i> i karotenoidy.	...

2. (0–1 pkt)

Mszaki i rośliny zarodnikowe należą do roślin pierwotnie lądowych. Wśród podanych poniżej cech wskaż te, które są wspólne dla obu tych grup roślin.

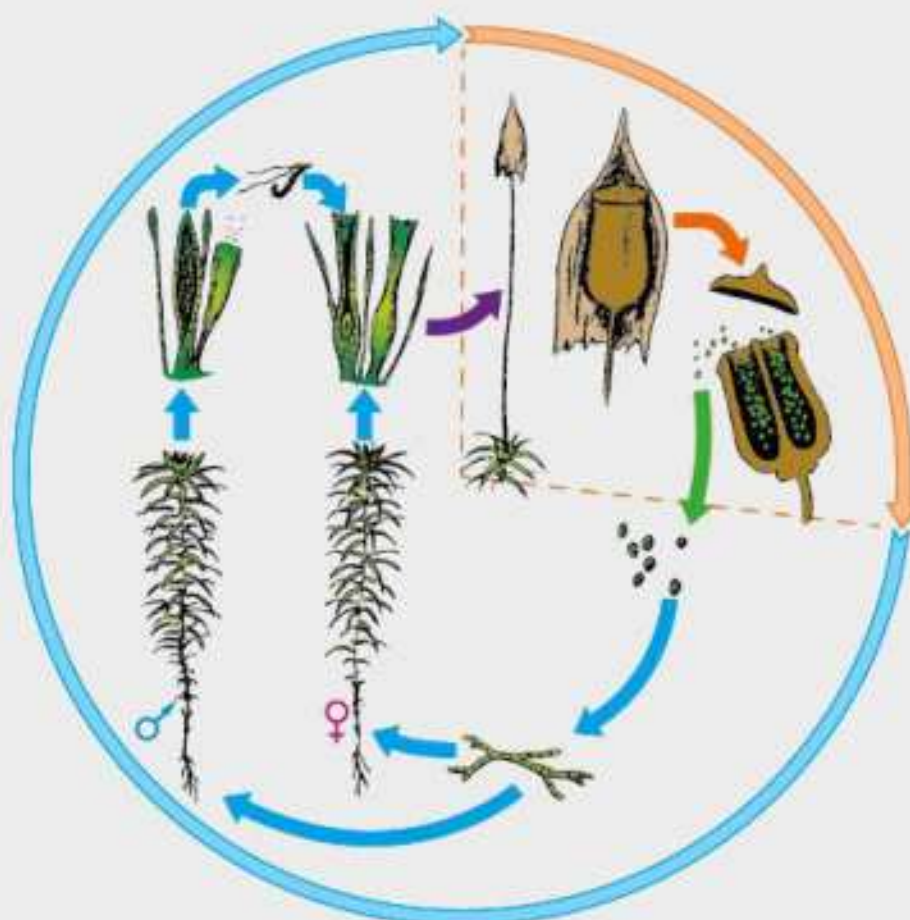
- A. Gametofit dominuje nad sporofitem.
- B. Sporofit dominuje nad gametofitem.
- C. W cyklu życiowym występuje heteromorficzna przemiana pokoleń.
- D. Do zapłodnienia jest konieczna obecność wody.
- E. Mejoza zachodzi w tkance zarodnikotwórczej obecnej w zarodniach.

3. (0–1 pkt)

Na poniższym schemacie przedstawiono cykl rozwojowy mchu płonnika.

3.1. Wskaż, w którym momencie cyklu rozwojowego mchu zachodzi mejoza, i podaj, co jest jej efektem.

3.2. Na podstawie schematu omów wygląd pokolenia dominującego u mchu.

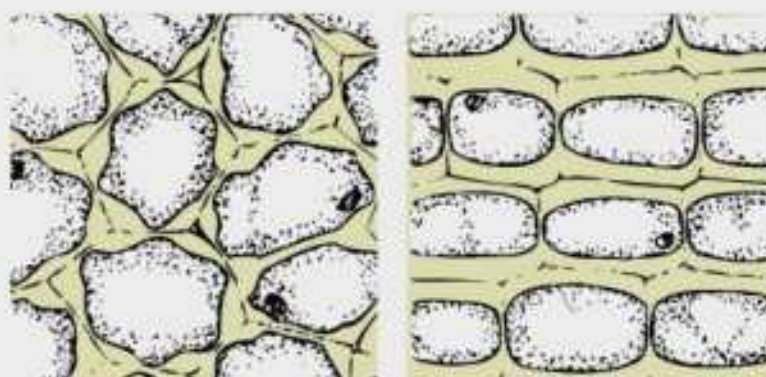


4. (0–1 pkt)

Poniższy rysunek przedstawia pewien rodzaj tkanki stałej. Po jego analizie odpowiedz na pytania.

4.1. Jaki typ tkanki przedstawiono na rysunku?

4.2. Jaką funkcję pełni ta tkanka?



5. (0–1 pkt)

Poniżej wymieniono cechy tkanki przewodzącej.

- A. Zbudowana z martwych komórek o zgrubiałych ścianach.
- B. Rozprowadza substancje organiczne w obrębie całej rośliny.
- C. Transportuje wodę z solami mineralnymi od korzenia w górę rośliny.
- D. Zbudowana z żywych, cienkościennych komórek.
- E. Elementami strukturalnymi są cewki i naczynia.
- F. Zbudowana z komórek sitowych i rurek sitowych.

Ustal, które z wymienionych cech są charakterystyczne dla drewna, a które dla łyka.

6. (0–1 pkt)

Przeanalizuj schemat przedstawiający przekrój poprzeczny przez jeden z organów wegetatywnych roślin nasiennych.

Podaj, jaki organ jest widoczny na tym przekroju, oraz wymień trzy cechy, które potwierdzają tę odpowiedź.



7. (0–1 pkt)

Wśród poniższych cech wskaż te, które dotyczą roślin szpilkowych.

- A. W cyklu rozwojowym występuje podwójne zapłodnienie.
- B. Obecność kwiatów z barwnym okwiatem.
- C. Występuje przyrost na grubość korzenia oraz łodygi.
- D. Zalążki są pozbawione osłonek.
- E. Liście o zredukowanej powierzchni z aparatami szparkowymi umieszczonymi w zagłębieniach.

8. (0–1 pkt)

Na poniższym rysunku przedstawiono przekrój podłużny przez cebulę zwyczajną (*Allium cepa*).



8.1. Wskaż na rysunku następujące organy: liście, lodyga, korzeń.

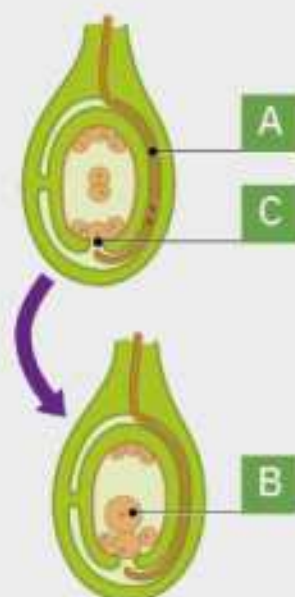
8.2. Wyjaśnij, który z organów uległ modyfikacjom i jakie pełni funkcje.

9. (0–2 pkt)

Na schemacie obok przedstawiono proces podwójnego zapłodnienia, który jest charakterystyczny tylko dla roślin okrytozalążkowych.

9.1. Podaj nazwy elementów oznaczonych literami A, B i C.

9.2. Wyjaśnij istotę procesu podwójnego zapłodnienia u roślin okrytozalążkowych.



10. (0–1 pkt)

Ulistnienie to sposób ułożenia liści na lodydze, które jest istotne w procesie absorpcji promieniowania słonecznego. Głównymi typami ulistnienia są: naprzeciwległe, skrętoległe oraz okółkowe.

Przyporządkuj rodzaj ulistnienia (1, 2 lub 3) do gatunku rośliny, u której występuje.

A. przytulia czepna ...

B. mięta pieprzowa ...

C. robinia pseudoakacjowa ...



11. (0–1 pkt)

Rośliny pierwotnie lądowe rozmnażały się za pomocą zarodników. Współcześnie dominujące rośliny lądowe rozmnażają się za pomocą nasion.

Wskaż dwie cechy nasion, które dają im przewagę nad zarodnikami.

12. (0–1 pkt)

Owoce są organami generatywnymi roślin okrytozalążkowych. Owoc składa się z nasienia oraz owocni, która pełni funkcje ochronne. W tabeli przedstawiono podział owoców według pewnego kryterium.

Przerysuj do zeszytu tabelę przedstawiającą podział owoców. Uzupełnij nagłówki każdej kolumny.

...	...	...
	• jeżyna • truskawka	• morwa • figa

13. (0–1 pkt)

Rośliny nasienne dzielimy na nagozalążkowe i okrytozalążkowe. W obrębie okrytozalążkowych wyróżniamy jednoliścienne i dwuliścienne właściwe.

Przerysuj do zeszytu poniższą tabelę. Uzupełnij ją wymienionymi gatunkami roślin.

sosna limba, pszenica zwyczajna, świerk pospolity, kukurydza zwyczajna, rumianek pospolity, kapusta warzywna, koniczyna łkowa, modrzew europejski, lilia biała

Nagozalążkowe	Okrytozalążkowe	
	Jednoliścienne	Dwuliścienne właściwe
...	...	...



VII. Funkcjonowanie roślin

- ▶ 1. Gospodarka wodna roślin
- ▶ 2. Odżywanie się roślin. Składniki mineralne i organiczne
- ▶ 3. Wzrost i rozwój roślin
- ▶ 4. Regulatory wzrostu i rozwoju roślin
- ▶ 5. Reakcje roślin na bodźce

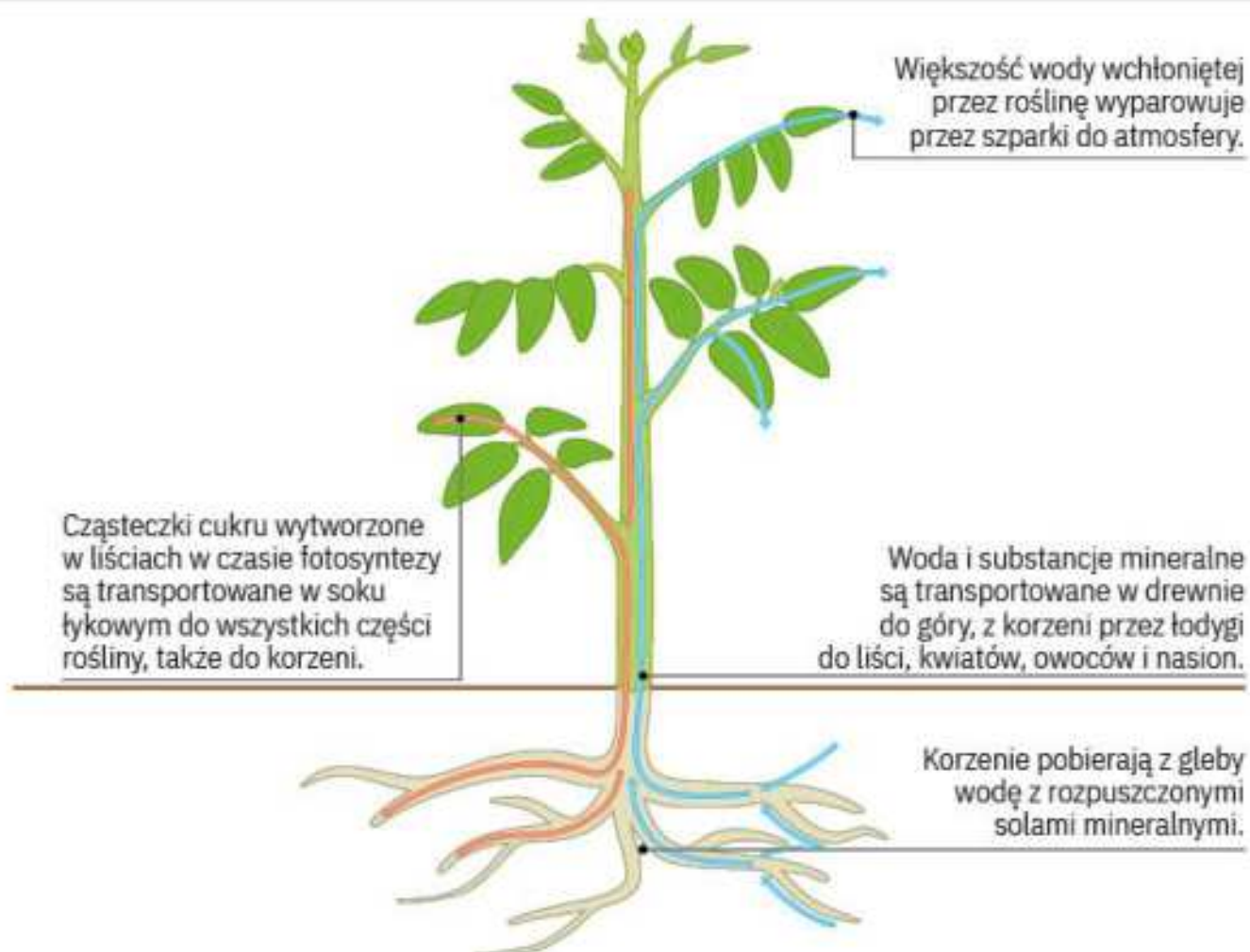
1. Gospodarka wodna roślin

NA TEJ LEKCJI:

- zapoznasz się z funkcjami wody w roślinie;
- dowiesz się, jakie rodzaje procesów warunkują transport wody w roślinie;
- zrozumiesz, co oznacza definicja potencjału wody;
- prześledzisz główne drogi transportu wody w roślinie;
- poznasz mechanizm i rodzaje transpiracji oraz mechanizm otwierania i zamykania się aparatów szparkowych;
- uzyskasz informacje o bilansie wodnym u roślin;
- dowiesz się, na czym polega zjawisko suszy fizjologicznej u roślin.

obecność tkanki przewodzącej

Woda wraz z solami mineralnymi jest pobierana z podłoża za pomocą korzeni. **Obecność tkanki przewodzącej** – drewna – umożliwia jej transport do liści i łodyg. Związki organiczne powstające w czasie fotosyntezy w liściach są rozprawdane do pozostałych organów roślinnych za pośrednictwem łyka (ryc. VII.1.1.).



Ryc. VII.1.1. Ogólny schemat transportu w roślinach naczyniowych. Transport w obrębie drewna zaznaczono kolorem niebieskim, a transport w obrębie łyka – czerwonym.

Tab. VII.1.1. Zawartość wody w wybranych tkankach roślinnych

Rodzaj organu	Zawartość wody [%]
soczyste owoce	85–90
miękkie liście	80–90
pień świeżo ściętego drzewa	50
dojrzałe nasiona	5–15

Funkcje wody w roślinie

Woda wchodzi w skład każdej żywej komórki i stanowi jej niezbędny składnik. Jej zawartość w organach roślin jest różna i waha się od 5 do 90% (**tab. VII.1.1.**). Woda ma unikatowe **właściwości fizykochemiczne**, dlatego pełni wiele funkcji:

właściwości
fizykochemiczne
wody

- jest doskonałym rozpuszczalnikiem dla licznych substancji;
- stanowi środowisko reakcji biochemicznych zachodzących w komórce;
- jest zarówno substratem reakcji biochemicznych (np. w fotosyntezie), jak i ich produktem (np. w oddychaniu komórkowym);
- odpowiada za utrzymanie prawidłowej struktury, a przez to aktywności wielu makrocząsteczek (np. wokół białek tworzy tzw. otoczkę hydratacyjną);
- warunkuje utrzymanie odpowiedniego turgoru komórek i tkanek (m.in. liści w kierunku padającego światła);
- chroni roślinę przed uszkodzeniami związanymi z wysoką temperaturą i zbyt dużym nasłonecznieniem.

Procesy warunkujące przemieszczanie się wody w roślinie

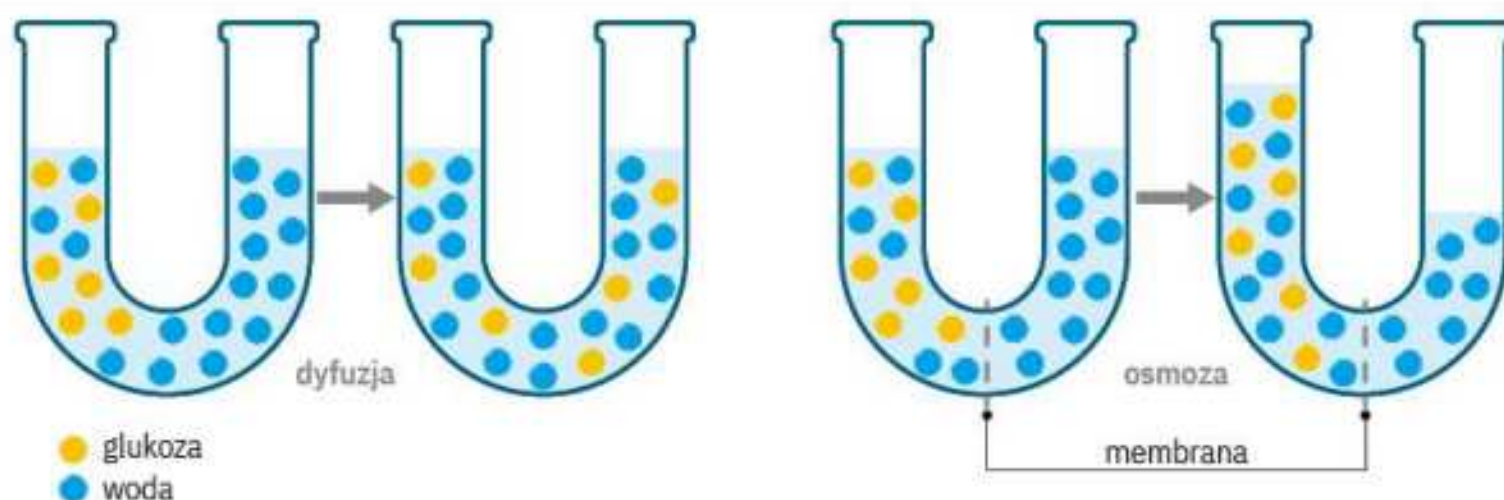
przemieszczanie się
wody w roślinie

Rośliny pobierają wodę z roztworu glebowego za pomocą korzeni (najbardziej intensywnie w strefie włośnikowej). Przemieszczanie się w wody w obrębie rośliny zachodzi w wyniku trzech podstawowych procesów: dyfuzji, przepływu objętościowego i osmozy.

Dyfuzja to proces mieszania się ze sobą cząsteczek wynikający z ich przypadkowych ruchów wywołanych temperaturą. W wyniku dyfuzji substancja przemieszcza się zgodnie z gradientem stężeń – od większego do mniejszego stężenia (**ryc. VII.1.2.**). Dyfuzja ma znaczenie w przemieszczaniu się substancji na krótkie odległości (np. w obrębie komórki) oraz w czasie transpiracji. Transport wody odbywa się także na zasadzie **dyfuzji ułatwionej** dzięki obecności w błonie białek zwanych **akwaporynami**, które tworzą w niej wodne kanały.

Przepływ objętościowy (masowy) zależy od gradientu ciśnienia. Jest odpowiedzialny za przemieszczanie się wody na duże odległości w drewnie.

Osmoza to samorzutne przemieszczanie się wody przez błonę półprzepuszczalną, które jest zgodne z gradientem stężenia wody po obu stronach błony (**ryc. VII.1.2.**). Mają na to wpływ dwa czynniki: gradient stężenia oraz gradient ciśnienia.



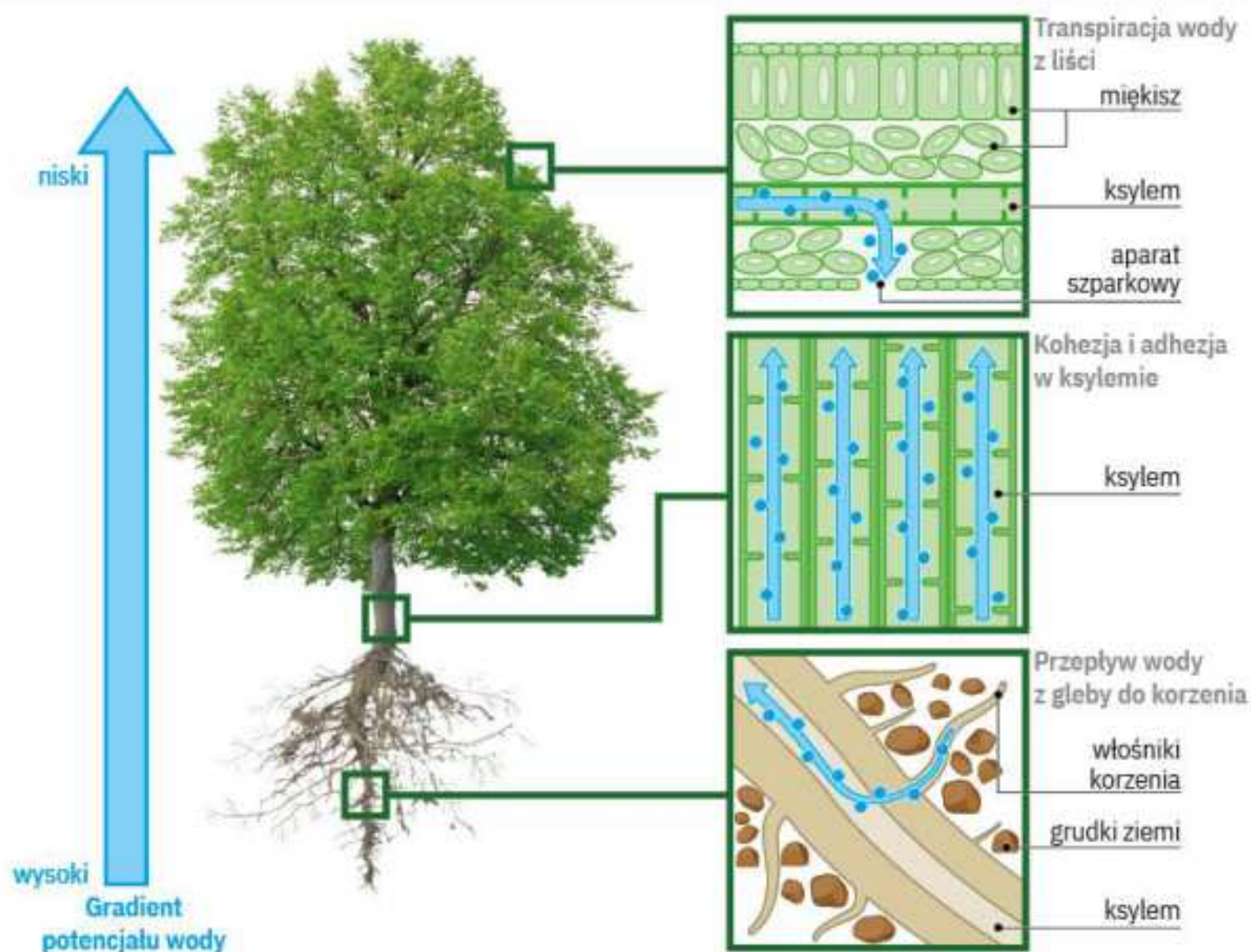
Ryc. VII.1.2. Zasada dyfuzji i osmozy. W czasie dyfuzji cząsteczki przemieszczają się zgodnie z gradientem stężeń: od stężenia wyższego do niższego. W czasie osmozy cząsteczki wody przechodzą przez półprzepuszczalną błonę, prowadząc do wyrównania stężenia wody po obu stronach błony.

potencjał wody ▶ **Potencjał wody**

Potencjał wody to miara zdolności komórki do pobierania lub oddawania wody na zasadzie osmozy. Potencjał wody oznaczamy grecką literą Ψ (psi) i wyrażamy w megapaskalach (MPa). Przyjęto, że potencjał czystej wody wynosi 0 MPa, a rozpuszczenie w niej substancji powoduje spadek potencjału, który przyjmuje wartość ujemną. Potencjał wody jest uzależniony od ciśnienia hydrostatycznego oraz ciśnienia osmotycznego. Ciśnienie hydrostatyczne to nacisk, jaki cytoplazma wywiera na ścianę komórkową. Utrata wody przez komórki powoduje spadek ciśnienia hydrostatycznego, co objawia się wędnięciem jej organów. Ciśnienie osmotyczne zależy od stężeń roztworów po obu stronach błony i jest siłą, z jaką cząsteczki substancji rozpuszczonej przyciągają cząsteczki wody przez błonę półprzepuszczalną. Jeśli do czystej wody dodamy jakąś substancję, to przylączy ona cząsteczki wody i tym samym zmniejszy liczbę cząsteczek wody wolnej – nastąpi spadek potencjału wody.

różnica potencjałów ▶

Potencjał wody wyznacza kierunek jej przemieszczania się (**ryc. VII.1.3.**). Woda przemieszcza się z obszarów o **wyższym potencjale** do obszarów o **niższym potencjale**. Potencjał wody w glebie jest niski (ujemny) ze względu na niewielką ilość rozpuszczonych w niej substancji. Potencjał wody w komórkach korzenia ma również wartość ujemną, ale niższą niż w glebie ze względu na większą ilość rozpuszczonych substancji. Oznacza to, że potencjał wody w korzeniu jest bardziej ujemny niż w glebie. Woda przenika zatem z gleby do korzenia na zasadzie osmozy (**ryc. VII.1.2.**). Wartość potencjału wody osiąga niższe wartości w łodydze i w liściach. Najniższą wartość potencjału wody ma atmosfera. To powoduje, że woda wnika z gleby do korzenia, przepływa przez łodygi i liście, a na końcu przedostaje się do atmosfery (w postaci pary wodnej) (**ryc. VII.1.3.**).



Ryc. VII.1.3. Potencjał wody i etapy transportu wody i soli mineralnych w obrębie rośliny.

Główne drogi transportu wody w roślinie

Transport wody i soli mineralnych zachodzi w układzie **gleba – roślina – powietrze**. W obrębie rośliny jest on ściśle zależny od obecności przedziałów komórkowych, czyli kompartmentów komórkowych. Transport wody z solami mineralnymi odbywa się w następujących etapach:

układ gleba –
roślina – powietrze

I – pobieranie z gleby i transport w poprzek tkanek korzenia;

II – transport pionowy za pomocą elementów przewodzących drewna z korzeni przez łodygę do liści;

III – transport poziomy w obrębie liścia i uwalnianie wody do atmosfery w trakcie transpiracji.

Etap I. Transport gleba – korzeń

Woda i sole mineralne pobrane przez włosniki korzenia są transportowane przez komórki kory pierwotnej do walca osiowego i do wnętrza elementów przewodzących drewna. Na tym etapie transport odbywa się **dwoma kanałami**:

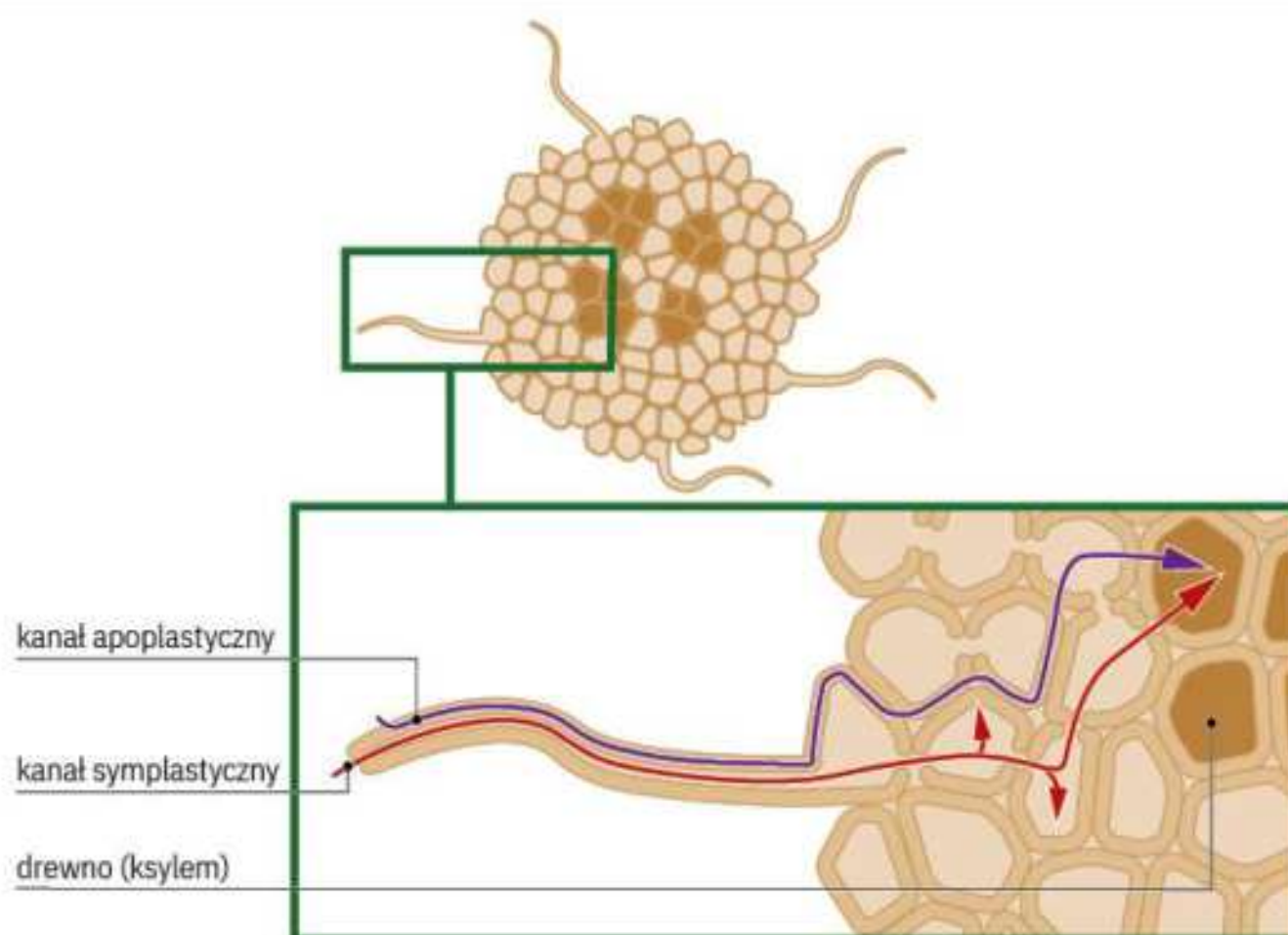
■ **kanalem apoplastycznym**, który obejmuje ściany komórkowe, przestrzenie

kanal
apoplastyczny

międzykomórkowe oraz przestrzenie między mikrofibrilami celulozowymi (ryc. VII.1.4.);

kanal
symplastyczny

- **kanalem symplastycznym**, obejmującym żywe elementy komórek, tj. protoplasty, których ciągłość w obrębie rośliny jest zapewniona dzięki plazmodesmom (ryc. VII.1.4.).



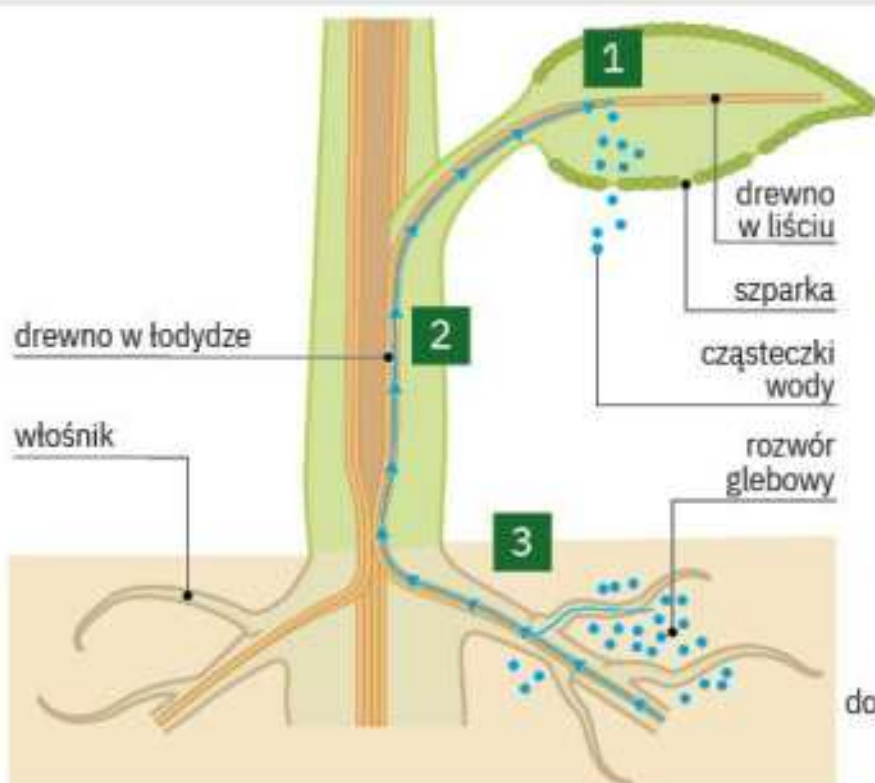
Ryc. VII.1.4. Kanał apoplastyczny i symplastyczny w roślinach.

Etap II. Korzeń – łodyga – liście

Transport pionowy od korzeni do liści odbywa się wzdłuż elementów przewodzących łodygi. Woda i sole mineralne są transportowane z szybkością od kilku do kilkudziesięciu centymetrów na minutę. Transport pionowy jest możliwy dzięki takim zjawiskom, jak transpiracja i parcie korzeniowe, a ułatwiony przez właściwości tkanki przewodzącej (ryc. VII.1.5.).

transpiracja

- **Transpiracja (ryc. VII.1.5.)** to parowanie wody z nadziemnych części rośliny, które odbywa się głównie przez aparaty szparkowe i przetchlinki. Transpiracja umożliwia bierny (bez nakładu energii) transport wody w roślinie. Stałe wyparowywanie wody pozwala na utrzymanie różnicy jej potencjału, a przez to na nieustanny przepływ wody przez roślinę. W naczyniach drewna transpiracja wytwarza także podciśnienie hydrostatyczne, które działa jak **pompa ssąca** i sięga od liści przez łodygę do korzeni. Kluczowy warunek transportu wody w naczyniach stanowi utrzymanie ciągłego słupa wody. Jest to możliwe dzięki siłom kohezji i adhezji cząsteczek wody. **Kohezja** to wzajemne przyciąganie się cząsteczek wody, natomiast **adhezja** to siła przylegania cząsteczek wody do ścian cewki lub naczyń (ryc. VII.1.5.).



1

Woda paruje do atmosfery z powierzchni miękiszu asymilacyjnego. Wywołuje to siłę ssącą, która ciągnie wodę z drewna liścia do komórek miękiszu.

2

Kohezja cząsteczek wody pozwala, by nieprzerwany słup wody wznosił się w wąskich naczyniach i cewkach drewna łodygi.

3

Efektom tego zjawiska jest transport wody ku górze w drewnie korzenia, tworzący ciągły słup wody od drewna korzenia, przez drewno łodygi, do drewna liścia. Podnoszenie się wody w korzeniu przyczynia się do powstania napięcia powodującego dyfuzję wody z roztworu glebowego do wnętrza organu.

Ryc. VII.1.5. Mechanizm transpiracji.

Ograniczenie lub brak transpiracji aktywuje czynne mechanizmy pobierania wody, tzn. wymagające nakładów energii. Mają one znaczenie wspomagające wobec głównego, biernego sposobu transportowania wody. Mechanizm czynny jest związany z aktywnym pobieraniem soli mineralnych z gleby przez komórki korzenia i transportowaniem ich do elementów przewodzących drewna (cewek lub naczyń). Powoduje to zwiększenie stężenia roztworu w komórkach korzenia w stosunku do roztworu glebowego. Efektem jest wytworzenie różnicy potencjałów wody między komórkami korzenia a roztworem glebowym, co powoduje wnikanie wody do korzenia i dalej do elementów drewna. Napływ wody w elementach drewna wytwarza ciśnienie, tzw. **parcie korzeniowe**, które działa jak **pompa tłocząca** wodę w górę rośliny. Objawem występowania parcia korzeniowego u roślin jest **gutacja** i **wiosenny płacz roślin** (ryc. VII.1.6.). Gutacja to wydzielanie wody na brzegach i wierzchołkach liści przez struktury zwane hydatodami u roślin znajdujących się w atmosferze wysyczonej parą wodną. Wiosenny płacz to wyciek wodnistego płynu z pni drzew naciętych wczesną wiosną, kiedy transpiracja jest jeszcze mało wydajna. Wykorzystuje się to do uzyskiwania m.in. soku brzożowego. Oba te zjawiska są zależne od pory dnia i najintensywniej przebiegają w okolicach południa.

◀ parcie korzeniowe



Ryc. VII.1.6. Efekty parcia korzeniowego: (A) gutacja, (B) wiosenny płacz roślin.



Eksperyment



Warunki zachodzenia gutacji

Wprowadzenie: Gutacja zachodzi na skutek parcia korzeniowego, które odbywa się w warunkach ograniczonego dostępu rośliny do wody w glebie oraz przy ograniczonej transpiracji.

Problem badawczy: W jakich warunkach występuje gutacja?

Hipoteza badawcza: Do zajścia gutacji jest konieczne wysycenie powietrza parą wodną.

Instrukcja przeprowadzenia doświadczenia: Nasiona pszenicy namocz przez kilka godzin w wodzie, a następnie wysiej na bibułę do szalek Petriego. Zapewnij stałą temperaturę ok. 25°C, niezbędną do kiełkowania. Siewki z dobrze widocznymi liśćmi przenieś do szklanego, zamkniętego naczynia (np. eksykatora, akwarium, dużej zlewki) i obficie podlej wodą. W celu szybkiego wysycenia powietrza parą wodną do naczynia z siewkami wstaw dodatkowy pojemnik z wodą. Po mniej więcej godzinie obserwuj powierzchnię liści.

Opracowanie wyników: Wynik doświadczenia przedstaw w postaci notatki w zeszycie.

Wnioski: Sformułuj wniosek.

Poszukaj, dowiedz się i wyjaśnij: Czy u wszystkich roślin zachodzi gutacja? Jakie fizjologiczne znaczenie ma ten proces?

Etap III. Liście – atmosfera

W obrębie liścia poziomy transport wody i soli mineralnych biegnie zarówno kanałem apoplastycznym, jak i symplastycznym. Woda wędruje od wiązek przewodzących do komórek miękiszu i przez aparaty szparkowe jest uwalniania w postaci pary wodnej do atmosfery. Nadmiar wody i soli mineralnych niewykorzystanych przez roślinę może być wytracony m.in. w czasie gutacji.

Czynniki wpływające na intensywność transpiracji

Rodzaje transpiracji

Transpiracja odgrywa kluczową rolę w regulacji ilości wody w roślinie. Umożliwia pobieranie i transport wody z solami mineralnymi i wymianę gazową oraz ma działanie ochronne przed przegrzaniem. Wyróżniamy trzy typy transpiracji: kutykularną, szparkową oraz przetchlinkową.

transpiracja
kutykularna

► **Transpiracja kutykularna** zachodzi przez skórę liścia pokrytą kutykulą. Jej intensywność zależy od grubości kutykuli, która nie przepuszcza wody, ale może ją wchłaniać i pęcznieć. Jeśli ilość wody w kutykuli będzie wystarczająco duża, to zacznie ona wyparowywać z powierzchni rośliny. Za pomocą transpiracji kutykularnej wyparowuje tylko 1–3% wody. Rośliny środowisk wilgotnych mają cienką kutykulę i u nich transpiracja kutykularna odgrywa kluczową rolę. U roślin klimatów suchych, których liście pokrywa gruba warstwa kutykuli, ten rodzaj transpiracji prawie nie występuje.

transpiracja
szparkowa

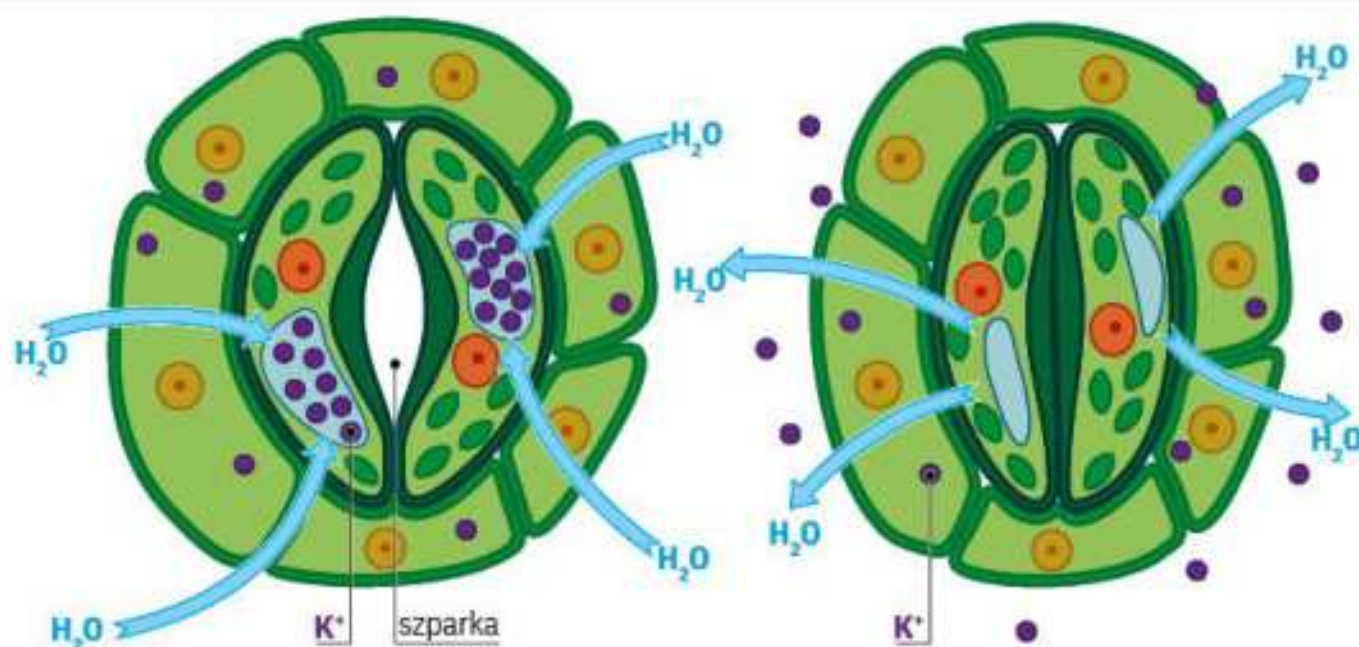
► **Transpiracja szparkowa** dominuje u większości roślin. W tym rodzaju transpiracji woda wyparowuje przez aparaty szparkowe. Aby mogła się uwolnić do atmosfery, aparaty szparkowe muszą być otwarte.

Mechanizm otwierania i zamykania aparatów szparkowych opiera się na zmianach kształtu dwóch komórek szparkowych otaczających szparkę (**ryc. VII.1.7.**). Ich kształt zależy od zmian ciśnienia hydrostatycznego (**turgorowego**) w ich wnętrzu. Zwiększenie turgoru komórek szparkowych wynika z osmotycznego przenikania do ich wnętrza wody z komórek otaczających, a cały proces jest aktywowany światłem (głównie niebieskim). Komórki szparkowe pobierają duże ilości jonów potasu przy nakładzie energii w postaci ATP. Równocześnie w wyniku rozpadu skrobi w komórkach szparkowych powstaje kwas jabłkowy, a z niego – jony jabłczanowe. Wzrost stężenia jonów w komórce prowadzi do obniżenia potencjału wody, co z kolei jest siłą napędzającą napływ wody. W konsekwencji zwiększa się **turgor komórek szparkowych**, a szparka się otwiera. Zamykanie się szparek wywołuje reakcje odwrotne do tych, które powodują ich otwieranie się. Będący ich efektem spadek turgoru komórek szparkowych prowadzi do zamknięcia szparki.

turgor komórek szparkowych

Transpiracja przetchlinkowa odbywa się przez przetchlinki występujące na łodygach drzew. Przetchlinki, w przeciwieństwie do szparek, nie regulują swojej szerokości.

transpiracja przetchlinkowa



Ryc. VII.1.7. Mechanizm otwierania i zamykania aparatów szparkowych.

Tab. VII.1.2. Liczba aparatów szparkowych na mm² powierzchni liścia u wybranych gatunków roślin

Rośliny	Liczba aparatów szparkowych na mm ² powierzchni liścia	
	górna powierzchnia liścia	dolna powierzchnia liścia
Jednoliścienne		
pszenica zwyczajna	50	40
jęczmień zwyczajny	70	85
cebula, czosnek	175	175
Dwuliścienne właściwe		
słonecznik	120	175
lucerna	169	188
bodziszek łąkowy	29	180

Czynniki regulujące szybkość pobierania i ruchu wody w roślinie

czynniki regulujące
ruch wody
w roślinie

Szybkość pobierania i strat wody zależy zarówno od czynników wewnętrznych, jak i zewnętrznych. Do **czynników wewnętrznych** zaliczamy: wielkość systemu korzeniowego, budowę morfologiczną i anatomiczną liści oraz liczbę i rozmieszczenie aparatów szparkowych (tab. VII.1.2.). **Czynnikami zewnętrznymi** regulującymi intensywność transpiracji są: **dostępność wody glebowej**, temperatura, wiatr i światło. Intensywność transpiracji jest regulowana przez dostępność wody glebowej – jej niedobór powoduje zmniejszenie zawartości wody w tkankach liści, co prowadzi do zamykania aparatów szparkowych.

Wzrost **temperatury** zwiększa intensywność transpiracji przez obniżanie względnej wilgotności powietrza oraz wpływ na mechanizm otwierania aparatów szparkowych. **Wiatr** także obniża względną wilgotność powietrza, prowadząc do zwiększania różnicy potencjałów wody między rośliną i powietrzem, a tym samym zwiększa intensywność transpiracji. **Światło** inicjuje otwieranie się aparatów szparkowych oraz ogrzewanie blaszki liścia.



Eksperyment

Wpływ światła i temperatury na intensywność transpiracji

Wprowadzenie: Intensywność transpiracji (parowania) zależy od czynników wewnętrznych (m.in. liczby i rozmieszczenia aparatów szparkowych) oraz zewnętrznych (m.in. temperatury, światła). Istnieje kilka metod wyznaczania intensywności transpiracji. Jedną z nich jest metoda wagowa.

Problem badawczy: Jaki wpływ na intensywność transpiracji mają światło i temperatura?

Hipoteza badawcza: Sformułuj hipotezę badawczą.

Instrukcja przeprowadzenia doświadczenia: Do doświadczenia wykorzystaj ulistnione, tej samej wielkości gałązki trzykrotki. Przygotuj cztery szklane kolby (oznacz je literami A, B, C i D) o pojemności 250 ml i każdą z nich uzupełnij 100 ml wody oraz 20 ml oleju. Do każdej włóż następnie po jednej gałązce trzykrotki. Kolby z roślinami dokładnie zważ i umieść w następujących warunkach: A – z zapewnionym dostępem światła, w temperaturze pokojowej, B – w ciemności, w temperaturze pokojowej (np. w szafce), C – z zapewnionym dostępem do światła, w podwyższonej temperaturze (np. przy kaloryferze), D – w ciemności, w temperaturze 4°C (np. w lodówce). Po dwóch godzinach zważ kolby ponownie. Kolba A stanowi próbę kontrolną, a kolby B, C i D – próby badawcze.

Opracowanie wyników: Przerysuj tabelę do zeszytu i ją uzupełnij.

Próba	Masa początkowa [g]	Masa końcowa [g]	Różnica [g] = ilość wody wytraconej w czasie transpiracji
A – kontrolna	...	...	...
B	...	...	...
C	...	...	...
D	...	...	...

Wnioski: Na podstawie otrzymanych wyników sformułuj wniosek i zapisz go w zeszycie.

Różnica między ilością wody pobranej przez roślinę i ilością wody utraconej w wyniku transpiracji nosi nazwę **bilansu wodnego**. Bilans wodny może być **dodatni**, jeśli ilość wody pobranej przewyższa jej straty (np. pobieranie wody przez rośliny zwiędnięte), lub **ujemny**, kiedy straty są większe niż ilość wody pobranej. Jeżeli deficyt wody postępuje, to roślina zaczyna **więdnąć**. Proces ten może być odwrócony – powrót do normalnego stanu następuje w nocy, kiedy intensywność transpiracji jest minimalna. **Więdnięcie trwałe** oznacza dalsze pogłębianie ujemnego bilansu wodnego. Jeśli spadek uwodnienia jest zbyt wysoki, roślina nie może wrócić do stanu normalnego i ginie.

Czasami zdarza się, że roślina nie może pobierać wody z podłoża, pomimo że woda tam występuje. Stan taki nazywamy **suszą fizjologiczną**. Wiąże się ona ze zbyt niskim potencjałem wody w roztworze glebowym i zbyt małą różnicą potencjałów między glebą a komórkami korzenia. Wskutek tego roślina nie pobiera wystarczającej ilości wody. Przyczyną suszy fizjologicznej może być m.in. duże **zasolenie gleby** lub jej przenawożenie. Ze względu na bilans wodny rośliny możemy podzielić na dwie kategorie: rośliny **hydrostabilne** i **hydrolabilne** (tab. VII.1.3.).

◀ susza fizjologiczna

Tab. VII.1.3. Rośliny hydrostabilne i hydrolabilne

Rośliny hydrostabilne	Rośliny hydrolabilne
• bilans wodny równy zero • brak dużych zmian zawartości wody w tkankach • aparaty szparkowe szybko reagują na zmiany uwodnienia • regulacja dobowa transpiracji (ograniczenie transpiracji w południe i w nocy) • bardzo rozbudowany system korzeniowy • obecność wody zapasowej w korzeniach, pniach, gałęziach i liściach • drzewa • trawy • <u>sukulenty</u>	• ujemny bilans wodny przez długi czas • znaczne zmiany zawartości wody w tkankach • aparaty szparkowe mało wrażliwe na odwodnienie (szparki bardzo wolno się zamykają) • regulacja dobowa transpiracji nie występuje • komórki odporne na szybkie zmiany potencjału wody • rośliny siedlisk nasłonecznionych • trawy

Eksperyment

Kietkowanie i wzrost siewek pszenicy w warunkach suszy fizjologicznej

Wprowadzenie: Susza fizjologiczna uniemożliwia pobieranie dostępnej wody przez korzenie roślin. Często przyczyną suszy fizjologicznej jest zasolenie gleby.

Problem badawczy: Sformułuj problem badawczy.

Hipoteza badawcza: Zasolenie gleby wywołuje suszę fizjologiczną i ogranicza kietkowanie oraz wzrost pszenicy.



Eksperyment



Instrukcja przeprowadzenia doświadczenia: Przygotuj trzy roztwory soli NaCl: 20 g/l, 40 g/l, 80 g/l wody. Cztery doniczki (A–D) napełnij równą ilością ziemi wymieszanej z piaskiem (1:1). Do doniczki A wlej 100 ml wody (próba kontrolna), do doniczki B – 100 ml roztworu o stężeniu 20 g/l NaCl, do doniczki C – 100 ml roztworu o stężeniu 40 g/l NaCl, a do D – 100 ml roztworu o stężeniu 80 g/l NaCl (B–D to próby badawcze). Do każdej doniczki wysiej po 10 nasion pszenicy. Co dwa dni podlewaj doniczki równą objętością wody (A) lub roztworów (B, C, D). Po 10 dniach policz, ile nasion wykiełkowało w każdej doniczce oraz zmierz długość siewek.

Opracowanie wyników: Sporządź tabelę w zeszycie przedstawiającą wyniki doświadczenia.

Wnioski: Na podstawie otrzymanych wyników sformułuj wniosek.

Poszukaj, dowiedz się i wyjaśnij: Podaj, jakie czynniki mogą wywołać suszę fizjologiczną. Które regiony świata są najbardziej narażone na to zjawisko? Wyjaśnij jego praktyczny aspekt.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wymień najważniejsze funkcje wody w roślinie.
2. Wyjaśnij różnicę między dyfuzją i osmozą.
3. Wskaż na rysunku zmiany potencjału wody w układzie gleba – roślina – powietrze. Powiedz, jak powinien być skierowany grot strzałki.
4. Opisz w zeszycie trzy etapy transportu wody z solami mineralnymi w roślinie.
5. Objaśnij pojęcie transpiracji i wymień jej główne rodzaje.
6. Omów mechanizm otwierania i zamykania aparatów szparkowych w roślinie.
7. Wytłumacz, w jaki sposób powstaje zjawisko zobrazone na poniższej fotografii.



8. Wyjaśnij w zeszycie pojęcia *ujemny bilans wodny* i *susza fizjologiczna*.
9. Zaprojektuj doświadczenie wykazujące wpływ temperatury na intensywność transpiracji.



PODSUMOWANIE LEKCJI

- **Obecność tkanki przewodzącej** umożliwia pobieranie wody z solami mineralnymi z gleby oraz transport asymilatów. ◀ s. 230
- **Zawartość wody w organach roślinnych** jest zróżnicowana i waha się od 5% (dojrzałe nasiona) do 90% w owocach. ◀ s. 231
- **Właściwości fizykochemiczne wody** warunkują jej kluczowe dla rośliny funkcje (m.in. jako rozpuszczalnik i reagent reakcji biochemicznych w komórce, środowisko tych reakcji, zapewnianie turgoru i odpowiedniej struktury). ◀ s. 231
- **Przemieszczanie się wody w roślinie** odbywa się w wyniku trzech procesów: dyfuzji, osmozy i przepływu objętościowego. ◀ s. 231
- **Potencjał wody** to miara zdolności komórki do pobierania lub oddawania wody na zasadzie osmozy; potencjał czystej wody wynosi 0 MPa, a rozpuszczenie w niej substancji prowadzi do jego spadku. ◀ s. 232
- Woda przemieszcza się z obszarów o **wyższym potencjale** do obszarów o niższym potencjale. Potencjał wody w glebie ma wyższą wartość niż w komórkach korzenia. Woda wędruje z gleby do korzeni na zasadzie osmozy. ◀ s. 232
- Transport wody i soli mineralnych odbywa się w układzie **gleba – roślina – powietrze** i obejmuje trzy etapy: pobieranie z gleby i transport w poprzek tkanek korzenia, transport pionowy przez lodygę do liści oraz transport poziomy w liściu i uwalnianie wody do atmosfery. ◀ s. 233
- Transport wody i soli mineralnych z gleby do komórek korzenia odbywa się **dwoma kanałami: apoplastycznym** (przez ściany komórkowe i przestrzenie międzykomórkowe) oraz **symplastycznym** (przez żywe elementy komórek). ◀ s. 233
- **Transpiracja** to parowanie wody z nadziemnych części rośliny, co umożliwia bierny transport wody w roślinie dzięki wytworzeniu ciśnienia hydrostatycznego w naczyniach drewna (pompa ssąca). ◀ s. 234
- **Transport czynny wody** jest związany z pobieraniem przez komórki korzeni soli mineralnych i z wytworzeniem różnicy potencjałów wody, co powoduje wnikanie wody do rośliny (**parcie korzeniowe**). ◀ s. 235
- Wyróżniamy **transpirację kutykularną** (przez skórę liścia pokrytą kutykulą), **szparkową** (przez aparaty szparkowe) oraz **przetchlinkową** (przez przetchlinki). ◀ s. 236
- Zamykanie i otwieranie się aparatów szparkowych wynika ze zmian **turgoru komórek szparkowych**. Proces otwierania się jest aktywowany światłem i polega na zwiększeniu w ich wnętrzu stężenia jonów K^+ oraz jabłczanowych, które prowadzą do obniżenia potencjału i napływania wody, a przez to do zwiększenia turgoru. ◀ s. 237
- Intensywność transpiracji zależy od **czynn timerów wewnętrznych** (m.in. liczba aparatów szparkowych) i **zewnętrznych** (m.in. temperatura, ruchy powietrza). ◀ s. 238
- **Bilans wodny** to różnica pomiędzy ilością wody pobranej i utraconej (w wyniku transpiracji). Ujemny bilans wodny (straty wody większe od pobranej ilości) prowadzi do wędnięcia rośliny. ◀ s. 239

2. Odżywanie się roślin. Składniki mineralne i organiczne

NA TEJ LEKCJI:

- dowiesz się, jakie funkcje pełnią składniki mineralne i jak wygląda ich podział;
- poznasz źródła składników mineralnych i mechanizmy ich pobierania;
- prześledzisz mechanizm transportu asymilatów;
- zapoznasz się ze związkami symbiotycznymi roślin.

składniki
pokarmowe roślin

składniki
mineralne

Składniki mineralne należą, oprócz prostych związków nieorganicznych i związków organicznych, do **składników pokarmowych roślin**. Są one konieczne do prawidłowego wzrostu i rozwoju, a zapotrzebowanie na nie zmienia się w trakcie cyklu życiowego rośliny. Spośród wszystkich pierwiastków występujących w przyrodzie u roślin stwierdzono obecność ponad 60, z czego tylko 17 zalicza się do tzw. **niezbędnych składników mineralnych roślin**. Pełnią one kluczowe funkcje w metabolizmie komórek roślinnych, ponieważ:

- stanowią składniki organicznych związków węgla (np. azot, siarka);
- biorą udział w magazynowaniu energii (fosfor w ATP) i w transporcie elektronów (np. Fe, Mn, Cu);
- pełnią funkcje strukturalne (np. wapń jako składnik blaszki środkowej czy magnez jako składnik chlorofilu);
- uczestniczą w osmoregulacji i przekazywaniu sygnałów (np. K, Ca, Mg, Na);
- mają wpływ na aktywność enzymów (np. Zn, Cu, Mg).

Niezbędne **składniki mineralne dzielimy na makroelementy** (ich zawartość wynosi ponad 0,01% suchej masy rośliny) i **mikroelementy** (zawartość poniżej 0,01% suchej masy). Do makroelementów zaliczamy pierwiastki tworzące związki organiczne, tzn. węgiel, tlen i wodór, a także: azot, potas, magnez, wapń, fosfor i siarkę. Do mikroelementów zaliczamy: chlor, żelazo, bor, mangan, cynk, miedź, molibden i nikiel. W miarę rozwoju metod badawczych, opartych głównie na uprawach hydroponicznych (**ryc. VII.2.1.**), stwierdzono, że istnieją pierwiastki, które są niezbędne niektórym gatunkom (oprócz makro- i mikroelementów), a u innych gatunków zapotrzebowanie na nie jest znikome. Pierwiastki te nazwano **pożądanymi**. Zaliczamy do nich: sód, glin, krzem, kobalt, wanad i selen. Krzem jest niezbędny w uprawie ryżu, glin – w uprawie herbaty, a selen – w uprawie kapusty i pomidora. Najważniejsze składniki mineralne, ich funkcje oraz objawy ich niedoboru (**ryc. VII.2.2.**) przedstawiono w **tabeli VII.2.1.**

Ryc. VII.2.1. Hodowle hydropo-
niczne na płynnym podłożu słu-
żą do rozpoznawania pierwiast-
ków niezbędnych dla roślin.

Roztwór kontrolny
zawiera wszystkie
pierwiastki
potrzebne
roślinie

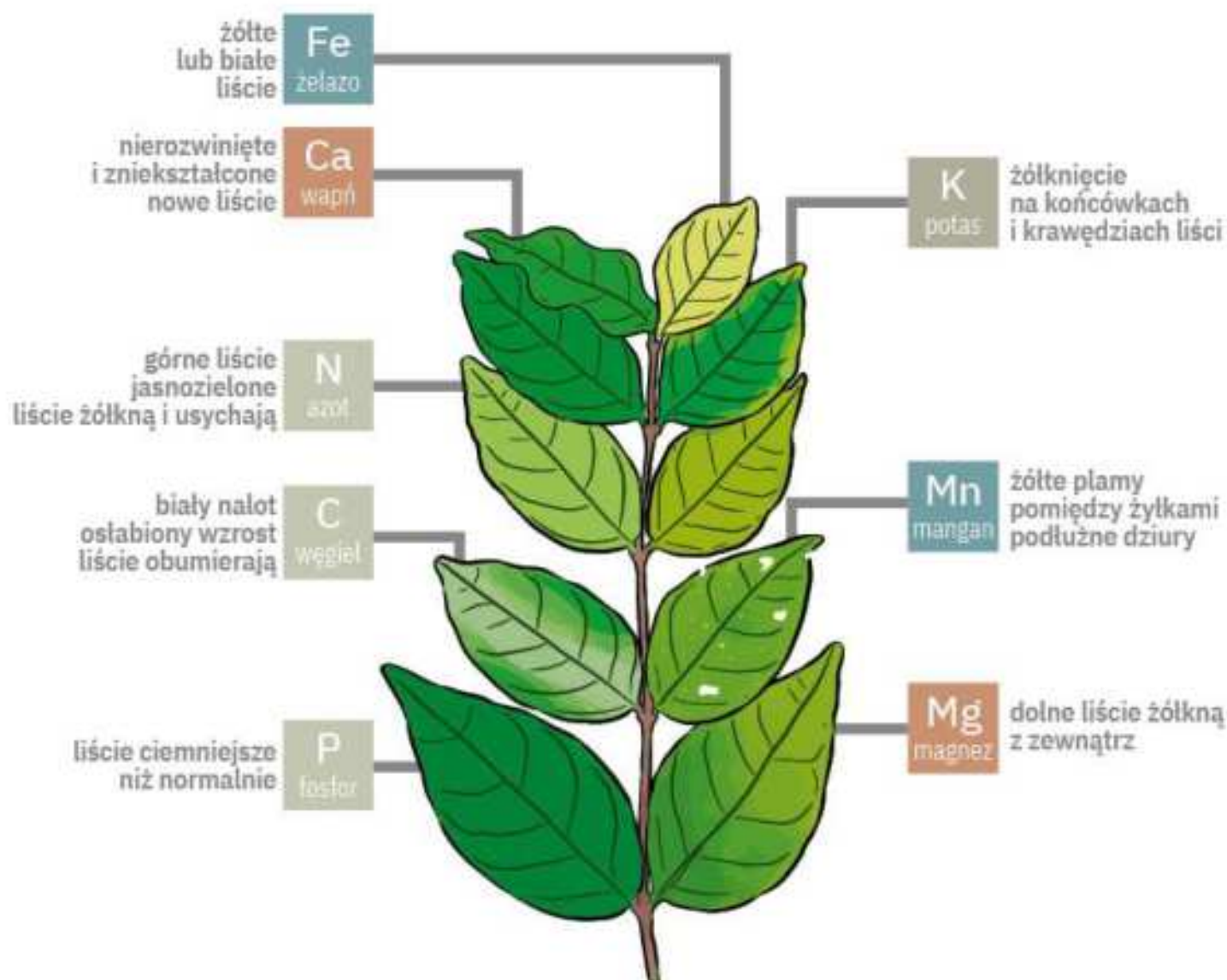


Roztwór
doświadczalny
nie zawiera
potasu



Tab. VII.2.1. Składniki mineralne roślin

Pierwiastek	Forma pobierania	Funkcja fizjologiczna	Objawy niedoboru
Azot (N)	NH_4^+ , NO_3^-	składnik aminokwasów, białek, kwasów nukleinowych, nukleotydów, chlorofilu, zasad azotowych i niektórych hormonów	zahamowanie wzrostu roślin, <u>chloroza liści</u> , pędy wiotkie i cienkie, ograniczone kwitnienie i wcześniejsze dojrzewanie
Siarka (S)	SO_4^{2-}	składnik aminokwasów, białek, koenzymów	zahamowanie wzrostu pędów, kruche i cienkie łodygi, zahamowanie wzrostu młodych liści
Fosfor (P)	H_2PO_4^- HPO_4^{2-}	składnik kwasów nukleinowych, nukleotydów, fosfolipidów, ATP	zahamowanie wzrostu korzeni i pędów, krótkie i cienkie pędy, liście matowe, ciemnozielone, fioletowe przebarwienia łodyg
Potas (K)	K^+	reguluje ciśnienie osmotyczne i otwieranie aparatów szparkowych, aktywuje wiele enzymów	zahamowany wzrost, słabo rozwinięty system korzeniowy, matowe liście, chloroza i <u>nekroza liści</u>
Wapń (Ca)	Ca^{2+}	składnik ściany komórkowej, reguluje przepuszczalność błon komórkowych, aktywuje wiele enzymów, bierze udział w przekazywaniu sygnałów komórkowych	zahamowanie wzrostu, młode liście silnie skręcone i wygięte; zamieranie wierzchołków pędów, korzenie bez włosników, zgnilizna kwiatów
Magnez (Mg)	Mg^{2+}	składnik chlorofilu, aktywuje niektóre enzymy (np. rubisco)	nekroza i zamieranie liści; zahamowanie rozwoju liści
Żelazo (Fe)	Fe^{2+} , Fe^{3+}	składnik enzymów i przenośników elektronów w fotosyntezie, oddychaniu komórkowym i wiązaniu azotu atmosferycznego	chloroza młodych liści
Cynk (Zn)	Zn^{2+}	składnik enzymów uczestniczących w oddychaniu komórkowym i wiązaniu wolnego azotu	chloroza i redukcja powierzchni liści, zahamowanie wzrostu, mniejszy plon owoców



Ryc. VII.2.2. Niedobór któregoś z makroelementów prowadzi do widocznych zmian na liściach roślin.

źródła składników mineralnych

► Źródła składników mineralnych i ich pobieranie

Cztery spośród makro- i mikroelementów, tj. węgiel, wodór, tlen i azot, rośliny czerpią z gleby lub z powietrza atmosferycznego. Źródłem węgla jest CO_2 zawarty w powietrzu, który rośliny pobierają w czasie fotosyntezy. Tlen może być pozyskiwany zarówno z atmosfery, jak i z wody (woda dostarcza również wodoru). Źródłem azotu są zawarte w glebie azotany i sole amonowe powstające w czasie asymilacji azotu atmosferycznego (N_2) przez niektóre bakterie żyjące w glebie. Źródłem większości składników mineralnych jest skała macierzysta, z której powstała gleba. Rośliny pobierają z niej składniki mineralne w postaci rozpuszczonych jonów nieorganicznych. Na przykład azot jest przyswajany w formie jonu amonowego (NH_4^+) i azotanowego (NO_3^-). Obie te formy są pobierane w strefie włośnikowej korzenia. Jony te są transportowane poprzez białkowe przENOŚniki lub pompy białkowe. Z kolei siarka jest pobierana w postaci jonów siarczanowych (SO_4^{2-}) przez przENOŚniki białkowe, a niewielkie jej ilości – w formie gazowej SO_2 przez części nadziemne.

Składniki mineralne są pobierane wybiórczo (selektywnie) na **dwa sposoby**:

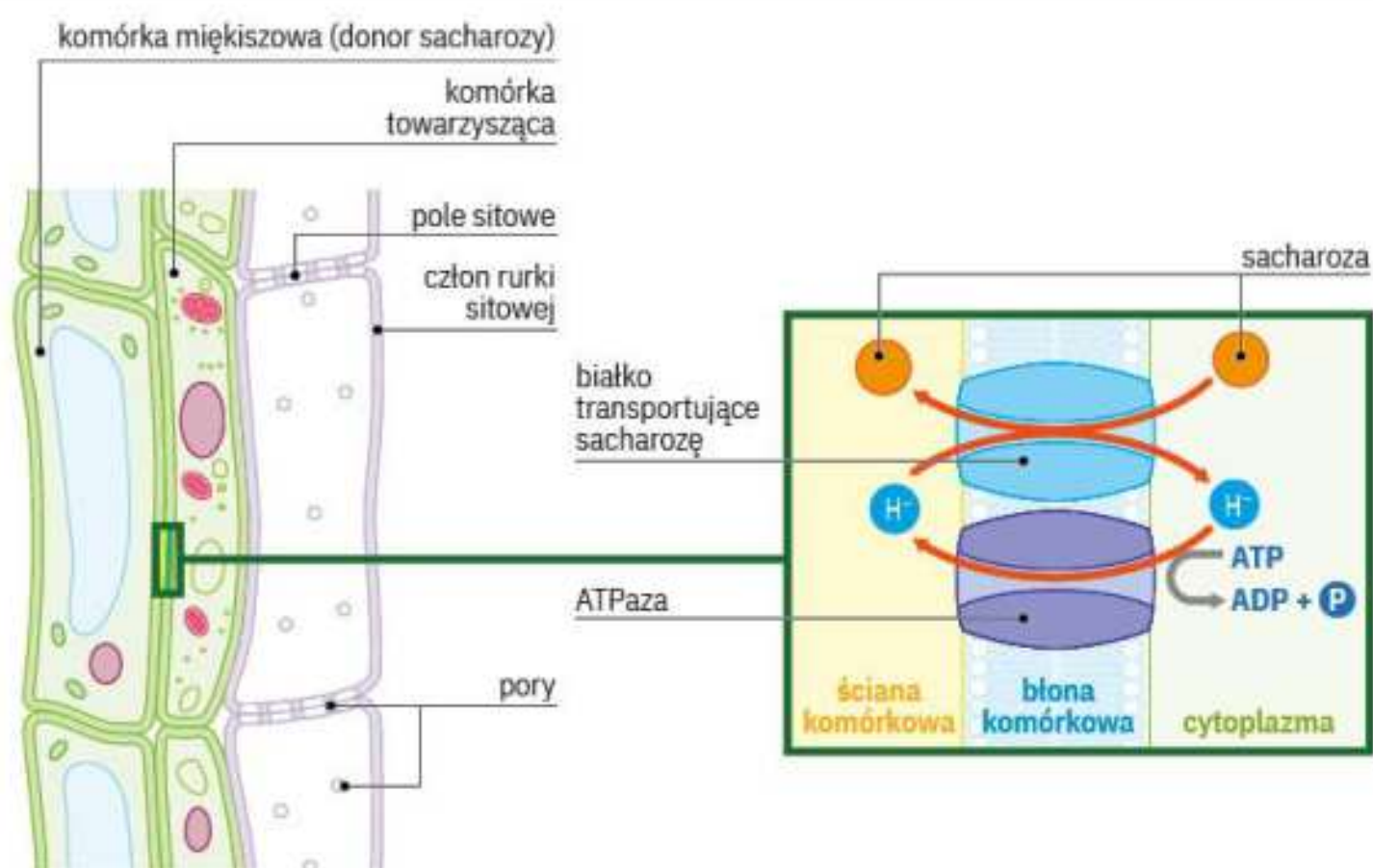
pobieranie bierne ► ■ **pobieranie bierne**, które odbywa się przez włosniki korzenia i jest zgodne z gradientem stężeń, dlatego nie wymaga nakładu energii;

- **pobieranie czynne**, które odbywa się wbrew gradientowi stężeń i w związku z tym wymaga nakładu energii; w tym procesie uczestniczą kanały jonowe oraz białka nośnikowe. ◀ pobieranie czynne

Pobrane jony wędrują do walca osiowego zarówno kanałem apoplastycznym, jak i symplastycznym.

Organiczne składniki pokarmowe roślin

W czasie fotosyntezy w liściach powstają cukry (głównie sacharoza) stanowiące substancje odżywcze (**asymilaty**), które są rozprawdane po całej roślinie. Asymilaty trafiają do elementów przewodzących tyka. Sok znajdujący się w tyku oprócz sacharozy zawiera aminokwasy, kwasy organiczne, białka i hormony. Transport substancji w tyku odbywa się w górę i w dół. Zaczyna się od **źródła**, czyli miejsca, w którym powstaje sacharoza (zwykle są to liście), a kieruje do **zlewni**, czyli miejsca magazynowania (w postaci skrobi) lub szybkiego zapotrzebowania na asymilaty (np. korzenie czy merystemy wierzchołkowe) (**ryc. VII.2.3.**). ◀ asymilaty



Ryc. VII.2.3. Załadunek i rozładunek tyka.

W źródle, czyli w liściach, odbywa się **załadunek tyka**, tzn. przemieszczanie się asymilatów z komórek mięsistych do komórek przyrurkowych, a następnie do członów rurek sitowych za pomocą plazmodesm (**ryc. VII.2.3.**). Proces ten powoduje zużycie energii, gdyż odbywa się wbrew różnicy stężeń sacharozy. Proces odwrotny, czyli **rozładunek tyka**, następuje w zlewni. Sacharoza jest odbierana z elementów przewodzących tyka, co również wymaga nakładu energii (**ryc. VII.2.3.**). ◀ załadunek tyka
◀ rozładunek tyka

- **Mechanizm przemieszczania się asymilatów** w tyku jest bardzo skomplikowany, a przez to nie jest do końca wyjaśniony. Jedną z ostatnich hipotez mówi, że za transport cukrów w tyku odpowiada przepływ masowy pod ciśnieniem. Mechanizm ten opiera się na gradiencie ciśnienia, który tworzy się między źródłem, skąd cukier dostaje się do tyka, a zlewnią, gdzie jest odbierany. Gromadzący się w członach rurek sitowych cukier powoduje obniżenie w nich potencjału wody. Wskutek tego woda z elementów drewna na zasadzie osmozy przenika do rurek sitowych, powodując wzrost ich ciśnienia turgorowego. W zlewni dochodzi do rozładunku, czyli ubytku cukru z rurek sitowych. Spadek stężenia cukru prowadzi do wzrostu potencjału wody – woda przenika z rurek sitowych do komórek otaczających (drewna), powodując spadek ciśnienia turgorowego. Różnica stężenia cukru między źródłem a zlewnią powoduje przemieszczanie się substancji w tyku zgodnie z gradientem ciśnienia przepływu wody i rozpuszczonego w niej cukru.

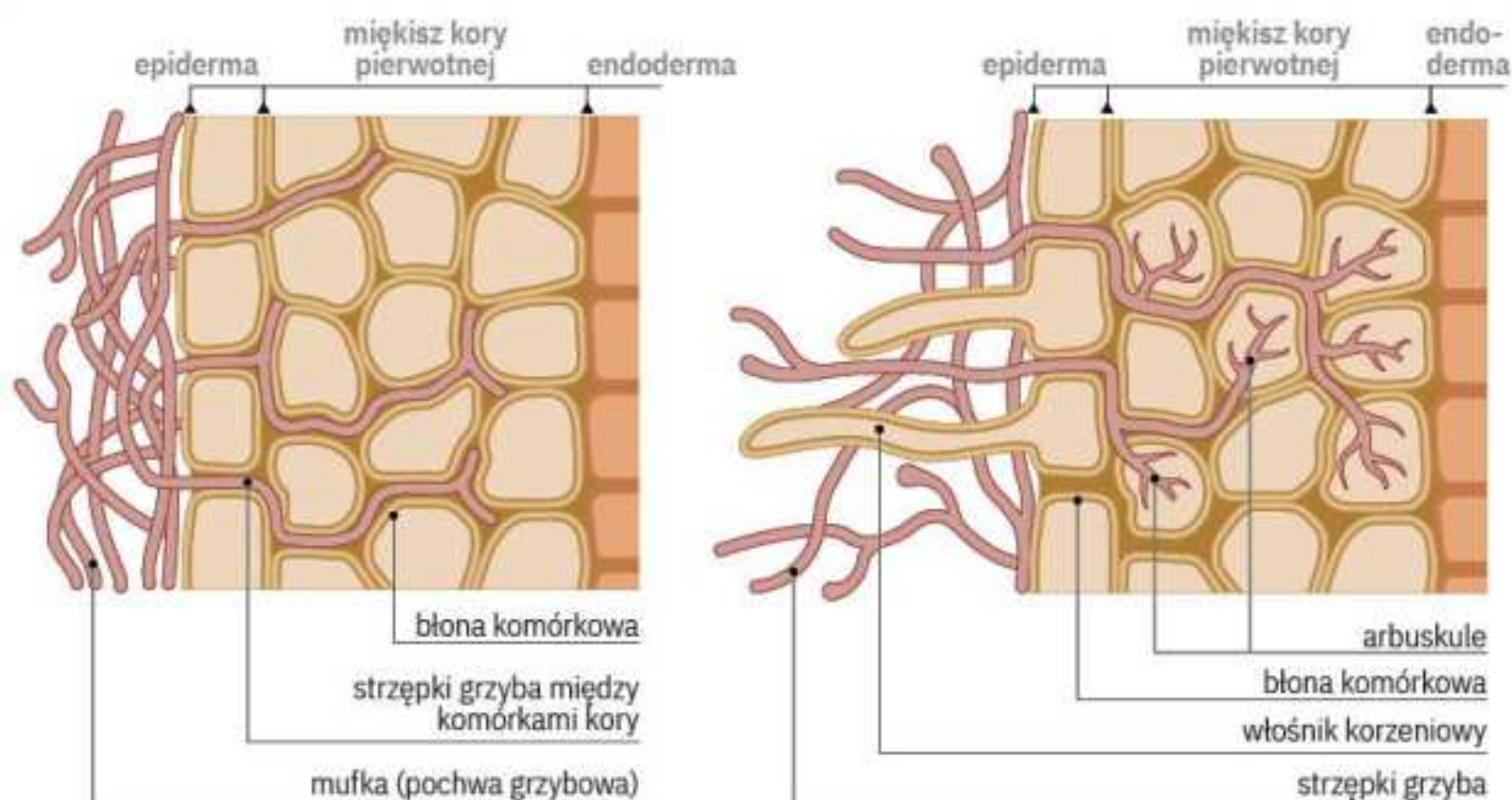
► **Związki symbiotyczne roślin**

Rośliny przez korzenie mogą wchodzić w związki symbiotyczne z niektórymi organizmami glebowymi, np. bakteriami brodawkowymi i grzybami mikoryzowymi. Celem takich związków jest pozyskanie dostępu do składników mineralnych, których zasoby w glebie są ograniczone.

Mikoryza

- mikoryza** ► **Mikoryza** to specjalny rodzaj symbiozy korzeni roślin z niektórymi gatunkami grzybów, które dość powszechnie występują w środowiskach lądowych. Związek mikoryzowy przynosi obopólne korzyści dla tworzących go organizmów: roślina pobiera od grzyba ważne składniki mineralne (np. fosfor), a grzyb pobiera od rośliny związki organiczne wytworzone w czasie fotosyntezy. Mikoryza jest szeroko rozpowszechniona w warunkach naturalnych. Oszacowano, że około 80% gatunków roślin okrytonasiennych oraz wszystkie nagonasienne wchodzi w symbiozę z grzybami mikoryzowymi. W związku mikoryzowym oba organizmy rosną znacznie szybciej, niż gdyby występowały samodzielnie. Wyróżniamy dwa rodzaje mikoryzy:

- **zewnątrzna (ektotroficzna)**, występująca u drzew, w której grzybnia grzyba mikoryzowego tworzy otoczkę wokół korzeni i tylko nieliczne jej fragmenty wrastają do kory pierwotnej korzenia. Grzybnia rozrasta się na znaczne odległości w glebie, zwiększając zasięg pozyskiwania składników mineralnych (**ryc. VII. 2.4.**);
- **wewnętrzna (arbuskularna)**, w której grzybnia wnika do komórek korzenia przez skórkę lub włośnik, rozrasta się między komórkami i penetruje korę pierwotną, a na zewnątrz tworzy długie rozwidlenia. Strzępki grzybni tworzą pęcherzyki, tzw. **arbuskule**, które są miejscem wymiany składników pokarmowych między grzybem a rośliną. Ten typ mikoryzy występuje przede wszystkim u roślin zielnych. Dostarcza roślinie głównie cynku, miedzi i fosforu (**ryc. VII.2.4.**).



Ryc. VII.2.4. Rodzaje mikoryzy: (A) ektotroficzna, (B) arbuskularna.

Bakterie brodawkowe

Innym przykładem związku symbiotycznego roślin jest młodsze ewolucyjnie współzycie z **bakteriami brodawkowymi** (np. z rodzaju *Rhizobium*). Bakterie brodawkowe mają zdolność wiązania wolnego azotu atmosferycznego (N_2) i przekształcania go w formę przyswajalną dla roślin: jony NH_4^+ lub NO_3^- . Bakterie te wchodzi w związki z korzeniami roślin bobowatych, np. fasolą, grochem czy soją. Na korzeniach powstają struktury zwane **brodawkami korzeniowymi**, w których żyją miliony bakterii (ryc. VII.2.5.).

Związek ten jest korzystny dla obu partnerów. Bakterie w zamian za produkty fotosyntezy dostarczają roślinie dostępnych form azotu. Dowiedziono, że za wytworzenie związku między roślinami a bakteriami brodawkowymi odpowiada mechanizm oparty na wydzielaniu przez roślinę substancji chemicznych, które „wabią” bakterie. Z kolei bakterie swoją obecność na korzeniach sygnalizują poprzez wydzielanie specjalnego czynnika *Nod* (od ang. *nodulation*, czyt. nodulejszyn – tworzenie brodawek), który łączy się z komórkami włosników korzeniowych. Związanie czynnika *Nod* rozpoczyna proces formowania brodawek korzeniowych. Mechanizm ich tworzenia opiera się zatem na sygnalizacji komórkowej i zachodzi w sytuacjach zubożenia gleby w niezbędny azot (ryc. VII.2.6.).

bakterie
brodawkowe



Ryc. VII.2.5. Brodawki korzeniowe grochu.

dzielące się komórki miękiszu
kory pierwotnej korzenia

bakterioid

bakterie z rodzaju
Rhizobium

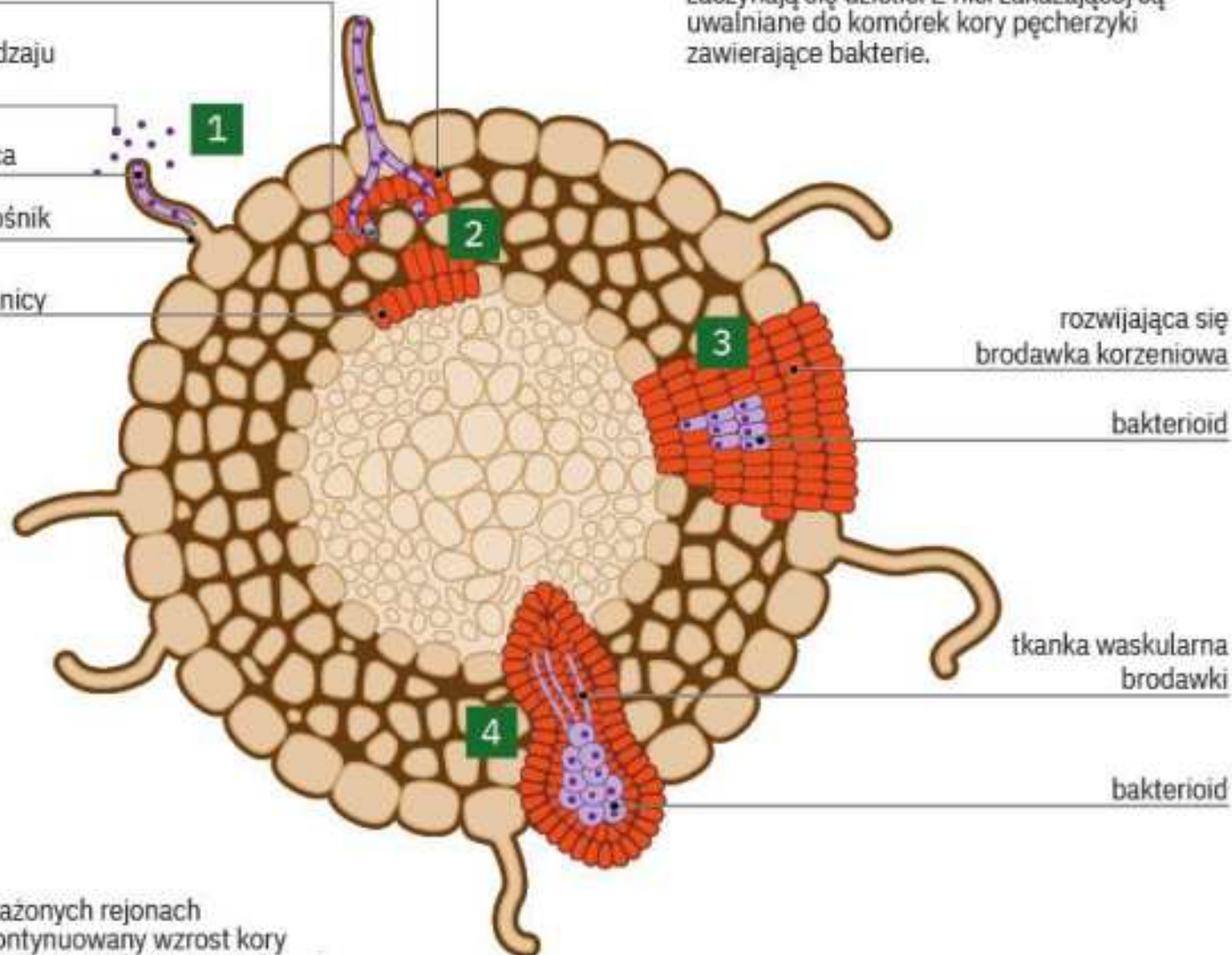
nić zakażająca

zakażony włosnik

dzielące się
komórki okolicy

1 Korzenie wydzielają sygnały chemiczne, które przyciągają ryzobia. Bakterie wytwarzają sygnały wywołujące m.in. wydłużenie włosników.

2 Bakterie penetrują komórki kory pierwotnej korzenia. Komórki kory pierwotnej i okolicy zaczynają się dzielić. Z nici zakażającej są uwalniane do komórek kory pęcherzyki zawierające bakterie.



3 W zakażonych rejonach jest kontynuowany wzrost kory i okolicy. Powoduje to wyrośnięcie brodawki na powierzchnię korzenia.

4 Brodawka wykształca tkankę waskularną, która zaopatruje ją w składniki pokarmowe.

Ryc. VII.2.6. Powstawanie brodawek korzeniowych.

Endofity

endofity ► **Endofity** to organizmy (bakterie, grzyby), które stale bytują w tkankach roślin, nie powodując przy tym objawów chorobowych. Szacuje się, że większość roślin na Ziemi zawiera endofity. Ich obecność wpływa korzystnie na wzrost i rozwój roślin oraz podwyższa ich odporność na niekorzystne warunki środowiska (np. zasolenie gleby czy brak wody).

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wymień w zeszycie funkcje pełnione przez składniki mineralne w roślinie.
2. Podaj przykłady makroelementów, mikroelementów i pierwiastków pożądaných. Wymień funkcje i objawy niedoboru dwóch z nich.
3. Wyjaśnij, w jaki sposób odbywa się transport asymilatów w roślinie.
4. Wytlumacz, jakie znaczenie dla rośliny mają związki symbiotyczne z bakteriami brodawkowymi i grzybami mikoryzowymi.



PODSUMOWANIE LEKCJI

- Roślinnymi składnikami pokarmowymi są składniki mineralne i związki organiczne. ◀ s. 242
- Związki mineralne pełnią kluczowe funkcje w metabolizmie komórek (m.in. są składnikami związków organicznych i aktywatorami enzymów, biorą udział w magazynowaniu energii). ◀ s. 242
- Składniki mineralne dzielimy na makroelementy (powyżej 0,01% suchej masy roślin: węgiel, tlen, wodór, azot, potas, magnez, wapń, fosfor i siarka) oraz mikroelementy (poniżej 0,01% suchej masy: chlor, żelazo, bor, mangan, cynk, miedź, molibden i nikiel). ◀ s. 242
- Składniki mineralne są **pobierane** z powietrza (np. węgiel w postaci CO_2), wody (m.in. O_2) i gleby (np. azot). ◀ s. 244
- Składniki mineralne są **pobierane w sposób bierny** (zgodnie z gradientem stężeń przez włosniki korzenia) i **czynny** (m.in. przez kanały jonowe). ◀ s. 244
- Składniki organiczne (**asymilaty**) są produkowane w liściach i transportowane za pomocą elementów lyka do innych części rośliny. Kierunek transportu wyznacza miejsce produkcji asymilatów (tzw. źródło), z którego wędrują one do zlewni, czyli miejsca odbioru. ◀ s. 245
- W źródle następuje **załadunek lyka**, czyli przemieszczenie asymilatów z komórek miękiszowych do członów rurek sitowych; w zlewni natomiast zachodzi rozładunek. ◀ s. 245
- Mechanizm transportu asymilatów odbywa się dzięki różnicy ciśnienia wody oraz stężenia cukru między źródłem a zlewnią. ◀ s. 246
- Rośliny czerpią dodatkowe składniki pokarmowe dzięki **związkom symbiotycznym** z grzybami (mikoryza), bakteriami brodawkowymi i endofitami. ◀ s. 246
- Celem **mikoryzy** jest pozyskanie dostępu do składników mineralnych (głównie fosforu) w glebie. Mikoryza może być zewnętrzna (grzybnia tworzy otoczkę wokół korzenia) lub arbuskularna (strzępki grzyba wnikają do komórek korzenia). ◀ s. 246
- Bakterie brodawkowe mają zdolność wiązania wolnego azotu i przekształcania go w formy przyswajalne dla roślin. ◀ s. 247

3. Wzrost i rozwój roślin

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz różnicę między wzrostem i rozwojem roślin;
- prześledzisz etapy cyklu osobniczego roślin i ich charakterystykę.

rozwój roślin ▶ W trakcie życia u roślin zachodzi szereg skomplikowanych, powiązanych i nakładających się na siebie procesów. **Rozwój rośliny** jest procesem nadrzędnym w stosunku do jej wzrostu, różnicowania czy morfogenezy, uwarunkowanym genetycznie i obejmującym wszystkie zmiany zachodzące w ciągu całego jej życia od zapłodnienia komórki jajowej do śmierci organizmu.

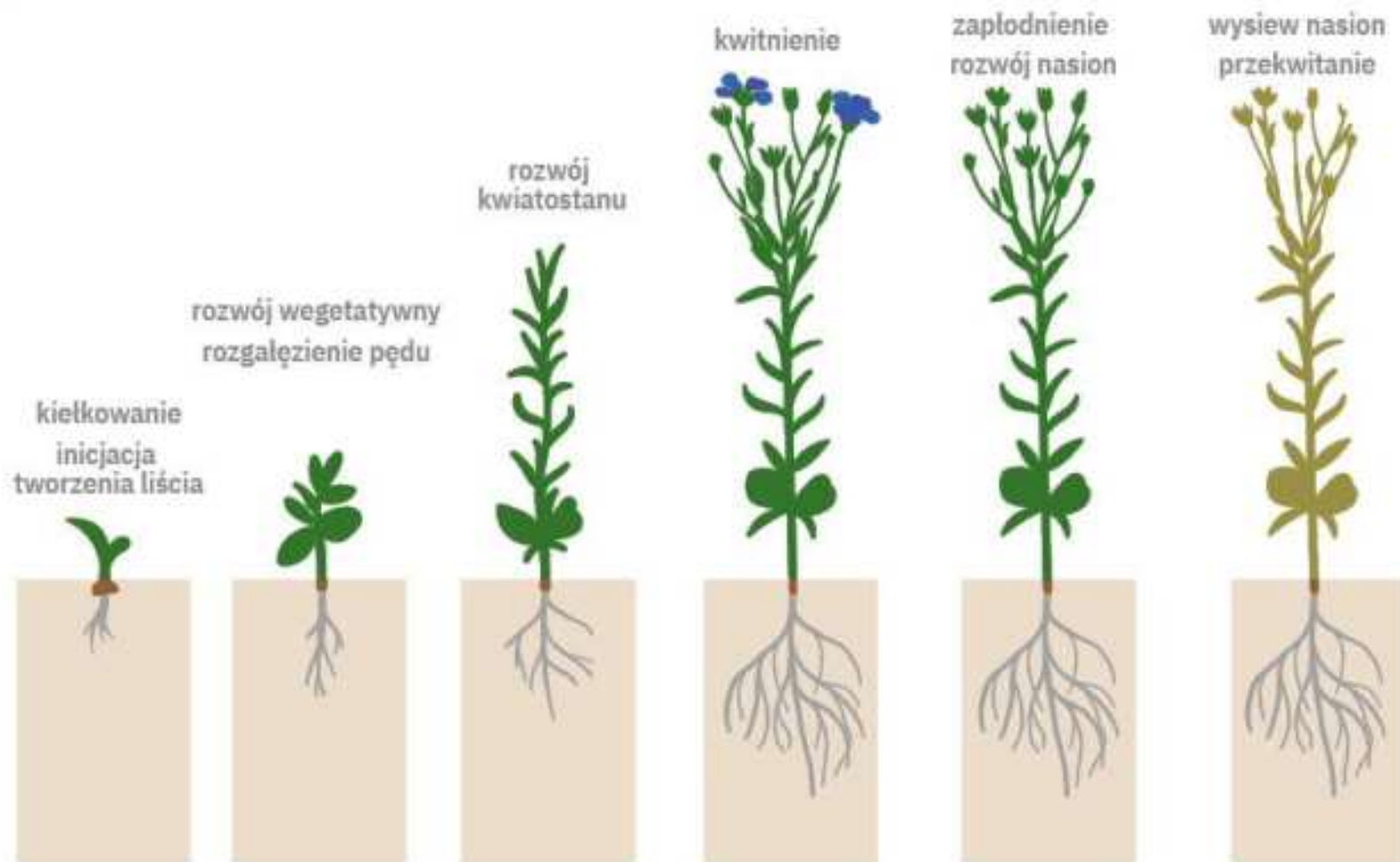
wzrost roślin ▶ **Wzrost** polega na nieodwracalnym powiększaniu się rozmiarów rośliny i obejmuje zwiększanie się liczby komórek (jako efekt intensywnych podziałów mitotycznych) oraz przyrost objętości i masy komórek czy składników strukturalnych. Pierwszą cechą wzrostu są zatem **zmiany ilościowe**. Wzrost może mieć charakter **nieograniczony**, typowy dla stadium wegetatywnego rozwoju roślin (np. korzeń będący efektem działania merystemu wierzchołkowego) lub **ograniczony**, charakterystyczny dla rozwoju generatywnego, w którym organy po osiągnięciu określonego rozmiaru przestają rosnąć i obumierają. Kolejną konsekwencją procesów wzrostowych są **zmiany jakościowe** pojawiające się w wyniku **różnicowania się** komórek, czyli nabierania cech charakterystycznych dla danej tkanki. Różnicowanie jest procesem uwarunkowanym genetycznie i prowadzi do **morfogenezy**, czyli powstawania nowych struktur i organów.

Ontogeneza roślin

ontogeneza ▶ **Ontogeneza**, inaczej **rozwój osobniczy**, to zbiór przemian anatomicznych i fizjologicznych organizmu od jego powstania aż do śmierci (**ryc. VII.3.1.**). Na rozwój ontogenetyczny mają wpływ zarówno czynniki wewnętrzne (głównie genetyczne), jak i zewnętrzne (m.in. klimat).

Ontogeneza roślin obejmuje kilka stadiów. Są to:

- embriogeneza,
- stadium wegetatywne,
- stadium generatywne,
- starzenie się i śmierć.

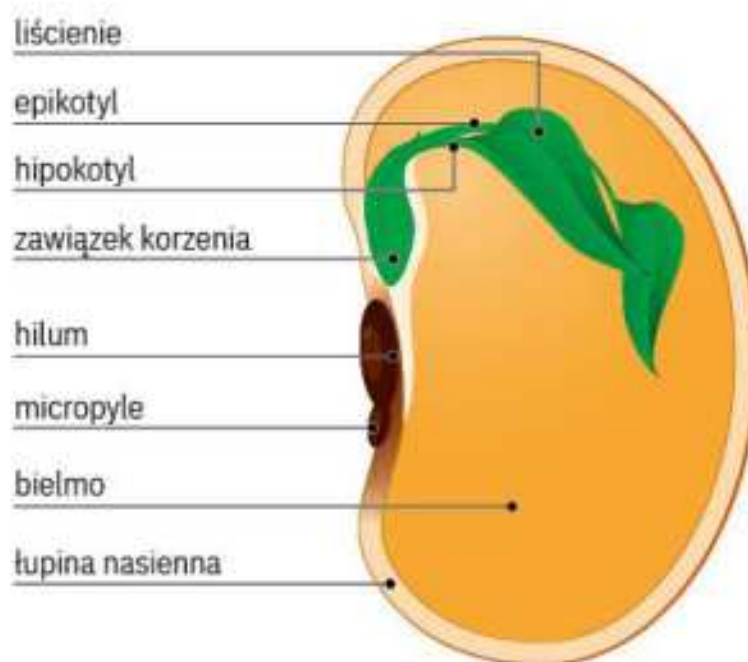


Ryc. VII.3.1. Etapy rozwoju osobniczego rośliny.

Embriogeneza

◀ embriogeneza

W czasie embriogenezy zapłodniona komórka jajowa zaczyna się dzielić i różnicować. Początkowo powstają dwie komórki, z których w wyniku licznych podziałów tworzy się **zarodek**. U roślin nasennych w pełni rozwinięty, wielokomórkowy zarodek jest złożony z jednego lub dwóch liścieni, części podliścieniowej (tzw. **hipokotylu**), części nadliścieniowej (tzw. **epikotyłu**), zawiązki korzenia i zawiązki pędu, będących planem przyszłej rośliny. Formowaniu zarodka towarzyszy wytworzenie tkanki odżywczej nasienia (bielma lub obielma) oraz łupiny nasiennej (ryc. VII.3.2.). Rozwój zarodka przebiega w obrębie łupiny nasiennej. U wielu roślin rozwój na tym etapie zostaje zatrzymany w wyniku przejścia zarodka w **stan spoczynku**, czyli anabiozy.



Ryc. VII.3.2. Budowa zarodka na przykładzie fasoli.

► Stadium wegetatywne

Stadium wegetatywne obejmuje kiełkowanie nasion i wzrost wegetatywny rośliny. W czasie tego etapu powstają korzenie, łodygi oraz liście.

kiełkowanie ► Kiełkowanie nasion

Dojrzałe nasiona są zdolne do **kiełkowania**. Prowadzi to do powstania młodej siewki, która rozwija się w dorosłą roślinę. Aby nasiona mogły rozpocząć proces kiełkowania, muszą zaistnieć ku temu odpowiednie warunki, co jest ewolucyjnym zabezpieczeniem przed wzrostem w niekorzystnych okolicznościach. Czynniki wpływającymi na proces kiełkowania nasion są: obecność wody, dostęp tlenu, temperatura, a czasami światło. **Woda** zapewnia uwodnienie nasienia i pobudzenie uśpionych wcześniej procesów metabolicznych. Absorbując wodę przez suche nasienie nazywamy **imbibicją** (pęcznieniem). Przejawia się ona znacznym zwiększeniem jego objętości. **Tlen** jest niezbędny do produkcji dużej ilości energii (w procesie oddychania tlenowego), koniecznej do kiełkowania i dalszego wzrostu rośliny. Optymalna **temperatura** dla kiełkowania u większości roślin to 4–12°C. Niektóre rośliny do indukcji tego procesu wymagają długiego okresu przechłodzenia (np. zboża ozime). Kiełkowanie nasion większości roślin zależy od **światła**. Nasiona takie nazywamy **fotoblastycznymi**. Kiełkowanie niektórych z nich jest stymulowane przez światło (np. sałata), a u innych jest aktywowane światłem. Nasiona około 5% gatunków są niewrażliwe na światło (tzw. nasiona nefotoblastyczne). Wśród nich znajduje się większość roślin uprawnych (np. zboża, rośliny bobowate).

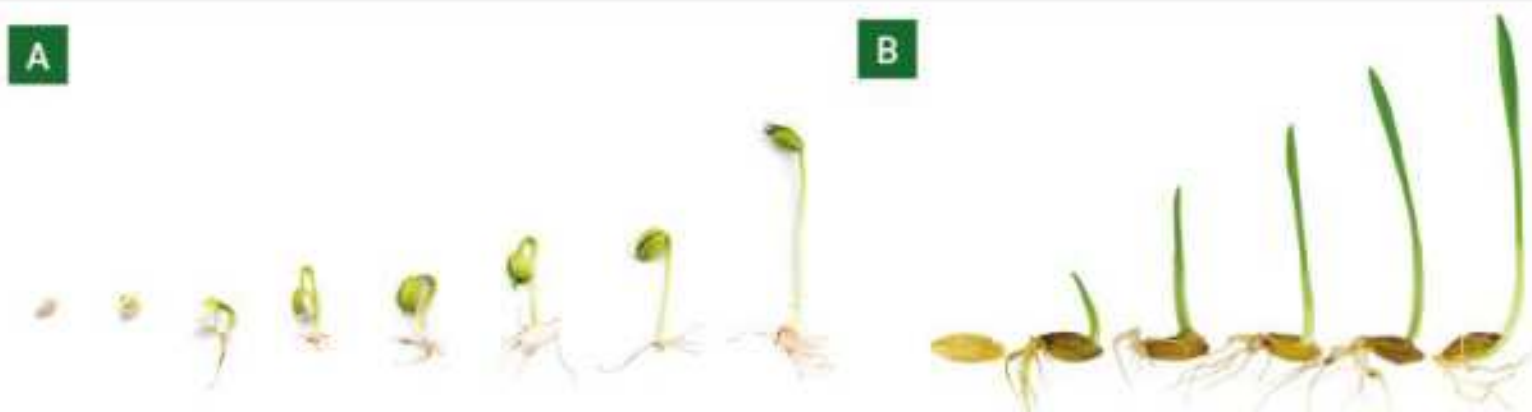
Oprócz czynników środowiskowych proces kiełkowania podlega kontroli genetycznej oraz działaniu fitohormonów i innych związków (np. enzymów obecnych w przewodzie pokarmowym trawiących je zwierząt).

kiełkowanie hipogeiczne

W czasie **kiełkowania** jako pierwszy wyrasta korzeń zarodkowy, a po nim dopiero pęd. Aby przebijający się przez glebę pęd nie uległ uszkodzeniu, rośliny wykształciły różne mechanizmy zabezpieczające (ryc. VII.3.3.). W **kiełkowaniu hipogeicznym** (podziemnym) liścienie pozostają w nasieniu pod ziemią i zasychają dopiero wtedy, gdy substancje pokarmowe w nich zawarte zostaną przekazane do rozwijającego się pędu. Fotosynteza rozpoczyna się dopiero w pierwszych liściach (np. u bobu, fasoli zwyczajnej).

kiełkowanie epigeiczne

Kiełkowanie epigeiczne (nadziemne) charakteryzuje się tym, że liścienie wydostają się od razu na zewnątrz i zaczynają fotosyntetyzować, w ten sposób dostarczając substancji odżywczych do rozwijającej się siewki (np. kukurydza, rzodkiewnik).



Ryc. VII.3.3. Kiełkowanie hipogeiczne u fasoli (A) i epigeiczne u kukurydzy (B).

Kiełkowanie nasion określa się za pomocą dwóch parametrów: żywotności i wigoru. **Żywotność nasion** to zdolność do kiełkowania, która prowadzi do powstania rośliny zdolnej do rozmnażania. Z kolei **wigor nasion** wyraża zdolność do wytwarzania zdrowych siewek oraz roślin w szerokich granicach różnych czynników środowiska. Żywotność i wigor nasion są specyficzne dla poszczególnych gatunków i zależą od warunków przechowywania nasion. Skutkiem zróżnicowanej żywotności jest **długowieczność nasion**, czyli maksymalny okres zachowania żywotności (np. średnia długowieczność nasion sałaty wynosi 4 lata, fasoli – 22 lata, a lucerny – aż 78 lat). Rekordzistą pod tym względem jest łubin – nasiona tej rośliny znalezione w łodach Kanady nie utraciły żywotności przez ok. 10 000 lat. Nasiona cennych roślin (zagrożonych, rzadkich, uprawnych) w stanie spoczynku przechowuje się w **kolekcjach i bankach nasion** (ryc. VII.3.4.).



Ryc. VII.3.4. Globalny Bank Nasion na wyspie Spitsbergen został zbudowany w tunelu wydrążonym w wiecznej zmarzlinie.

Eksperyment

Porównanie sposobu kiełkowania u fasoli zwyczajnej i grochu zwyczajnego

Wprowadzenie: U roślin występują dwa typy kiełkowania: epigeiczne i hipogeiczne. Kiełkowanie epigeiczne polega na wyniesieniu liścieni ponad powierzchnię gleby i rozpoczęcia przez nie fotosyntezy. W kiełkowaniu hipogeicznym substancje odżywcze są pobierane z liścieni do momentu wytworzenia liści.

Problem badawczy: Postaw problem badawczy.

Hipoteza badawcza: Rośliny należące do tej samej rodziny różnią się typem kiełkowania.

Instrukcja przeprowadzenia doświadczenia: W dwóch dużych doniczkach z ziemią zasadź po 10 nasion fasoli zwyczajnej (*Phaseolus vulgaris*, czyt. fasedus vulgaris) i grochu zwyczajnego (*Pisum sativum*). Umieść doniczki na parapecie i regularnie podlewaj. Co dwa, trzy dni wyciągaj po jednym nasieniu z każdej doniczki i obserwuj proces kiełkowania. Na każdym etapie wykonaj dokumentację fotograficzną.

Opracowanie wyników: Na podstawie wykonanych zdjęć i obserwacji sporządź w zeszycie schemat kolejnych etapów kiełkowania fasoli i grochu. Porównaj je ze sobą.

Wnioski: Sformułuj wniosek.

Poszukaj, dowiedz się i wyjaśnij: Czy wiedza dotycząca sposobu kiełkowania nasion ma znaczenie praktyczne?

Wzrost wegetatywny

wzrost
wegetatywny

► **Wzrost wegetatywny** trwa w zależności od gatunku od kilku dni (u roślin jednorocznych, np. *Erophila verna*, czyt. erofifila werna) lub tygodni (*Chenopodium* sp.) do nawet kilkudziesięciu lat u drzew (np. dąb, buk) i krzewów. W tym czasie roślina rośnie, zwiększa swoje rozmiary oraz wytwarza **organy wegetatywne**: korzeń, łodygę i liście, przyjmując ostateczny wygląd. Podstawą tych procesów jest **biegunowość rośliny**, widoczna już na etapie embriogenezy. Zjawisko to polega na

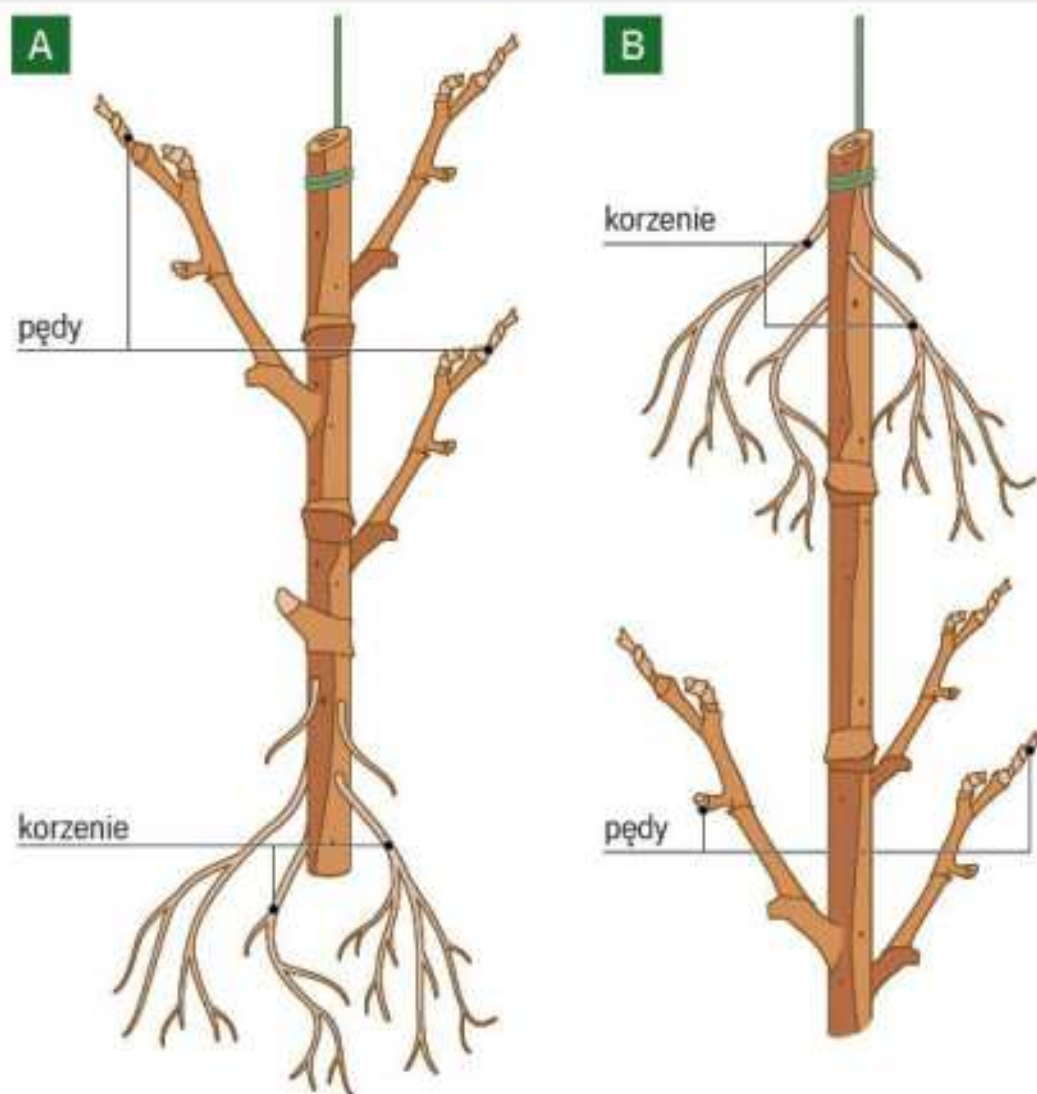
istnieniu dwóch biegunów, korzeniowego i pędowego, znajdujących się na przeciwległych końcach (**ryc. VII.3.5.**). Bieguny te pozornie wyglądają tak samo, ale różnią się pod względem fizjologicznym. Bez względu na ułożenie na biegunie korzeniowym zawsze rozwiną się korzenie, a na biegunie pędowym – pędy.

Stadium rozwoju wegetatywnego roślin jest regulowane genetycznie, hormonalnie i środowiskowo. Najważniejszym czynnikiem środowiskowym jest **światło**. Światło nie tylko jest konieczne do zachodzenia fotosyntezy, lecz także wpływa na wzrost, rozwój i różnicowanie się roślin. Te zależne od światła procesy określamy mianem **fotomorfogenezy**.

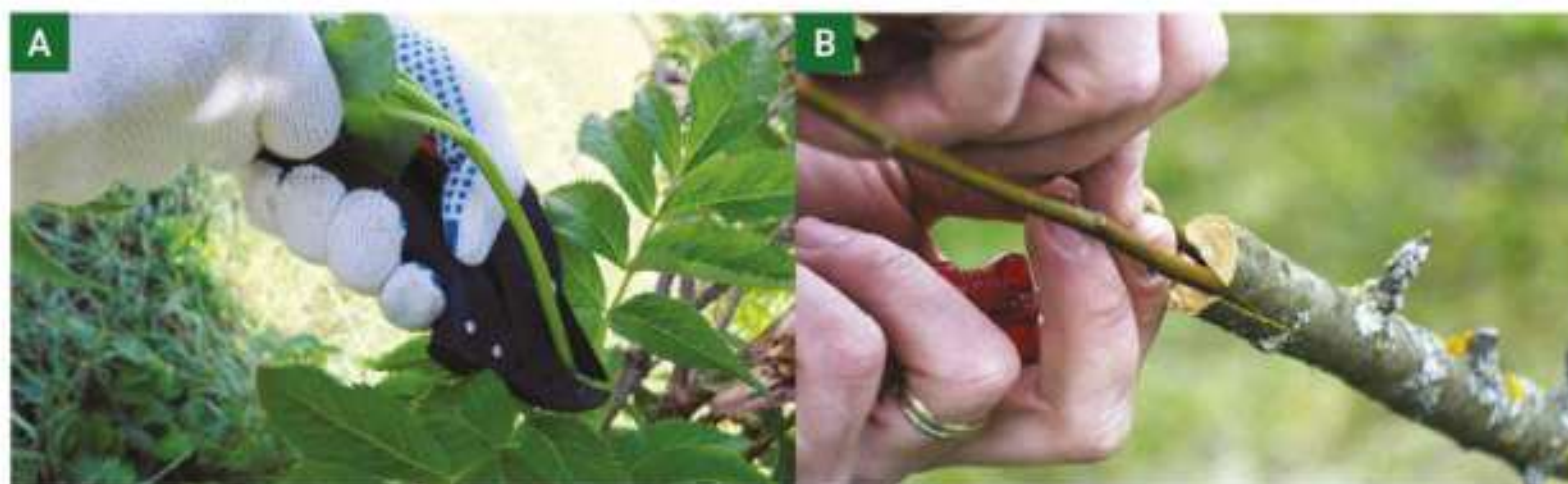
Polega ona na aktywowaniu lub hamowaniu przez światło określonych genów, które mają wpływ na procesy wzrostowe i rozwojowe.

organy
wegetatywne

► Stadium rozwoju wegetatywnego obejmuje także wytwarzanie **organów rozmnażania wegetatywnego** (bulw, cebul, kłączy, rozłogów czy rozmnózek). Ten typ rozmnażania jest od lat wykorzystany w rolnictwie, sadownictwie czy ogrodnictwie. Najczęściej stosowane formy to sadzonki i szczepienia (**ryc. VII.3.6.**). W stadium rozwoju wegetatywnego roślina nie tworzy organów rozmnażania płciowego (kwiatów, nasion, owoców).



Ryc. VII.3.5. Biegunowość roślin.



Ryc. VII.3.6. (A) Sadzonki to odcięte części organizmu roślinnego, takie jak pędy czy liście, zdolne do ukorzeniania i odtworzenia całej rośliny. W ten sposób rozmnaża się drzewa, krzewy i rośliny ozdobne. (B) Szczepienie polega na przeszczepieniu jednej części rośliny na inną roślinę i wywołaniu ich zrośnięcia się (w ten sposób uzyskuje się drzewa owocowe, np. czereśnie, jabłonie, grusze).

Stadium generatywne

◀ stadium generatywne

W stadium generatywnym, które obejmuje kwitnienie i owocowanie, roślina wytwarza kwiaty, nasiona i owoce.

Kwitnienie

Po zakończeniu stadium wegetatywnego rozpoczyna się **kwitnienie**, czyli proces rozwoju kwiatów – organów służących do rozmnażania płciowego. Wytwarzanie kwiatów jest procesem wieloetapowym, na który składa się: *indukcja kwitnienia*, mająca miejsce w wierzchołku wzrostu, oraz *powstawanie kwiatu*, przebiegające w wierzchołku wzrostu pędu. Kwitnienie jest uwarunkowane czynnikami wewnętrznymi (genetycznymi i hormonalnymi) oraz zewnętrznymi (środowiskowymi).

◀ kwitnienie

Czynniki wewnętrzne mają podłoże genetyczne i są dość niejednoznaczne. Jedną z hipotez zakłada, że kwitnienie wiąże się z osiągnięciem przez roślinę odpowiedniego wieku oraz właściwych rozmiarów. Inna teoria kładzie nacisk na intensyfikację podziałów komórkowych w merystemie wierzchołkowym pędu. Jeszcze inna zakłada istnienie tzw. czynników kwitnienia (np. fitochrom, kryptochrom), które są swego rodzaju molekularnym czujnikiem dającym sygnał roślinie do przejścia w fazę generatywną. Proces ten uaktywnia tzw. **geny kwiatowe**, które sterują powstawaniem poszczególnych elementów kwiatu. Na kwitnienie mają także wpływ hormony roślinne (patrz niżej).

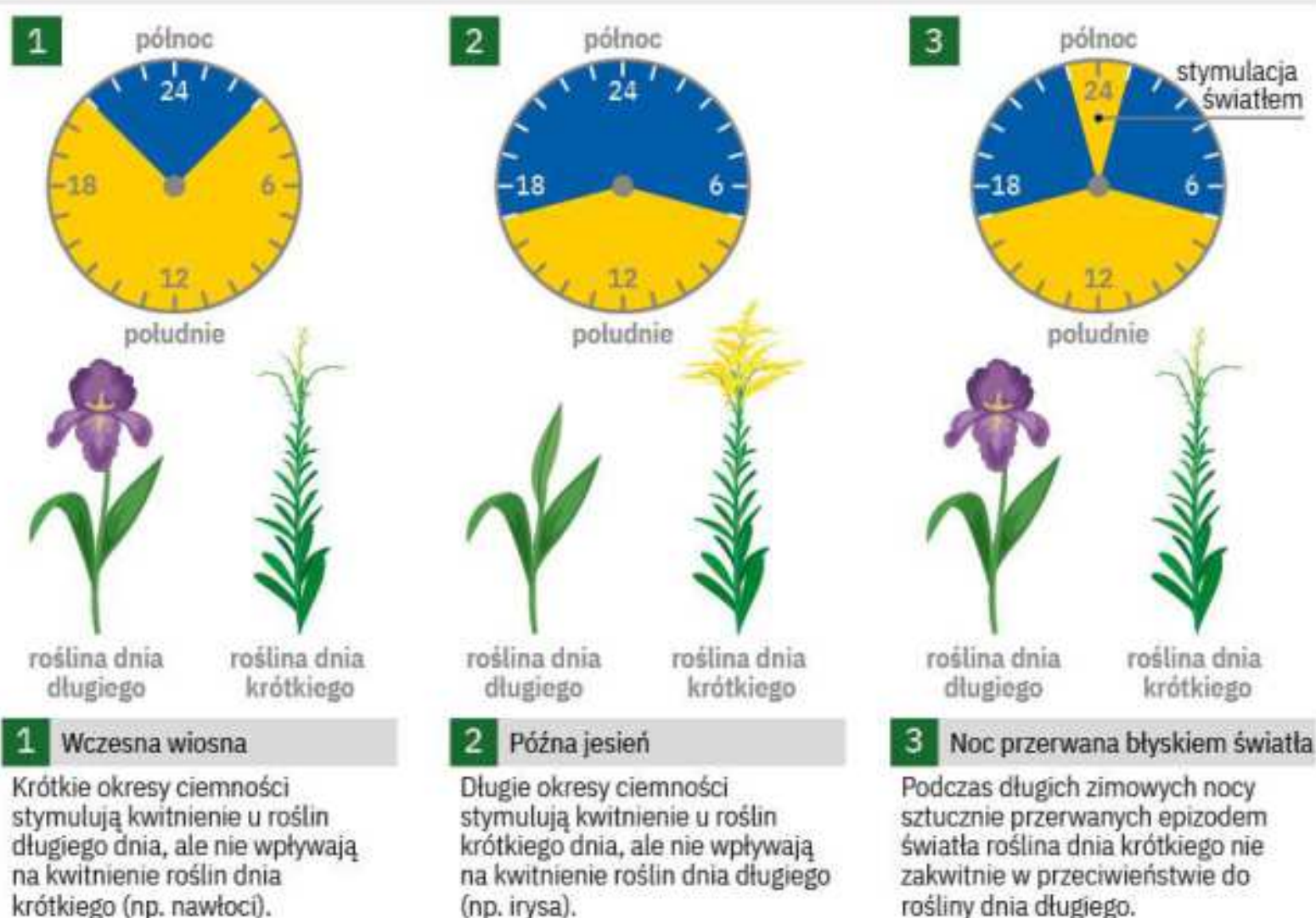
Czynniki zewnętrzne wpływają na kwitnienie, czyli proces decydujący o ciągłości i przetrwaniu gatunku, dlatego musi ono zachodzić w najbardziej optymalnym czasie. Czynniki zewnętrznymi, które pełnią kluczową funkcję w indukowaniu kwitnienia, są **temperatura** oraz **długość dnia i nocy**. Należy zaznaczyć, że niektóre rośliny są niewrażliwe na działanie czynników środowiskowych. U innych o rozpoczęciu kwitnienia decyduje temperatura lub światło. Istnieją także rośliny, które wymagają zarówno bodźca świetlnego, jak i temperaturowego.

Kwitnienie wielu roślin (tzw. jarych) jest niezależne od **temperatury**. Niektóre rośliny do aktywacji lub przyspieszenia procesu kwitnienia wymagają okresowego dzia-

wernalizacja ▶ łania niskich temperatur (0–10°C), czyli **wernalizacji** (inaczej **jaryzacji**). Do roślin wymagających wernalizacji należą m.in. rośliny dwuletnie (np. burak cukrowy) oraz jednoroczne ozime (np. ozime żyto i pszenica). Rośliny te przechodzą okres niskich temperatur w formie nasion lub młodych siewek (jednoroczne ozime) bądź dorosłych roślin (dwuletnie i wieloletnie). Z doświadczeń wynika, że receptorem niskiej temperatury w roślinie są komórki stożka wzrostu pędu.

fotoperiodyzm ▶ **Fotoperiod** to okres oddziaływania światła na rośliny. Reakcje rośliny na dobowy czas trwania okresów światła i ciemności nazywamy **fotoperiodyzmem**. Należy podkreślić, że kluczową rolę odgrywa okres ciemny (noc). Biorąc pod uwagę fotoperiodyzm, rośliny dzielimy na trzy grupy:

- **rośliny krótkiego dnia** (SDP, z ang. *short day plants*) – kwitną, gdy w dobowym fotoperiodzie przeważa faza ciemna (ponad 12 godzin ciemności), np. złocień chiński, tytoń szlachetny, kalanchoe (**ryc. VII.3.7.**);
- **rośliny długiego dnia** (LDP, z ang. *long day plants*) – kwitną, gdy w dobowym fotoperiodzie przeważa faza jasna (ponad 12 godzin światła), np. koper ogrodowy, rzodkiewnik pospolity, gorczyca jasna (**ryc. VII.3.7.**);
- **rośliny neutralne** (DNP, z ang. *day neutral plants*) – niewrażliwe na długość dnia; zakwitają po osiągnięciu stadium generatywnego, np. ogórek, fasola zwyczajna, pomidor, bób.



Ryc. VII.3.7. Fotoperiodyzm u roślin.

Swoistym czujnikiem długości dnia i nocy jest niebieskozielony barwnik występujący w liściach – **fitochrom** (oznaczany literą **P**, od ang. *phytochrome*). Fitochrom występuje w dwóch formach: **P660** (**P_R**), która pochłania światło o długości fali 660 nm (czerwone), oraz **P730** (**P_{FR}**), która absorbuje światło o długości fali 730 nm (podczerwone). Obie formy fitochromu ulegają wzajemnym przekształceniom pod wpływem światła o określonej długości fali lub ciemności (**ryc. VII.3.8.**). Pod wpływem światła czerwonego P660 przekształca się w P730, a pod wpływem światła podczerwonego i ciemności P730 przekształca się w P660. Forma P730 jest aktywna fizjologicznie – wzrost jej stężenia hamuje kwitnienie roślin krótkiego dnia, a pobudza kwitnienie roślin długiego dnia.



Ryc. VII.3.8. Przekształcenia form fitochromu P660 i P730 pod wpływem światła.

Owocowanie

Kwitnienie i rozwój kwiatów w dalszej kolejności prowadzi do wytworzenia nasion i owoców, a jest to poprzedzone zapylaniem i zapłodnieniem. Niektóre rośliny kwitną i owocują tylko raz w życiu i nazywamy je **monokarpicznymi**. Należą do nich rośliny jednoroczne oraz dwuletnie, które po wytworzeniu kwiatów starzeją się i obumierają (**ryc. VII.3.9.**). Rośliny, które kwitną i owocują wiele razy w ciągu swojego życia, nazywamy polikarpicznymi (m.in. byliny, rośliny cebulowe i drzewa). Istotną rolę w powstawaniu, dojrzewaniu i opadaniu owoców odgrywają fitohormony (m.in. etylen, auksyny, gibereliny).



Ryc. VII.3.9. Puja Raimondiego jest rośliną monokarpiczną i kwitnie tylko raz w ciągu swojego życia.

Spoczynek roślin

◀ spoczynek roślin

Ontogeneza roślin obejmuje okresy, w których wzrost jest częściowo lub całkowicie zahamowany. W tym czasie dochodzi do zatrzymania przemiany materii, a także ustania czynności fizjologicznych, jednak z zachowaniem zdolności do przerwania oraz kontynuowania wzrostu i rozwoju. Okres ten nazywamy **fazą spoczynku** roślin, a stan odwracalnego zahamowania aktywności wzrostowej – **stanem spoczynku**. Spoczynek roślin ma kluczowe znaczenie dla przetrwania gatunku nawet w wyjątkowo niesprzyjających warunkach (np. długotrwała susza, niska lub wysoka temperatura, infekcje pasożytnicze). W stan spoczynku mogą przechodzić całe rośliny (np. drzewa) lub niektóre ich części (np. nasiona, pąki, bulwy).

Stan spoczynku ma różny okres trwania (nawet do kilkudziesięciu lat) i może być uzależniony od braku odpowiednich warunków wzrostowych (**spoczynek względny**) lub braku gotowości nasion do kiełkowania (**spoczynek bezwzględny**). Spoczynek względny jest przerywany, gdy zaistnieją optymalne dla wzrostu warunki środowiska (m.in. dostęp do wody, odpowiednia temperatura, światło). Przerwanie spoczynku bezwzględnego zależy od gatunku i przyczyny jego wystąpienia, które wynika z mechanizmów wewnętrznych rośliny, np. w przypadku nasion może być skutkiem nieprzepuszczalności łupiny nasiennej dla wody i gazów czy niedojrzałości zarodka.

Starzenie się i obumieranie roślin

starzenie się roślin ▶

Długość życia rośliny jest bardzo zróżnicowana i wynosi od kilku dni (u efemerydów pustynnych) do kilku tysięcy lat (np. sosna długowieczna żyje ok. 5000 lat). Niezależnie od długości życia w pewnym momencie dochodzi do spowolnienia procesów metabolicznych. Ostatnim stadium rozwoju osobniczego rośliny jest jej postępujące **starzenie się**, które prowadzi do **śmierci** organizmu. W przebiegu procesów starzenia się kluczową rolę odgrywają zmiany stężenia hormonów roślinnych. W komórkach wzrasta ilość m.in. etylenu, który przyspiesza dojrzewanie owoców i opadanie liści. Rozpoczęcie procesu starzenia się u roślin jest trudne do zdefiniowania, jednak istnieje kilka uniwersalnych symptomów, które mu towarzyszą. Są to:

- ustanie wzrostu korzenia i pędu;
- zmniejszenie pobierania soli mineralnych przez korzenie oraz ograniczenie transportu wody i asymilatów;
- spadek intensywności fotosyntezy i oddychania komórkowego;
- rozkład chlorofilu, rozluźnienie struktury komórek i tkanek;
- wzrost zawartości niektórych hormonów roślinnych.



Eksperyment

Wpływ wieku nasion na proces ich kiełkowania (wigor nasion)

Wprowadzenie: Wigor nasion to zdolność do wytwarzania zdrowych siewek. Wigor jest specyficzny dla danego gatunku. Zależy od warunków i czasu przechowywania nasion.

Problem badawczy: Czy wiek nasion ma wpływ na ich wigor?

Hipoteza badawcza: Kiełkowanie nasion zależy od ich wieku.

Instrukcja przeprowadzenia doświadczenia: W dwóch dużych doniczkach z ziemią zasadź po 20 nasion (nie mogą one do siebie przylegać) rzeżuchy ogrodowej lub rzepaku pochodzących z różnych zbiorów (np. z 2010 i 2018 r.). Umieść doniczki w ciemności (temp. 25°C) i regularnie podlewaj. Policz, ile nasion wykiełkowało po 24 h oraz po tygodniu od zasadzenia.



Eksperyment

Opracowanie wyników: Przerysuj poniższą tabelę do zeszytu i ją uzupełnij.

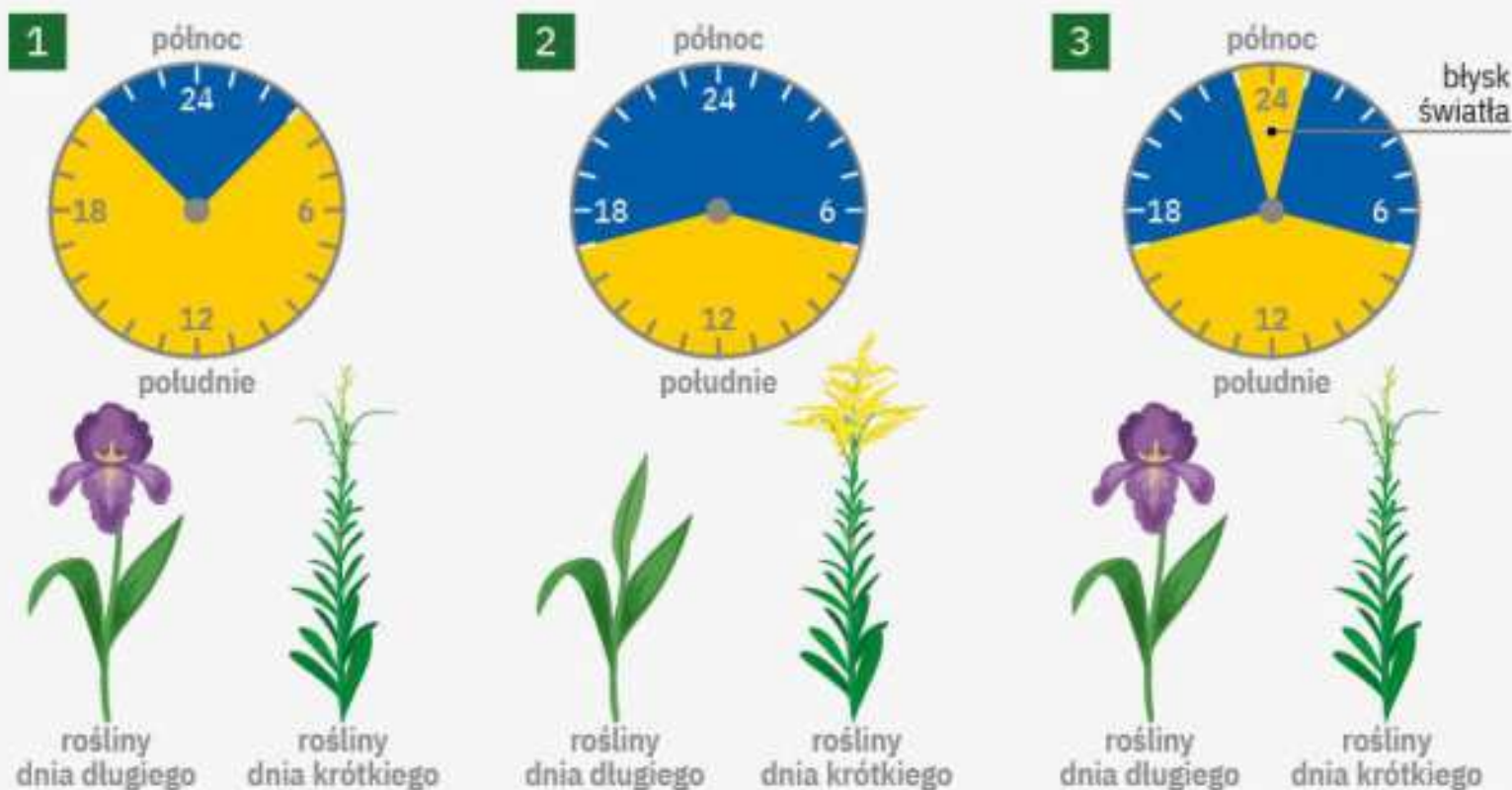
Rok zbioru nasion	Liczba nasion wykiełkowa- nych po 24 h	Liczba nasion wykiełkowa- nych po 7 dniach
...	...	...
...	...	...

Wnioski: Sformułuj wniosek.

Poszukaj, dowiedz się i wyjaśnij: W dostępnych źródłach znajdź informację na temat wydajności kiełkowania. Czy ten parametr ma znaczenie praktyczne?

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

- Wyjaśnij różnicę między rozwojem a wzrostem rośliny.
- Wymień w zeszycie stadia rozwoju osobniczego (ontogenezy) rośliny.
- Omów rolę, jaką odgrywają temperatura i światło w procesie kiełkowania nasion.
- Podaj, w którym stadium ontogenezy roślin dochodzi do wytworzenia:
 - kwiątów i owoców,
 - klączy, cebul i rozlogów.
- Wskaż, który z poniższych schematów dotyczy roślin dnia długiego. Wytłumacz, jakie to są rośliny.



- Podaj różnicę między spoczynkiem względnym i bezwzględnym roślin.
- Wymień trzy symptomy starzenia się roślin.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- s. 250 ▶ • **Rozwój rośliny** obejmuje uwarunkowane genetycznie zmiany zachodzące w trakcie całego jej życia.
- s. 250 ▶ • **Wzrost rośliny** to nieodwracalne powiększanie się rośliny (zwiększanie liczby, masy i objętości komórek).
- s. 250 ▶ • **Ontogeneza** roślin obejmuje następujące stadia: embriogenezę, stadium wegetatywne, stadium generatywne, starzenie się i śmierć.
- s. 251 ▶ • W trakcie **embriogenezy** następuje podział i różnicowanie się zapłodnionej komórki jajowej oraz powstaje zarodek zawierający zawiązki korzenia, pędu i liścieni.
- s. 252 ▶ • **Stadium wegetatywne** obejmuje kielkowanie nasion i wzrost wegetatywny.
- s. 252 ▶ • **Kielkowanie** nasion rozpoczyna się w warunkach optymalnych, na które składają się: odpowiednia temperatura, obecność wody i tlenu oraz dostęp do światła.
- s. 252 ▶ • W kielkowaniu podziemnym (**hipogeicznym**) liścienie pozostają w nasieniu pod ziemią i stanowią materiał zapasowy dla rozwijającej się siewki. W kielkowaniu nadziemnym (**epigeicznym**) liścienie wydostają się od razu na zewnątrz i zaczynają przeprowadzać fotosyntezę.
- s. 254 ▶ • Etap **wzrostu wegetatywnego** obejmuje wytworzenie korzeni, łodyg i liści. Jest w dużej mierze uzależniony od światła (tzw. fotomorfogeneza). Na tym etapie powstają też organy rozmnażania wegetatywnego (np. cebule, kłącza).
- s. 255 ▶ • **Stadium generatywne** obejmuje kwitnienie (rozwój kwiatów) i owocowanie (rozwój nasion i owoców po uprzednim zapyleniu i zapłodnieniu).
- s. 255 ▶ • U wielu roślin **kwitnienie** zależy od temperatury (m.in. okresu przechłodzenia zwanego wernalizacją) oraz światła (fotoperiodyzm).
- s. 256 ▶ • **Fotoperiodyzm** to reakcja rośliny na dobowy czas trwania okresów światła i ciemności. Rośliny długiego dnia kwitną wtedy, gdy w ciągu doby przeważa faza jasna. Rośliny krótkiego dnia kwitną wtedy, gdy w ciągu doby przeważa faza ciemna. Rośliny neutralne są niewrażliwe na długość dnia.
- s. 257 ▶ • W trakcie **spoczynku roślin** dochodzi do zatrzymania przemiany materii i ustania czynności fizjologicznych. Spoczynek ma kluczowe znaczenie dla przetrwania roślin w niekorzystnych warunkach środowiska.
- s. 258 ▶ • **Starzenie się roślin** jest związane ze spowolnieniem procesów metabolicznych (m.in. ustanie wzrostu, zmniejszenie pobierania wody i soli mineralnych, spadek intensywności fotosyntezy), co w konsekwencji prowadzi do obumierania całego organizmu.

4. Regulatory wzrostu i rozwoju roślin

NA TEJ LEKCJI:

- dowiesz się, czym charakteryzują się fitohormony;
- poznasz rodzaje i funkcje głównych hormonów roślinnych;
- uzyskasz informacje na temat wykorzystania fitohormonów.

Każdy z etapów rozwoju osobniczego rośliny jest regulowany przez **hormony roślinne** zwane **fitohormonami**. Regulacja ta może mieć charakter pobudzający lub hamujący. Hormony roślinne to związki organiczne powszechnie występujące w roślinach, wykazujące wysoką aktywność fizjologiczną w bardzo małych stężeniach (rzędu 10^{-6} mol/l i mniej).

◀ fitohormony

Synteza fitohormonów ma miejsce w określonych miejscach rośliny, m.in. stożkach wzrostu korzenia i pędu. Związki te działają zarówno w miejscach ich powstawania, jak i w innych częściach, do których są transportowane. Fitohormony regulują wzrost i rozwój roślin, podziały komórkowe czy różnicowanie się komórek. Efekt działania hormonów roślinnych zależy od ich stężenia, stadium rozwojowego rośliny oraz od gatunku. Jest wynikiem współdziałania **wszystkich klas fitohormonów**, do których należą: auksyny, gibereliny, cytokininy, kwas abscysynowy, etylen, kwas jasmonowy i brassinosteroidy.

◀ rodzaje fitohormonów

Auksyny

Auksyny wpływają na wzrost wydłużeniowy (elongacyjny) komórek. Ich działanie zależy od stężenia – przy niskich wartościach następuje pobudzanie, a przy wysokich – hamowanie wzrostu wydłużeniowego. Auksyny stymulują podziały i różnicowanie się komórek (m.in. podziały kambium, co ma istotne znaczenie w czasie przyrostu wtórnego korzenia i łodygi), a także pobudzają tworzenie się kalusa oraz odpowiadają za zjawisko **dominacji wierzchołkowej**, które polega na tym, że pęd główny rośnie szybciej niż pędy boczne (**ryc. VII.4.1.**). Auksyny regulują również proces tworzenia się zawiązków korzeni bocznych i przybyszowych (**ryc. VII.4.2.**). U niektórych roślin prowadzą do powstania **owoców partenokarpicznych** (beziennych), np. u pomidora, truskawek czy cytrusów. Do najbardziej znanych naturalnych auksyn należy **kwas indolilo-3-octo-**

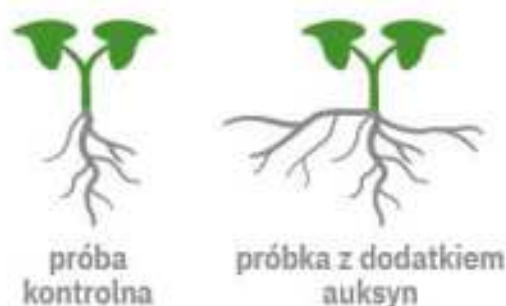
◀ auksyny



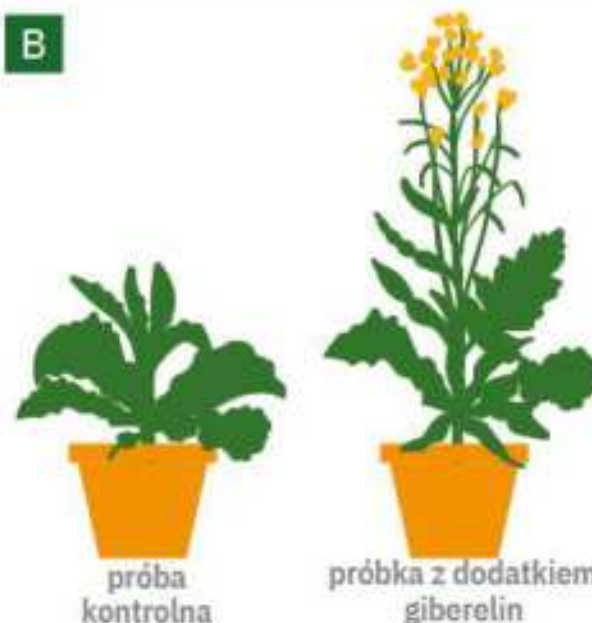
Ryc. VII.4.1. Efektem działania auksyn jest dominacja wierzchołkowa.

wy (IAA), którego synteza zachodzi w młodych liściach, pąkach i nasionach, skąd jest transportowany w dół rośliny.

A



B



Ryc. VII.4.2. (A) Wpływ auksyn na rozwój korzeni bocznych, (B) wpływ giberelin na wydłużanie łodygi.

Gibereliny

gibereliny ► **Gibereliny** są liczną grupą hormonów roślinnych (prawie 140 naturalnych związków). Występują w różnych tkankach i organach, m.in. w kielkujących nasionach, młodych liściach, pręcikach kwiatów oraz stożkach wzrostu korzenia i pędu. Działanie giberelin jest często przeciwstawne do działania auksyn. Pierwszym odkrytym hormonem z tej klasy był kwas giberelinowy (oznaczany symbolem GA3). Został on wyizolowany z komórek grzyba *Gibberella*. U roślin ten kwas nie występuje. Gibereliny roślinne (oznaczane GA1, GA2 itd.) są pochodnymi GA3.

Do głównych funkcji giberelin należą:

- stymulowanie podziałów komórkowych i wzrostu elongacyjnego łodyg – wzrost stężenia giberelin obserwuje się przy przejściu roślin z formy rozetowej do formy wzniesionej (ryc. VII.4.2.B);
- pobudzanie pąków do rozwoju;
- przyspieszanie kielkowania nasion i przerywanie ich stanu spoczynku przez indukcję rozkładu skrobi do cukrów prostych będących substancją odżywczą dla zarodka;
- indukowanie zakwitania roślin długiego dnia w warunkach niekorzystnego dla nich fotoperiodu;
- stymulacja kwitnienia i rozwoju owoców (w tym owoców partenokarpicznych).

Cytokininy

cytokininy ► Nazwa **cytokinin** wynika z głównej funkcji, jaką pełnią – pobudzania podziałów komórkowych (cytokinezy). Ponadto współdziałają one z auksynami w procesie wydłużania komórek i ich różnicowania się oraz w trakcie morfogenezy. Współdziałanie to

zależy od wzajemnych proporcji cytokinin i auksyn. Wykazano, że duże stężenie auksyny i małe stężenie cytokinin wpływa stymulująco na powstawanie korzeni. Natomiast małe stężenie auksyny, a duże cytokinin wpływa na rozwój pędów oraz hamuje rozwój korzeni. Cytokinin pobudzają kielkowanie nasion, przerywając stan ich spoczynku, powodują też zmianę dominacji wierzchołkowej i rozwój pędów bocznych (**ryc. VII.4.3.**). Cytokinin opóźniają procesy związane ze starzeniem się rośliny. Hormony te są syntetyzowane głównie w korzeniach, a także w owocach i młodych liściach. Najbardziej rozpowszechnioną cytokininą jest zeatina, którą po raz pierwszy wyizolowano z niedojrzałych nasion kukurydzy (*Zea mays*).



Ryc. VII.4.3. Nadprodukcja cytokinin prowadzi do powstawania wyrostów z niedorozwiniętych pędów, tzw. czarcich mioteł na gałęziach drzew.

Kwas abscysynowy

Ze względu na pełnione funkcje, które polegają w dużej mierze na hamowaniu procesów wzrostowych, **kwas abscysynowy (ABA)** dawniej zaliczano do grupy tzw. inhibitorów wzrostu. Wzmocniona synteza ABA ma miejsce przed przejściem rośliny w stan spoczynku (w naszej strefie klimatycznej – jesienią), a jego rozkład – przed wznowieniem wzrostu wegetatywnego (wiosną). Kwas abscysynowy hamuje rozwój pąków, kielkowanie nasion w owocach i wzrost pędów, przyspiesza natomiast opadanie owoców i liści oraz procesy starzenia się tkanek i organów. Związek ten odgrywa istotną rolę w sygnalizacji komórkowej związanej z działaniem czynników stresowych. Na przykład w warunkach niedoboru wody, kiedy liście zaczynają więdnąć, ABA gromadzi się w nich w dużych stężeniach, co jest sygnałem do zamknięcia aparatów szparkowych oraz do zwiększenia pobierania wody przez korzenie.

◀ kwas abscysynowy

Etylen

Etylen (C_2H_4) to nienasycony węglowodór, który jako jedyny fitohormon występuje w postaci gazowej. Jest syntetyzowany w węzłach łodyg, dojrzewających owocach i starzejących się tkankach. Przyspiesza dojrzewanie owoców (**ryc. VII.4.4.**), opadanie liści i owoców oraz tworzenie włośników i korzeni przybyszowych. Wzmocnioną syntezę etylenu obserwuje się pod wpływem warunków stresowych (np. w czasie niedoboru wody, uszkodzeń mechanicznych, infekcji oraz niskich i wysokich temperatur). Etylen ogranicza syntezę auksyn (natomiast auksyny wzmagają syntezę etylenu).

◀ etylen



25 dni w temperaturze 13°C
bez etylenu



25 dni w temperaturze 13°C
z etylenem

Ryc. VII.4.4. Wpływ etylenu na dojrzewanie owoców.

Kwas jasmonowy i brassinosteroidy

kwas jasmonowy ▶ **Kwas jasmonowy** (JA) reguluje wzrost, kielkowanie nasion, tworzenie organów oraz procesy związane ze starzeniem się rośliny. Bierze także udział w reakcjach obronnych roślin na czynniki stresowe. Niedawno wykazano, że stymuluje w roślinach biosyntezę witaminy E.

Brassinosteroidy są najmłodszą grupą hormonów roślinnych. Są aktywne w znacznie niższych stężeniach niż pozostałe fitohormony. Regulują wzrost i rozwój roślin, przebieg fotosyntezy oraz reakcje na stres i infekcje.

Wykorzystanie fitohormonów roślinnych

Rozszyfrowanie budowy chemicznej naturalnych fitohormonów oraz poznanie mechanizmów ich aktywności fizjologicznej umożliwiło opracowanie metod uzyskiwania syntetycznych odpowiedników tych związków. Wiele z tych substancji wykazuje podobną do naturalnych aktywność metaboliczną, a działanie niektórych jest przeciwstawne do naturalnych. **Syntetyczne fitohormony** znalazły zastosowanie w rolnictwie, ogrodnictwie oraz w przemyśle spożywczym. Oto przykłady tych zastosowań:

syntetyczne
fitohormony

- Syntetyczne auksyny wykorzystuje się jako herbicydy oraz jako czynniki pobudzające ukorzenianie roślin (tzw. ukorzeniacze; np. NAA, kwas naftylooctowy).
- Syntetyczne auksyny stosuje się na początku sezonu wegetacyjnego do zmniejszania liczby owoców (np. u jabłoni) oraz do stymulowania wytwarzania owoców (np. pomidory, cytrusy).
- Etylen jest stosowany do przyspieszania dojrzewania owoców i warzyw. Dojrzałe owoce wytwarzające etylen (np. banany) przechowywane w pobliżu innych owoców (np. pomidorów) stymulują ich dojrzewanie. Owoce wytwarzające etylen i reagujące na jego obecność nazywamy **klimakterycznymi** (ryc. VII.4.6.).
- Cytokiny stosuje się do przechowywania warzyw i ciętych kwiatów ze względu na opóźnianie objawów starzenia się niektórych części roślin (m.in. pobudzają syntezę chlorofilu, przez co liście są dłużej zielone).
- Gibereliny stosuje się do przerywania spoczynku nasion, wytwarzania większych owoców oraz w ogrodnictwie do nadawania pożądanego kształtu roślinom ozdobnym (ryc. VII.4.5.).
- Kwas abscysynowy stosuje się w preparatach chwastobójczych.

owoce
klimakteryczne

A



B



Ryc. VII.4.5. Gibereliny stosuje się w uprawach szklarniowych m.in. chryzantem. (A) chryzantema poddana działaniu giberelin, (B) chryzantema nietraktowana gibereliną.



Ryc. VII.4.6. Owoce klimakteryczne wydzielają etylen i reagują na ten związek.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wyjaśnij, czym jest hormon roślinny.
2. Porównaj funkcje fizjologiczne auksyn i giberelin.
3. Porównaj wpływ cytokinin i kwasu abscysynowego na proces kiełkowania nasion.
4. Omów budowę i działanie etylenu.
5. Podaj przykłady zastosowania hormonów roślinnych.
6. Na podstawie dostępnych źródeł wytłumacz, jaki jest udział fitohormonów w powstawaniu owoców bezpestkowych.



PODSUMOWANIE LEKCJI

- **Fitohormony** (hormony roślinne) to związki organiczne powszechnie występujące w roślinach, które w bardzo małych stężeniach wykazują wysoką aktywność fizjologiczną. ◀ s. 261
- **Najważniejszymi fitohormonami** są: auksyny, gibereliny, cytokininy, kwas abscysynowy, etylen, kwas jasmonowy oraz brassinosteroidy. ◀ s. 261
- **Auksyny** wpływają na wzrost wydłużeniowy, dominację wierzchołkową, powstawanie korzeni oraz owocowanie. ◀ s. 261
- **Gibereliny** stymulują rozwój kwiatów i zarodków oraz kiełkowanie nasion. ◀ s. 262
- **Cytokininy** wpływają na podział komórek, opóźnianie starzenia liści, hamowanie dominacji wierzchołkowej. ◀ s. 262
- Stężenie **kwasu abscysynowego (ABA)** wzrasta przed przejściem nasion w stan spoczynku. Związek ten hamuje rozwój pąków i kiełkowanie nasion oraz przyspiesza opadanie liści i owoców. ◀ s. 263
- **Etylen** występuje w postaci gazowej i przyspiesza dojrzewanie owoców, opadanie liści, tworzenie włóśników i korzeni przybyszowych. ◀ s. 263
- **Kwas jasmonowy i brassinosteroidy** wpływają na odpowiedź roślin na czynniki stresowe. ◀ s. 264
- **Syntetyczne hormony** roślinne znalazły zastosowanie w ogrodnictwie, sadownictwie i przemyśle rolno-spożywczym. ◀ s. 264



5. Reakcje roślin na bodźce

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz istotę ruchów roślinnych;
- dowiesz się, jakie wyróżnia się rodzaje ruchów roślin i czym się one charakteryzują.

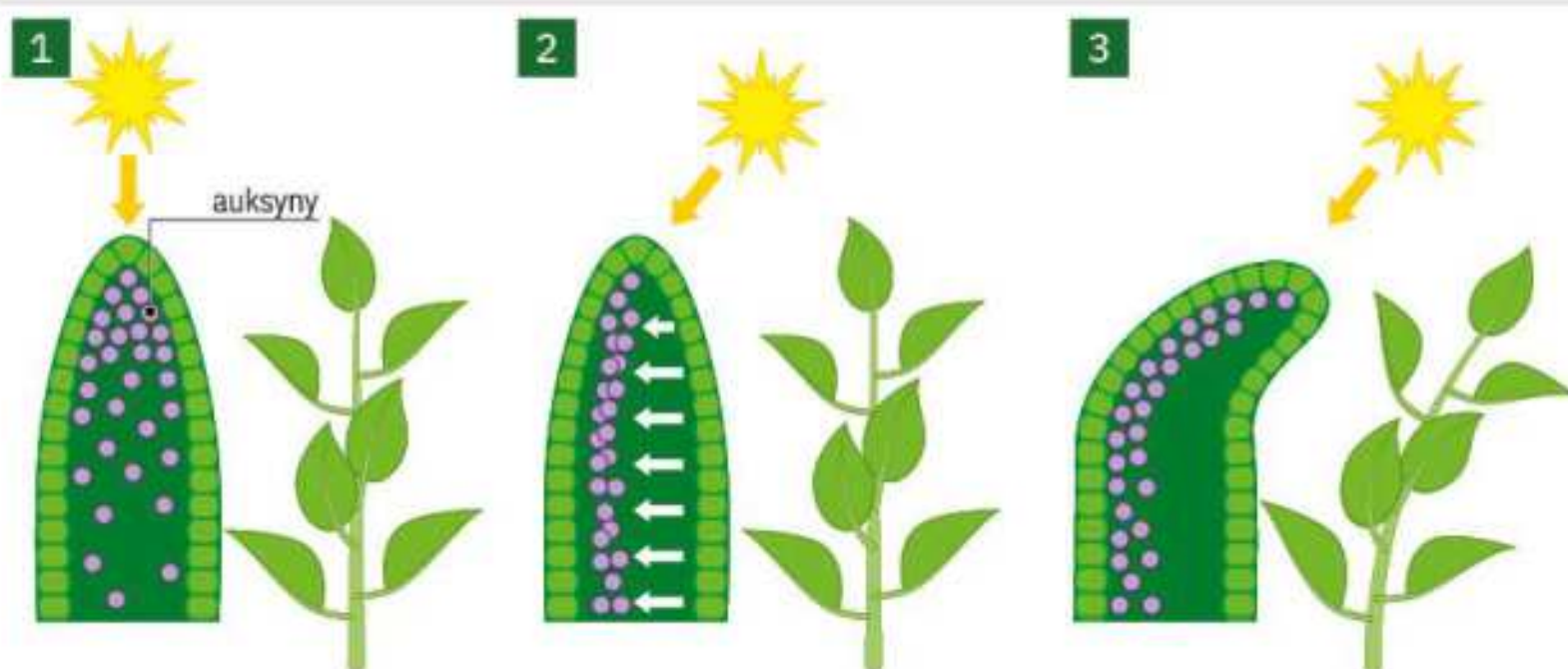
ruch roślin ▶ Rośliny, choć pozbawione możliwości aktywnego poruszania się, wykazują **zdolność ruchu** będącego reakcją na różnego rodzaju **bodźce**. Ruchy roślin są najczęściej powolne i rozciągnięte w czasie, zatem okres ich obserwacji jest stosunkowo długi (niektóre gatunki są zdolne do wykonywania szybkich ruchów, np. mimoza). Są one związane z wrażliwością na pobudzenie przez określony bodziec (np. temperaturę, światło czy siłę ciężenia). Wyróżniamy dwa główne typy ruchów roślin: **tropizmy** i **nastie**. Uwzględniając mechanizm będący ich podłożem, dzielimy je na **ruchy wzrostowe** oraz ruchy **turgorowe**. Ruchy wzrostowe są spowodowane nierównomiernym tempem wzrostu przeciwległych ścian organu lub jego części. Należy do nich większość tropizmów. Ruchy turgorowe bazują na zmianach turgoru komórek i obejmują głównie nastie.

tropizm ▶ Tropizmy

rodzaje tropizmu ▶ **Tropizmy** to ruchy organów roślin naczyniowych (m.in. wygięcie, skręcenie, obrót), które są reakcją na bodziec zewnętrzny. Kierunek ruchu jest uzależniony od kierunku działania bodźca. Tropizm może być **dodatni**, jeżeli wygięcie ciała lub organu następuje w kierunku źródła bodźca, lub **ujemny**, kiedy zachodzi w stronę przeciwną do kierunku źródła bodźca. W zależności od rodzaju bodźca wyróżniamy: fototropizm, grawitropizm, chemotropizm i tigmotropizm.

Fototropizm

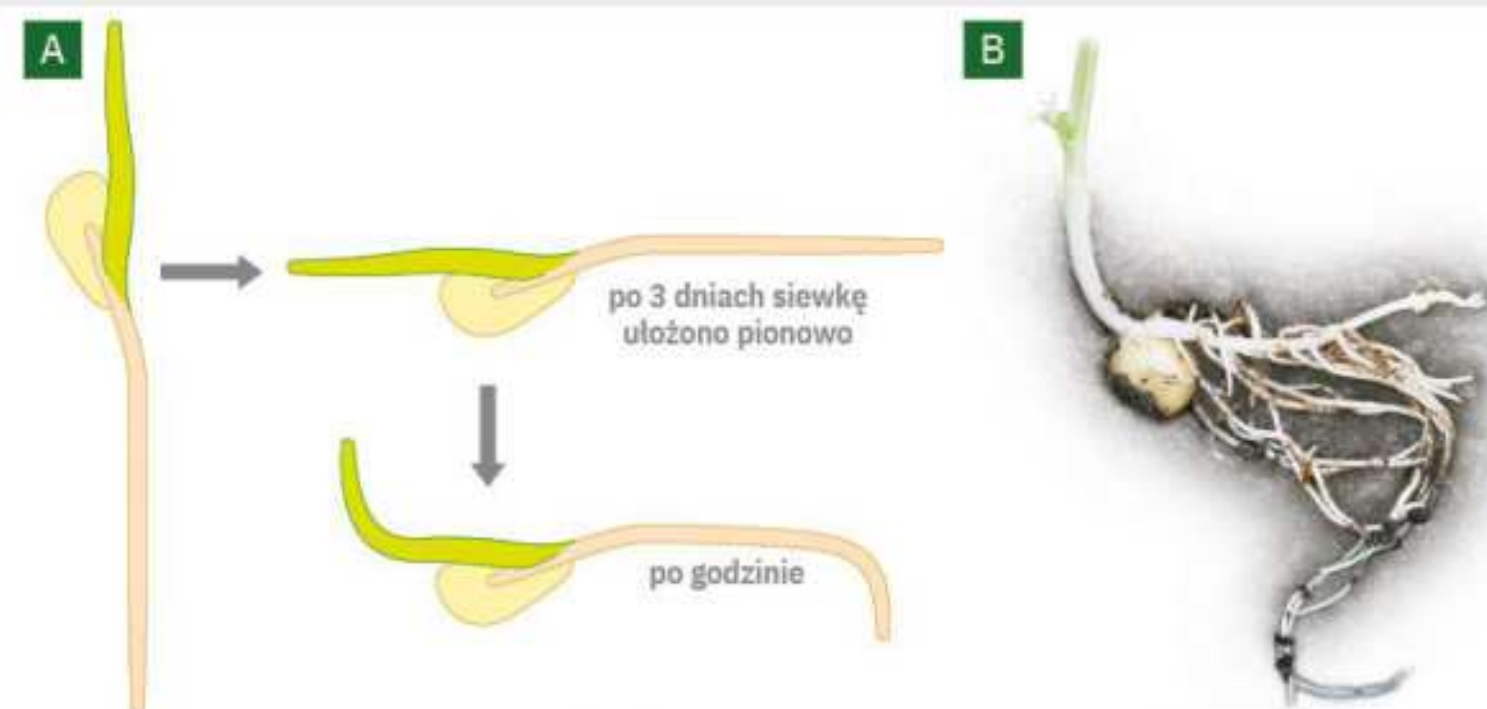
fototropizm dodatni ▶ Fototropizm jest reakcją rośliny na nierównomierne oświetlenie (**ryc. VII.5.1.**). **Fototropizm** dodatni ma miejsce, kiedy roślina (lub jej część) wygina się w kierunku padającego światła, np. w ten sposób wyginają się pędy roślin lub koleoptyle traw. Fototropizm ujemny, występujący np. u korzeni bluszczu, polega na wyginaniu się w stronę przeciwną do padającego światła. Fototropizm jest wynikiem różnej szybkości wzrostu komórek po przeciwnych stronach oświetlonego organu. Czujnikiem wykrywającym światło, które wywołuje reakcje fototropiczne, jest barwnik zwany **fototropiną**. Mechanizm molekularny zjawiska fototropizmu zakłada nierównomierne rozmieszczenie auksyn, które gromadzą się po stronie zacienionej. Powoduje to niesymetryczny wzrost wydłużeniowy komórek.



Ryc. VII.5.1. Fototropizm jest efektem nierównomiernego nagromadzenia się auksyn po stronie zacienionej.

Grawitropizm

Grawitropizm, zwany także geotropizmem, to ruchy wzrostowe wywołane **siłami ciążenia powszechnego** (przyciągania ziemskiego). Wyróżniamy **grawitropizm dodatni**, kiedy wzrost organu, np. korzenia, odbywa się w kierunku środka Ziemi, lub **grawitropizm ujemny**, np. u pędu, który rośnie w stronę przeciwną do kierunku przyciągania ziemskiego. Częścią korzenia, która wyczuwa przyciąganie ziemskie, jest jego czapeczka. Zawarte w niej **statolity** są zbudowane z ziaren skrobi, które wywierają nacisk na dolne części komórek czapeczki, wskazując tym samym kierunek wzrostu organu (ryc. VII.5.2.). Podobnie jak w przypadku fototropizmu, za wzrost wydłużeniowy korzenia odpowiada nierównomierne rozmieszczenie auksyn w strefie, na którą działa bodziec (auksyny przemieszczają się w kierunku pola przyciągania ziemskiego).



Ryc. VII.5.2. Grawitropizm ujemny pędów (A) i grawitropizm dodatni korzeni (B).

Chemotropizm

- chemotropizm ► Chemotropizm jest reakcją wzrostową spowodowaną działaniem czynnika chemicznego w środowisku, np. kwasami organicznymi i solami. Wygięcie rośliny lub organu (np. siewek roślin pasożytniczych, korzenia) może nastąpić w kierunku źródła bodźca chemicznego (**chemotropizm dodatni**) lub w stronę przeciwną (**chemotropizm ujemny**). Szczególną odmianą chemotropizmu jest **hydrotropizm**, tj. wygięcie w kierunku gradientu potencjału wody, np. korzenie wykazują hydrotropizm dodatni.

Tigmotropizm

- tigmotropizm ► **Tigmotropizm** to reakcja wzrostowa wywołana bodźcem mechanicznym, np. dotykiem. Organami szczególnie wrażliwymi na dotyk są pewne organy roślin naczyniowych, np. wąsy, za pomocą których roślina może się przyczepiać do podpór (**ryc. VII.5.3.**).



Ryc. VII.5.3. Tigmotropizm u roślin: (A) fasola wspinająca się po tyczce, (B) winobluszcz porastający dom.

Nastie

- nastie ► **Nastie** to reakcje ruchowe organów roślin niezależne od kierunku działania bodźca. Nastie są najczęściej ruchami turgorowymi, rzadziej wzrostowymi (w młodych organach). Zmiany te zazwyczaj zachodzą w wyspecjalizowanych komórkach znajdujących się w określonych częściach rośliny. W zależności od rodzaju bodźca wyróżniamy kilka rodzajów nastii (**tab. VII.5.1.**).

Tab. VII.5.1. Rodzaje nastii

Rodzaj nastii	Bodziec	Przykład
Chemonastia	substancja chemiczna	u roślin pasożytniczych po schwytaniu owada, np. u rosiczki
Fotonastia	zmiana intensywności światła	otwieranie się kwiatów za dnia i zamykanie nocą, np. szczawik zajęczy, goryczka, lub odwrotnie, np. lepnica
Sejsmonastia	bodźce: mechaniczne, elektryczne, termiczne	nagła zmiana turgoru lub objętości komórek, np. ruchy liści u mimozy i szczawika, oraz kurczenie się pręcików, np. mahonii, chabra
Termonastia	zmiany temperatury	otwieranie się kwiatów pod wpływem podwyższenia temperatury oraz zamykanie się ich po jej obniżeniu, np. u tulipana, krokusa

Typowym przykładem nastii wywołanej zmianą turgoru komórek są ruchy komórek szparkowych. Ruchem nastycznym turgorowym jest także składanie się liści mimo-

zy w reakcji na dotyk – **sejsmonastia** (ryc. VII.5.4.). Reakcja ta zaczyna się po ułamku sekundy od zadziałania bodźca. U nasady pierzastych liści mimozy występują **poduszeczki liściowe** zbudowane z komórek miękkiszowych. Pod wpływem dotyku komórki te tracą turgor, co wynika z wypływu z nich jonów K^+ , a w konsekwencji – utraty wody. Utrata turgoru objawia się natychmiastowym złożeniem listków z równoczesnym opuszczeniem ogonka liściowego. Po upływie kilkunastu minut komórki listków odzyskują turgor i wracają do stanu wyjściowego (ryc. VII.5.4.).



Ryc. VII.5.4. Sejsmonastia czułka wstydliwego (mimozy *Mimosa pudica*) – liście przed dotknięciem i po dotknięciu.

Przykładem nastii, których podłożem są **ruchy wzrostowe**, jest termonastia, czyli otwieranie (epinastia) i zamykanie się (hiponastia) kwiatów w odpowiedzi na zmiany temperatury środowiska (ryc. VII.5.5.). Wyższa temperatura powoduje przyspieszenie wzrostu wewnętrznej strony nasady płatków korony i w konsekwencji otwieranie się kwiatów. Obniżenie temperatury prowadzi do reakcji odwrotnej i zamykania kwiatów.

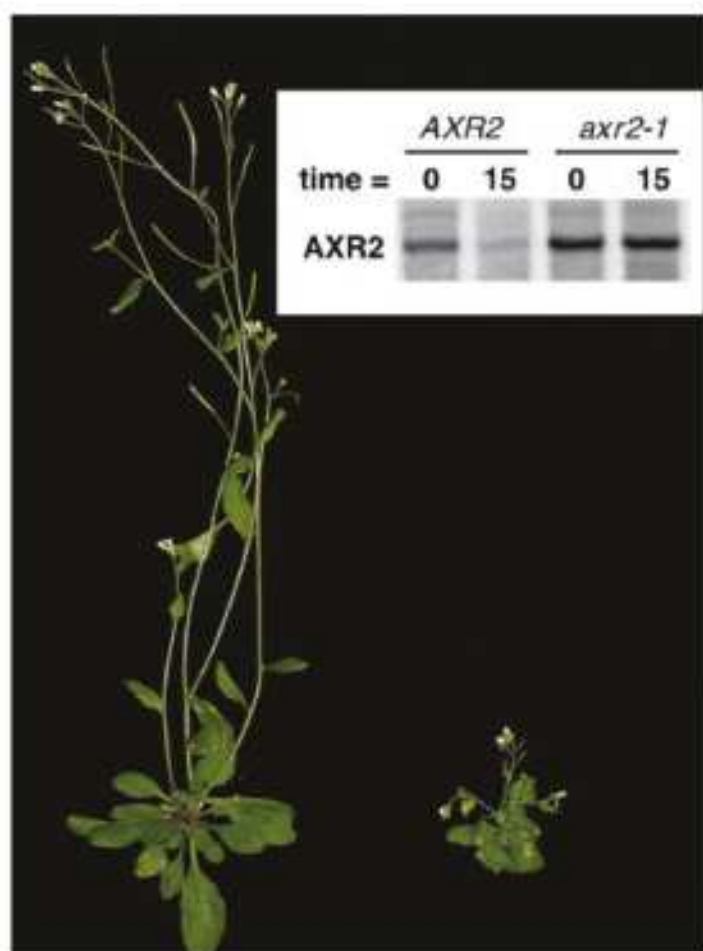


Ryc. VII.5.5. Termonastia u krokusa.

W jaki sposób bada się procesy życiowe roślin?

Nauką zajmującą się badaniem procesów życiowych roślin, funkcjami ich organów oraz wpływem warunków środowiskowych na ich wzrost i rozwój zajmuje się **fizjologia roślin**. Zakres badań jest bardzo szeroki i obejmuje różne poziomy organizacji biologicznej roślin: poziom molekularny (reakcje biochemiczne przebiegające w komórce i ich genetyczne podłoże), komórkowy (np. transport związków, przekazywanie sygnałów), organów (np. fotomorfogeneza) oraz całego organizmu.

Postęp w dziedzinie fizjologii roślin w dużej mierze jest możliwy dzięki wykorzystaniu **mutantów**, czyli osobników, w których genomie celowo zmieniono (np. usunię-



Ryc. VII.5.6. Badania mutantów *Arabidopsis thaliana* umożliwiają poznawanie kluczowych procesów życiowych roślin, m.in. kwitnienia.

to, wyciszono) określony gen. Porównanie mutantów z formami wyjściowymi pozwala na rozszyfrowanie molekularnych podstaw (funkcji genów i kodowanych przez nie białek) rozlicznych procesów zachodzących u roślin. Dzięki badaniom nad mutantami poznano molekularny mechanizm takich procesów, jak kwitnienie, fotomorfogeneza, regulacja hormonalna, odpowiedź na czynniki stresowe czy szlaki biosyntezy licznych związków (np. witamin) (ryc. VII.5.5.).

Badania w zakresie fizjologii roślin w dużej mierze są uzależnione od właściwego podejścia eksperymentalnego i doboru technik. Mogą być prowadzone zarówno w laboratorium czy szklarni, jak i na zewnątrz (badania polowe). Badania laboratoryjne obejmują najczęściej hodowle *in vitro* (na stałej pożywce), hydroponiczne (na pożywce płynnej) oraz ziemne. Hodowle te są prowadzone w ściśle określonych warunkach (temperatura, wilgotność, oświetlenie i fotoperiod), których utrzymanie umożliwiają specjalne komory hodowlane zwane fitotronami. Metody analityczne w znacznej części pokrywają się z tymi wykorzystywanymi w biochemii i biofizyce.



Eksperyment



Wpływ wierzchołka koleoptyla owsa na fototropizm

Wprowadzenie: Owies jest rośliną jednoliścienną, u której w trakcie rozwoju siewki wytwarza się specjalna pochewka zwana koleoptylem, pełniąca funkcje ochronne w stosunku do stożka wzrostu pędu i pierwszych liści.

Problem badawczy: Czy pozbawienie roślin dostępu do światła ma wpływ na reakcje fototropiczne siewek owsa?

Hipoteza badawcza: Sformułuj hipotezę badawczą.

Instrukcja przeprowadzenia doświadczenia: W dwóch doniczkach z ziemią zasadź po 20 nasion owsa i hoduj je przez trzy dni w ciemności (regularne podlewanie, temperatura 25°C). Po tym czasie, pracując w zaciemnionym pomieszczeniu, z siewek owsa w jednej doniczce odetnij nożyczkami szczytowy fragment siewek (ok. 3 mm). Doniczki z siewkami nieuszkodzonymi oraz uciętymi wierzchołkami oświetlaj przez 1–2 h lampką ustawioną do nich w położeniu bocznym.

Opracowanie wyników: Wykonaj w zeszycie schematyczny rysunek wyniku doświadczenia. Zaznacz kierunek padania światła. Wskaż próbę kontrolną i próbę badawczą.

Wnioski: Sformułuj wniosek.

Poszukaj, dowiedz się i wyjaśnij: Wiedząc, że miejscem syntezy i gromadzenia się auksyn w siewkach jest ich stożek wzrostu pędu, przedyskutuj wynik doświadczenia. Wyjaśnij, czy mając do dyspozycji roztwór auksyny, można by odwrócić wynik tego doświadczenia.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Omów mechanizmy ruchów roślin.
2. Wyjaśnij różnicę między tropizmami i nastiami.
3. Wytlumacz, na czym polega foto- i grawitropizm.
4. Podaj, jaki rodzaj ruchu wykazuje mimoza po zadziałaniu bodźca mechanicznego (dotyku).
5. Na podstawie dostępnych źródeł wyjaśnij, na czym polegają ruchy senne u roślin.



PODSUMOWANIE LEKCJI

- **Ruch roślin** jest reakcją na bodziec (np. światło, siłę ciężenia) i obejmuje ruch wzrostowy lub turgorowy. ◀ s. 266
- Wyróżniamy dwa główne typy ruchów: **tropizmy** i **nastie**. ◀ s. 266
- **Tropizmy** to ruchy roślin lub ich organów w odpowiedzi na kierunkowo działający bodziec zewnętrzny. Najczęściej są to ruchy wzrostowe. ◀ s. 266
- Kierunek ruchu tropicznego jest uzależniony od kierunku działania bodźca i może być **dodatni** (w kierunku źródła bodźca) lub **ujemny** (w stronę przeciwną). ◀ s. 266
- Do tropizmów należą: **fototropizm** (reakcja na światło), **grawitropizm** (reakcja na siłę ciężenia), **chemotropizm** (reakcja na substancję chemiczną) i **tigmotropizm** (reakcja na bodziec mechaniczny). ◀ s. 266
- **Nastie** to reakcje ruchowe roślin niezależne od kierunku działania bodźca. Należą do nich ruchy turgorowe i wzrostowe. ◀ s. 268
- Nastie **dzielimy na**: chemonastie (reakcje na substancje chemiczne), fotonastie (reakcje na światło), sejsmonastie (reakcje m.in. na dotyk) i termonastie (reakcje na temperaturę). ◀ s. 268
- **Sejsmonastia**, której podłożem są ruchy turgorowe, występuje np. u mimozy. ◀ s. 269
- Przykładem nastii związanych z **ruchami wzrostowymi** jest zamykanie i otwieranie się kwiatów w odpowiedzi na zmianę temperatury otoczenia (np. u tulipana, krokusa). ◀ s. 269

PODSUMOWANIE PRZED SPRAWDZIANEM

s. 233 ► Mechanizmy przewodzenia wody

Cechy	Rodzaj mechanizmu	
	Bierny	Czynny
Zużycie energii	bez zużycia energii	ze zużyciem energii
Siła generująca	transpiracja adhezja i kohezja	parcie korzeniowe na skutek obniżenia ciśnienia hydrostatycznego przez aktywne pobieranie jonów

s. 235 ► Czynniki wpływające na intensywność transpiracji

Czynniki wewnętrzne	Czynniki zewnętrzne
• budowa rośliny • wydajność przewodzenia tkanki przewodzącej • wielkość systemu korzeniowego • liczba i budowa liści • liczba i rozmieszczenie aparatów szparkowych	• temperatura • światło • wilgotność powietrza • dostępność wody glebowej • ruchy powietrza

s. 233 ► Etapy transportu wody w roślinie

1.	Pobieranie wody z gleby na zasadzie osmozy i transport w poprzek tkanek korzenia.
2.	Transport pionowy z korzeni wzdłuż łodygi do liści za pomocą elementów drewna.
3.	Transport poziomy w obrębie tkanek liścia i uwalnianie wody do atmosfery w czasie transpiracji.

s. 266 ► Rodzaje ruchów roślin

Tropizmy – ruchy roślin wywołane przez bodziec i zależne od kierunku jego działania		Nastie – ruchy roślin niezależne od kierunku działania bodźca	
Rodzaj tropizmu	Bodziec wywołujący	Rodzaj nastii	Rodzaj bodźca
fototropizm	światło	fotonastia	światło
grawitropizm	siła ciężenia	sejsmonastia	mechaniczny
tigmotropizm	mechaniczny	termonastia	temperatura
chemotropizm	substancje chemiczne	chemonastia	substancje chemiczne

Fotoperiodyzm

◀ s. 256

Rośliny długiego dnia (LDP)	Rośliny krótkiego dnia (SDP)	Rośliny neutralne (DNP)
Kwitną, gdy w dobowym fotoperiodzie przeważa faza jasna.	Kwitną, gdy w dobowym fotoperiodzie przeważa faza ciemna.	Są niewrażliwe na długość fazy ciemnej.

Hormony roślinne

◀ s. 264

Fitohormon	Miejsce syntezy	Funkcje
Auksyny	stożek wzrostu pędu, młode liście, nasiona	wzrost wydłużeniowy, dominacja wierzchołkowa, powstawanie korzeni, owocowanie
Gibereliny	młode liście, stożek wzrostu pędu, zarodek nasienia	kietkowanie nasion, wydłużanie łodygi, kwitnienie, owocowanie
Cytokininy	wiele miejsc w roślinie	podział komórek, opóźnianie starzenia się liści, hamowanie dominacji wierzchołkowej, rozwój kwiatów i zarodków, kietkowanie nasion
Etylen	węzły łodyg, dojrzewające owoce, uszkodzone lub starzejące się tkanki	dojrzewanie owoców, odpowiedź na stres, kietkowanie nasion, rozwój korzeni, starzenie się i opadanie liści oraz kwiatów
Kwas abscysynowy	komórki zawierające chloroplasty i inne plastydy	stymuluje dojrzewanie owoców, hamuje wzrost pędów i korzeni, działa hamująco na fotosyntezę, wywołuje reakcje na stres, np. na suszę
Kwas jasmonowy	wiele miejsc w roślinie	kietkowanie nasion, procesy starzenia się rośliny
Brassinosteroidy	liście, pąki kwiatowe, nasiona, owoce	podział komórki, wzrost wydłużeniowy, kietkowanie nasion

Etapy rozwoju osobniczego rośliny okrytonasiennej

◀ s. 250

Etap	Charakterystyka
Embriogeneza	powstanie zarodka z zawiązkami korzenia i pędu oraz liścieniami
Stadium wegetatywne	• kietkowanie nasion • wzrost wegetatywny i zwiększenie rozmiarów • wytworzenie organów wegetatywnych • wytworzenie organów rozmnażania wegetatywnego
Stadium generatywne	• kwitnienie • owocowanie
Starzenie się i śmierć	• procesy związane ze starzeniem się (m.in. rozkład chlorofilu, opadanie liści) • śmierć rośliny

BLOK ĆWICZENIOWY

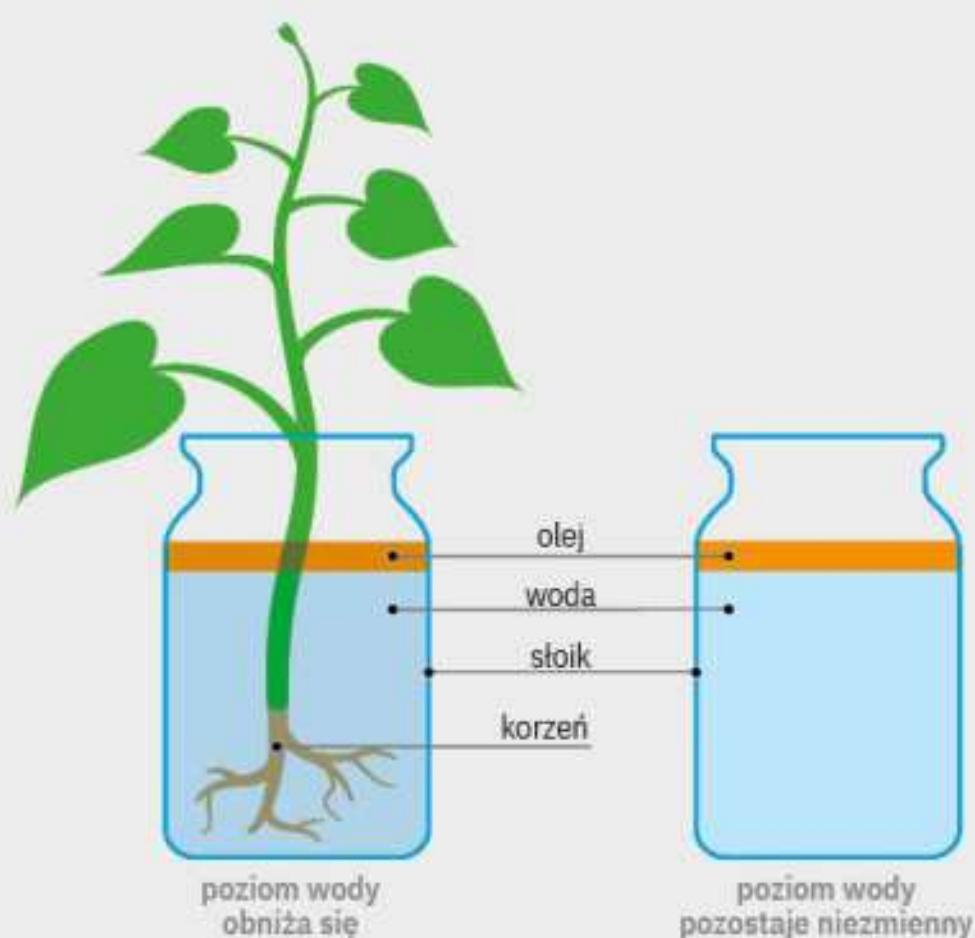
1. (0–1 pkt)

Oceń prawdziwość stwierdzeń dotyczących transportu wody w roślinie. Wybierz P, jeśli zdanie jest prawdziwe, lub F, jeśli jest fałszywe. Zadanie wykonaj w zeszycie.

Stwierdzenie	P/F
1. W czasie dyfuzji cząsteczki wody przenikają przez błonę półprzepuszczalną.	...
2. Transport osmotyczny zachodzi wbrew gradientowi stężeń i wymaga nakładu energii.	...
3. Potencjał wody w korzeniach jest bardziej ujemny niż w roztworze glebowym.	...
4. Kierunek przepływu wody w roślinie zależy od wartości potencjału wody w liściach.	...

2. (0–1 pkt)

Na poniższym schemacie przedstawiono eksperyment dotyczący pobierania wody przez rośliny.



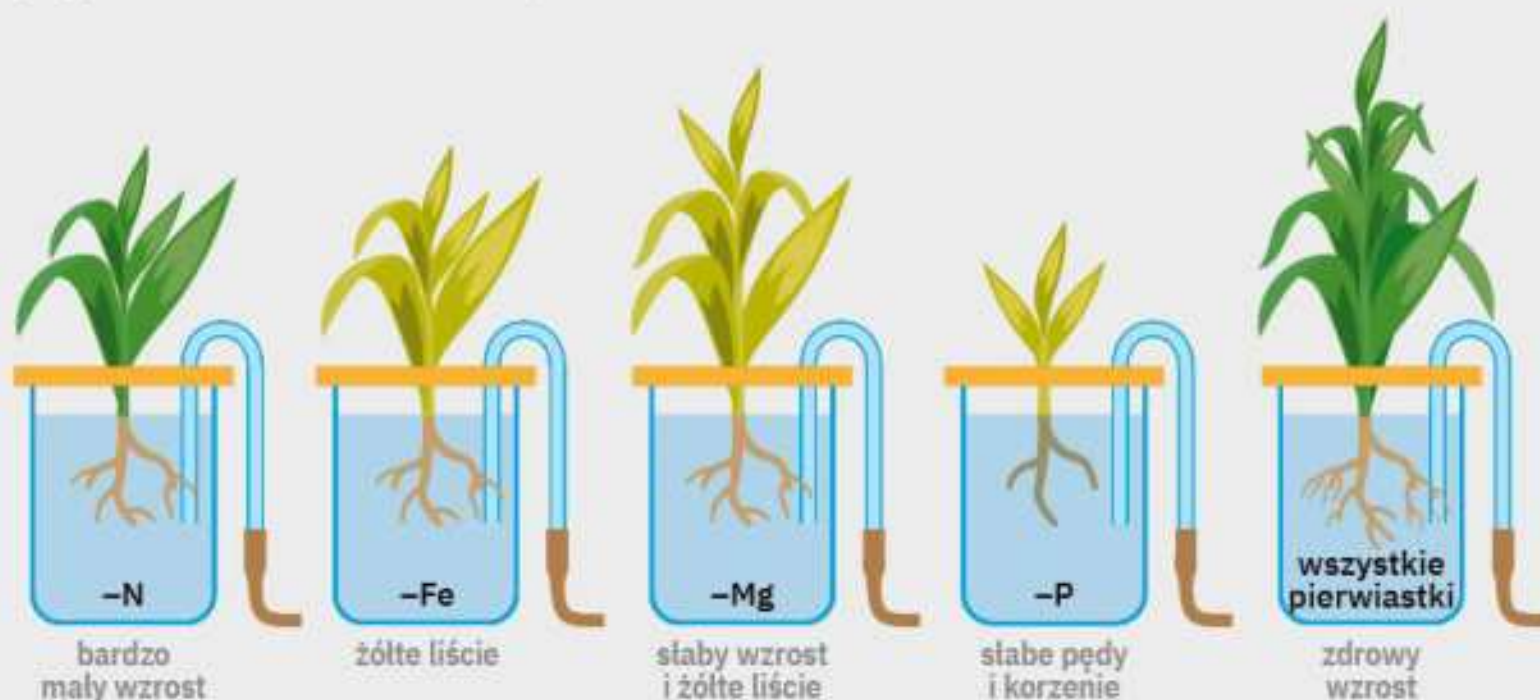
2.1. Sformułuj hipotezę badawczą dla tego doświadczenia.

2.2. Wskaż, które z poniższych stwierdzeń mogłoby być wnioskiem z przeprowadzonego eksperymentu.

- A. Rośliny pobierają wodę za pomocą korzeni.
- B. Rośliny tracą pobraną wodę, wyparowując ją przez liście.
- C. Pobieranie wody przez rośliny jest uzależnione od wielkości systemu korzeniowego.
- D. W wyniku transpiracji rośliny tracą tylko niewielki procent pobranej wody.

3. (0–1 pkt)

Na poniższym schemacie przedstawiono wynik doświadczenia dotyczącego wpływu niedoboru wybranych pierwiastków na wzrost i rozwój roślin.



3.1. Wskaż, które naczynie stanowi próbę kontrolną w tym eksperymencie.

3.2. Wyjaśnij związek uzyskanych wyników z fizjologiczną funkcją, jaką pełnią wymienione pierwiastki w roślinie.

4. (0–1 pkt)

Na poniższym zdjęciu przedstawiono roślinę na pewnym etapie rozwoju osobniczego.



4.1. Określ, w jakim stadium rozwojowym znajduje się przedstawiona na tej fotografii roślina.

4.2. Spośród podanych procesów wybierz te, które zachodzą w czasie tego stadium.

podział zygoty, tworzenie zawiązków korzenia i pędu, owocowanie, kielkowanie nasion, wytwarzanie organów wegetatywnych, rozwój kwiatów, opadanie liści, rozkład chlorofilu, możliwość rozmnażania wegetatywnego

5. (0–1 pkt)

Z podanych przykładów ruchów roślin wybierz te, które należą do tropizmów.

- A. Otwieranie się kwiatów w dzień.
- B. Wyginanie pędów w kierunku światła.
- C. Wzrost korzenia w kierunku działania siły ciężenia.
- D. Zwijanie się liści pod wpływem dotyku.
- E. Przyczepienie się roślin do podpór.

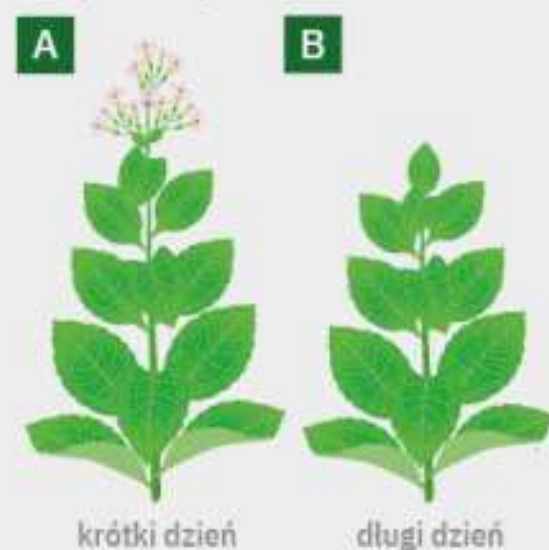
6. (0–1 pkt)

Poniżej przedstawiono wyniki pomiarów masy liści i korzeni roślin bez mikoryzy i roślin z mikoryzą. Na podstawie tych wyników wyjaśnij, jakie znaczenie dla roślin ma symbioza z grzybami mikoryzowymi.

Traktowanie	Liście		Korzenie	
	świeża masa (g)	sucha masa (g)	świeża masa (g)	sucha masa (g)
kontrola	1,061	0,241	1,964	0,306
mikoryzowanie	1,178	0,306	2,430	0,393

7. (0–1 pkt)

Na poniższej fotografii przedstawiono tytoń szlachetny odmiany *Maryland mammoth* hodowany w dwóch różnych fotoperiodach: A. 7 h dzień i 17 h noc, B. 12 h dzień i 12 h noc.



Na podstawie opisu oraz przedstawionego schematu wyjaśnij, czy tytoń szlachetny jest rośliną krótkiego dnia, czy rośliną długiego dnia. Swoją odpowiedź uzasadnij.

8. (0–1 pkt)

Wybierz poprawne dokończenie zdania.

Wernalizacja to

- A. przerywanie spoczynku nasion z wykorzystaniem fitohormonów.
- B. zwijanie liści pod wpływem bodźca mechanicznego.
- C. indukowanie kwitnienia niską temperaturą.
- D. kielkowanie nasion w hodowlach hydroponicznych.

9. (0–1 pkt)

Makro- i mikroelementy pobierane z podłoża warunkują prawidłowy wzrost i rozwój roślin.

Wybierz odpowiedź, w której poprawnie zestawiono pierwiastek z pełnioną przez niego funkcją.

- A. Magnez reguluje turgor komórek.
- B. Wapń reguluje otwieranie aparatów szparkowych.
- C. Fosfor wchodzi w skład lipidów i ATP.
- D. Potas jest niezbędnym substratem do syntezy chlorofilu.

10. (0–1 pkt)

Susza fizjologiczna to zjawisko, w czasie którego roślina pomimo dostępu do wody nie może jej pobierać.

Podaj dwa czynniki zewnętrzne, które mogą doprowadzić do suszy fizjologicznej.

11. (0–1 pkt)

Roślina pod wpływem światła wykazuje ruch wygięciowy zwany fototropizmem.

11.1. Wskaż, który z poniższych schematów (A czy B) w poprawny sposób przedstawia reakcję roślin na bodziec, jakim jest światło.



11.2. Wyjaśnij rolę hormonów roślinnych w reakcji fototropicznej.

12. (0–1 pkt)

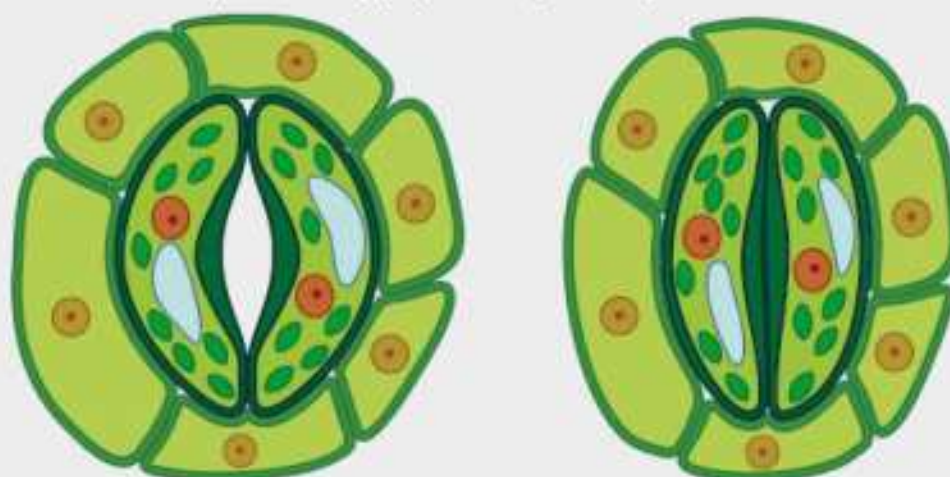
Pierwszym etapem przewodzenia wody w roślinie jest transport pobranej z gleby wody przez włosniki w poprzek korzenia do walca osiowego. Transport ten odbywa się dwoma kanałami: apoplastycznym i symplastycznym.

Na poniższym schemacie przedstawiającym przekrój poprzeczny przez korzeń wskaż kanał apoplastyczny, którym woda wędruje w poprzek korzenia.



13. (0–1 pkt)

Ruchy aparatów szparkowych regulują m.in. intensywność transpiracji i wymianę gazową. Na poniższym schemacie przedstawiono otwarty i zamknięty aparat szparkowy u roślin.



Na podstawie schematów wyjaśnij zależność pomiędzy stężeniem jonów w komórkach szparkowych a ruchami szparek.

Słowniczek trudniejszych pojęć

Absorbpcja – pochłanianie przez substancje (np. barwniki) energii fali elektromagnetycznej.

Alkaloidy – grupa zasadowych związków organicznych, głównie pochodzenia roślinnego, zawierających azot, np. morfina, strychnina, atropina, chinina, kofeina.

Antidotum – substancja mająca zdolność unieszkodliwiania trucizny lub zmniejszenia toksyczności.

Antybiotyk – naturalne związki produkowane przez mikroorganizmy (np. grzyby, bakterie) lub ich syntetyczne odpowiedniki, które w niskich stężeniach działają, hamując wzrost i podziały innych mikroorganizmów.

Antyoksydanty – związki, które w małych stężeniach zapobiegają utlenianiu substancji, np. witamina C czy E.

Atol – płaska wyspa koralowa, zwykle składająca się z rafy koralowej w kształcie pierścienia otaczającego centralne obniżenie terenu; może stanowić odrębny zbiornik wodny lub jest połączony z morzem.

Atropina – organiczny związek chemiczny z grupy alkaloidów; stosowana jako lek rozkurczowy i środek rozszerzający źrenice; występuje w pokrzyku wilczej jagodzie i bieluniu dziędzierzawie.

Behawioryzm – nauka o zachowaniu ludzi oraz zwierząt.

Biogenne pierwiastki – pierwiastki chemiczne niezbędne do życia i wchodzące w skład podstawowych makrocząsteczek budujących organizmy; należą do nich: węgiel, wodór, azot, tlen, fosfor i siarka.

Bioremediacja – biologiczne oczyszczanie zanieczyszczonego środowiska lądowego i wodnego z wykorzystaniem mikroorganizmów (bakterii, grzybów) lub roślin.

Bodziec – jakikolwiek czynnik wywołujący określoną reakcję.

Chityna – polisacharyd zawierający azot i stanowiący główny składnik szkieletu zewnętrznego owadów i ścian komórkowych wielu grzybów.

Chloroza – zmiany chorobowe roślin polegające na zaburzeniach w wytwarzaniu chlorofilu; objawia się żółknięciem liści.

Digitalina – jeden z glikozydów stosowanych w chorobach serca wytwarzanych przez gatunki z rodzaju *naparstnica*.

Dyfuzja – proces samoistnego mieszania się cząsteczek w ośrodku; zachodzi pod wpływem ruchów cieplnych lub dążenia do wyrównania stężeń.

Efedryna – substancja roślinna z grupy alkaloidów; występuje w roślinach z rodzaju *przędź*; stosowana w leczeniu (m.in. w leczeniu niedociśnienia).

Ekstremalne środowisko – środowisko o warunkach znacznie odbiegających od tych, w których żyje człowiek, np. z wysoką lub niską temperaturą, wysokim lub niskim pH, bardzo dużym zasoleniem, przy braku tlenu.

Epifity – rośliny rosnące na innej roślinie, która służy im jako podpora; odżywiają się najczęściej samodzielnie.

Erozja – proces niszczenia powierzchni terenu przez wodę, wiatr, słońce, siłę grawitacji i działalność organizmów.

Eutrofizacja – przenawożenie, polega na wzroście ładunku pierwiastków biogennych, przede wszystkim azotu i fosforu, w wodach; powoduje masowy rozwój organizmów planktonowych (zakwity sinic), zmniejszenie przezroczystości, zanik roślinności przybrzeżnej czy zmniejszenie zasobów tlenu w wodzie.

Fitochrom – niebieskozielony barwnik białkowy pełniący funkcję fotoreceptora w wielu reakcjach fizjologicznych; występuje w dwóch formach przechodzących jedna w drugą w warunkach zmian światła czerwonego i podczerwonego.

Fotoreceptor – białka lub komórki pochłaniające światło i uruchamiające określoną reakcję fizjologiczną w organizmie, np. czopki i pręciki występujące w siatkówce oka.

Fototropiny – roślinne receptory światła niebieskiego, które umożliwiają roślinom reakcje na zmieniające się warunki oświetleniowe.

Granulat – forma substancji w postaci sproszkowanej, uformowana w jednolite grudki (ziarenka) o nieregularnym kształcie i wielkości.

Gutaperka – substancja występująca w soku mlecznym wielu gatunków roślin; używana m.in. w przemyśle spożywczym i w stomatologii.

Herbicydy – substancje naturalne lub syntetyczne służące do selektywnego lub nieselektywnego zwalczania chwastów w uprawach.

Hydatody – wyspecjalizowane komórki roślinne przez które jest usuwany nadmiar wody z organizmu.

Hydroponika – bezglebowa uprawa roślin na pożywkach płynnych.

Kalafonia – pozostałość po oddestylowaniu terpentyny z żywicy drzew iglastych (głównie sosny); stanowi składnik lakierów, farb; jest stosowana do przygotowania receptur aptecznych oraz przez tancerzy baletowych czy akrobatów do utrzymania przyczepności.

Karageny – rodzaj polisacharydów pozyskiwany z krasnorostów zawierających w swojej strukturze liczne grupy siarczanowe; wykorzystywane w przemyśle spożywczym do wytwarzania galaret i żeli.

Kryptochrom – białkowy barwnik silnie pochłaniający światło niebieskie, uczestniczy w regulacji zegara biologicznego u roślin i niektórych zwierząt.

Koniugacja – proces płciowy u niektórych protistów i roślin pierwotnie wodnych polegający na wymianie materiału genetycznego pomiędzy dwiema komórkami lub na połączeniu dwóch komórek.

Kwasy alginowe – związki chemiczne z grupy polisacharydów będące składnikiem ścian komórkowych wielu glonów; stosowane w przemyśle spożywczym jako zagęstniki i substancje żelujące.

Las borealny – inaczej tajga.

Lignina – substancja występująca w ścianach komórkowych roślin i nadająca im sztywność i wytrzymałość; występuje głównie w zdrewniałych częściach roślin.

Monstera – rodzaj wiecznie zielonych pnączy obejmujący 37 gatunków pochodzących z Ameryki Środkowej i Południowej; stosowana w lecznictwie; popularna roślina ozdobna.

Morfologiczne cechy – wszystkie te cechy, które są widoczne w wyglądzie zewnętrznym organizmu i można dostrzec je „gołym okiem”.

Namorzynowy las – wiecznie zielony las tropikalny pokrywający tereny podmokłe w strefie pływów.

Nekroza – martwica; niekontrolowana śmierć komórki powodująca uszkodzenie innych komórek.

Olejki eteryczne – lotna substancja zapachowa występująca w specjalnych komórkach tkanki wydzielniczej roślin (np. gatunki z rodziny sosnowatych); mieszanina związków chemicznych (m.in. ketonów, aldehydów, alkoholi, estrów, amin); wykorzystywane w perfumiarstwie, kosmetyce czy do aromaterapii.

Ordowik – drugi okres ery paleozoicznej; trwał około 42 mln lat; dzieli się na trzy epoki: ordowik wczesny, środkowy i późny.

Osmoregulacja – aktywna regulacja ciśnienia osmotycznego płynów organizmu w taki sposób, aby nie stały się one zbyt rozcieńczone ani zbyt stężone.

Osmoza – dyfuzja rozpuszczalnika przez błonę półprzepuszczalną rozdzielającą dwa roztwory o różnym stężeniu; przenikanie zachodzi z roztworu o niższym stężeniu substancji rozpuszczonej do roztworu o stężeniu wyższym, prowadząc do wyrównania stężeń obu roztworów.

Otoczka hydratacyjna – otoczka z cząsteczek wody związanych z powierzchnią koloidu (np. białka), nadająca cząsteczkom stabilność i zapobiegająca ich wytrącaniu się.

Pandan – rodzaj roślin obejmujący ok. 700 gatunków, występujących w tropikach Afryki, Azji, Australii; ich najliczniejsza grupa to drzewa i krzewy; rośliny te mają korzenie podporowe.

Paskal – jednostka ciśnienia w układzie SI.

Pektyny – polisacharydy występujące w ścianach komórkowych roślin; składnik błonnika pokarmowego.

Peptydoglikan – polimer złożony ze zmodyfikowanych węglowodanów połączony z białkami lub peptydami; składnik ściany komórkowej bakterii.

Plankton – zespół organizmów biernie unoszących się w powierzchniowych warstwach wód; składa się z fitoplanktonu i zooplanktonu.

Poliglikan – zapasowy polisacharyd u roślin pierwotnie wodnych.

Pompa białkowa – białko związane z błoną, które wykorzystuje energię hydrolizy ATP do transportu np. protonów przez błony biologiczne wbrew różnicy ich stężenia.

Reducenci – organizmy odżywiające się szczątkami innych organizmów i rozkładające złożone związki organiczne na prostsze związki, także nieorganiczne.

Replikacja – proces polegający na podwojeniu ilości DNA; jest to proces semikonserwatywny, tzn. że z podwójnej helisy DNA powstają dwie nowe cząsteczki, a każda z nich jest zbudowana z jednej starej nici i jednej nowej.

Rezerwat przyrody – forma prawnej ochrony przyrody; tereny przeznaczone na cele ochrony przyrody oraz prowadzenia badań naukowych.

Sok brzozy – wykorzystywany w medycynie naturalnej środek leczniczy (np. we wspomaganiu odporności czy leczeniu chorób nerek); zawiera m.in. antyoksydanty, garbniki, aminokwasy, miedź, żelazo, wapń, potas.

Sporopolenina – główny składnik twardych zewnętrznych warstw zarodników i ziaren pyłku.

Sukulenty – rośliny mające przystosowania anatomiczne i fizjologiczne do życia w warunkach ograniczonej dostępności wody. Występują najczęściej na obszarach pustynnych.

Suplementy diety – produkty spożywcze, których celem jest uzupełnienie diety; mogą być źródłem witamin, składników mineralnych lub innych substancji odżywczych.

Szyszkojagoda – zmodyfikowana szyszka przypominająca jagodę utworzona ze zmięśniałych i zrosniętych ze sobą łusek nasiennych; występuje wyłącznie u nagozalążkowych z rodzaju *jałowiec*.

Tajga – typ biomu zwany także borealnym lasem iglastym, w którym dominują lasy szpilkowe; występuje w Kanadzie, północnej Europie i na Syberii.

Taksol – organiczny związek o działaniu przeciwnowotworowym; po raz pierwszy wyizolowany z kory cisa krótkolistnego.

Taksonomia – nauka zajmująca się nazewnictwem, opisem i klasyfikacją organizmów.

Terpentyna – otrzymywana z żywicy drzew iglastych (głównie sosny) bezbarwna lub żółta ciecz, którą wykorzystuje się jako rozpuszczalnik farb i lakierów, do wyrobu past do obuwia i podłóg oraz w medycynie.

Torf – twór będący efektem niepełnego rozkładu szczątków roślinnych, zachodzący w warunkach długotrwałego lub stałego zabagnienia wierzchniej warstwy gleby.

Ultrastruktura – struktura komórki widoczna jedynie pod mikroskopem elektronowym.

Wektor – 1) czynnik przenoszący pasożyty z jednego żywiciela na drugiego, 2) czynnik, np. plazmid

czy wirus, przenoszący informację genetyczną, wykorzystywany w inżynierii genetycznej.

Żywica – lepka substancja organiczna wytwarzana przez niektóre rośliny i gromadzona w przewodach żywicznych.

Indeks

A

aeroby 51
ameby 86
anabioza 54
anaeroby 51
anemochoria 210
anizogamia 81
antybiogram 62
antybiotyki 62
aparat szparkowy 143
aplanospory 80, 102
archeowce 57
askospory 105
asymilaty 245
auksyny 261
autochoria 210

B

bakterie 46
 autotroficzne 50
 beztlenowe 51
 brodawkowe 52, 247
 chorobotwórcze 59
 denitryfikacyjne 52
 Gram-dodatnie 48
 Gram-ujemne 47
 nitryfikacyjne 51
bakteriochlorofil 47
bakteriochlorofile 50
bakteriofagi 31
bielmo 206
bilans wodny 239
bioindykacja 115
blaszka liściowa 182
botanika 215
brunatnice 90
bulwy pędowe 179

C

cebule 185

cechy

 plezjomorficzne 18
 synapomorficzne 18
celuloza 126
cewki 148, 190
chemotaksje 56
chemotropizm 268
chlamydie 58
chronogram 20
ciernie liściowe 185
ciernie pędowe 179
cyjanella 129
cykl
 lityczny 31
 lizogeniczny 31
cysty 54
cytokininy 262
cytophyge 72

D

domena 14
dominacja wierzchołkowa 261
drewno 148
drewno pierwotne 171
dwuliścienne 211
dychotomiczność 12
działki kielicha 203

E

endoderma 171
endofity 248
endospory 54
endosymbioza
 wtórna 78
epiderma 143, 176
epikotyl 251
epitet gatunkowy 10
etylen 263
eugleniny 88

F

felloderma 144
fellogen 140
fermentacja 51
fikoerytryna 129
filogenetyka 8
filogeneza 16
filogram 20
fimbrie 48
fimbrie płciowe 54
fitochrom 257
fitogeografia 215
fitohormony 261
fitosocjologia 215
floem 149
formy
 kokoidalne 78
 wiciowe 78
fotomorfogeneza 254
fotoperiodyzm 256
fototaksje 56
fototropizm 266

G

gametangia 81, 156
gametangiogamia 103
gametogamia 102
gatunek 9
gibereliny 262
glaukocystofity 129
glewiki 159
glikoproteiny 29
gniot 194
gniotowe 194
grawitropizm 267
grupa
 monofiletyczna 19
 parafiletyczna 19
 polifiletyczna 19
grzybieniove 212

grzybnia 98
grzyby 98
 drapieżne 101
 niedoskonałe 111
 pasożytnicze 99
 saprofityczne 99
 symbiotyczne 99
gutacja 235

H

helotyzm 115
heterocysty 52
hipokotyl 251
homologia 17
hydrochoria 211
hymenium 105, 106
hymenofor 106

I

interferon 40
izogamia 81
izydia 117

J

jednoliścienne 211
jednostki taksonomiczne 9

K

kalus 140
kambium 140
 międzywiązkowe 177
 wiązkowe 177
kanał
 apoplastyczny 233
 symplastyczny 234
kapsyd 29
kietkowanie 252
 epigeiczne 252
 hipogeiczne 252
kinetoplastydy 85
kłącza 178
kład 15
kladogram 20

kladystyka 8
klębniaczkowce 109
kohezja 234
kolce 144
kolenchyma 148
komórki sitowe 150, 190
koniugacja 54, 74
kora pierwotna 171
korek 144
korkowica 144, 172, 178
korzeń 169
 zarodkowy 207
korzenie
 czepne 173
 kurczliwe 173
 oddechowe 174
 pasożytów 174
 podporowe 173
 powietrzne 174
 przybyszowe 170
 spichrzowe 172
krasnorosty 129
krętki 58
kutner 144
kutykula 143, 184
kutyna 143
kwas abscysynowy 263
kwas jasmonowy 264
kwiat 201
kwitnienie 255

L

lęgnie 81
lęgniowce 91
liściaki 185
liście
 pułapkowe 185
 spichrzowe 186
liścienie 181
tyko 149
tyko pierwotne 171

M

magnoliowe 212
makrofile 181
makronukleus 70
mejospory 102
mejoza
 postgamiczna 74
 pregamiczna 74
merystem
 pierwotny 139
 przyranny 140
 wierzchołkowy 139
 wstawowy 139
 wtórny 139
miazga
 korkotwórcza 140
 międzywiązkowa 140
międzywęźla 176
miękkisz
 asymilacyjny 147
 gąbczasty 147
 palisadowy 147
 powietrzny 147
 spichrzowy 147
 wieloramienny 147
 wodny 147
 zasadniczy 146
mikoryza 100, 246
mikrofile 181
mikronukleus 70
miksotrofizm 80
miłorzębowe 195
morfogeneza 250
mszaki 154
mykologia 107
mykoplazmy 58

N

naczynia 149
nagozależkowe 190
narząd analogiczny 16
nastie 268
nazewnictwo binominalne 10

nerwacja liścia 182
nitrogenaza 52
nukleoid 47

O

obielmo 207
odwrotna
 transkryptaza 33
ogonek liściowy 182
okółki 164
okolnica 171
okrytozalążkowe 200
okwiat 203
ontogeneza 250
oogamia 81
organy 169
 generatywne 169
 wegetatywne 169
orzęski 85
osmoza 232
otoczka śluzowa 48
otwornice 87
owoc 207
owocniki 99
owocowanie 257

P

pąki 176
paprocie 163, 166
paprotniki 166
parabasalia 86
parcie korzeniowe 235
pellikula 70
periderma 142, 144
pirenoidy 79
płatki korony 203
plazmid 47
plazmodesmy 151
plazmogamia 103
plecha 78, 115
 krzaczkowata 116
 listkowata 116
 nitkowata 78, 99

 plektenchymatyczna 99
 skorupiasta 115
 tkankowa 79
plechowce 98
plektenchyma 78
plemnie 81
płonniki 157
porosty 115, 132
potencjał wody 232
prątniki 158
pręciki 203
priony 41
promienionózki 87
protisty
 grzybopodobne 83
 roślinopodobne 78
 zwierzęce 84
przemiana
 heteromorficzna 82
 izomorficzna 82
przędź 194
przetchniki 145
przetrwalniki 54
pseudopodia 71
psyloty 166
pylniki 203

R

ramienicowe 135
retrowirus 33
rośliny
 nasienne 188
 pierwotnie wodne 127
 telomowe 136
rozładunek łyka 245
rozłogi 178
ruch
 pseudopodialny 71
 unipodialny 72
ruchy
 wzrostowe 269
rurki sitowe 150
rynja 135
ryniofity 135
ryzoderma 144, 171
ryzoidum 129
rzęski 48

S

sagowce 193
samozapylanie 205
schizogonia 73
sejsmonastia 269
seta 155
sinice 58
sklereidy 148
sklerenchyma 148
skórka 142, 143, 184
skrobia 126
skrzypy 164, 166
słupek 204
śluznie 83
śluzowce 90
somatogamia 105
splątek 155
sporopolenina 191
sporowce 84
statolity 267
stopa 155
strefa
 korzeni bocznych 171
 wierzchołkowa 170
 włosnikowa 170
 wydłużania 170
strobile 163
strzępki 98
sympplast 151
system
 palowy 170
 wiązkowy 170
systematyka 8
systematyka filogenetyczna 17
szczepionki 40
szpilkowe 195
szypułka 201
szyszka 190

T

taksje 56
taksonomia 8
taksony 9
 siostrzane 20
telom 135
termofile 57
termotaksje 56
tigmotropizm 268
tkanka 138
 mięgiszowa 146
 okrywająca 142
 przewodząca 148, 230
 wydzielnicza 150
 wzmacniająca 147
 zarodnikotwórcza 140
tkanki
 merystematyczne 139
 twórcze 138
tobołki 88
torfowce 157
transdukcja 55
transformacja 55
transpiracja 234
 kutykularna 236
 przechlinkowa 237
 szparkowa 236
tropizm 266
trymerofity 136
turgor 237
twardzica 147

U

ulistnienie 181
urwistki 117

W

walec osiowy 171
wąsy
 liściowe 186
 pędowe 179
wątrobowce 158
welwiczja 194

węzły 176
widłakowe 163, 165
wigor nasion 253
wirion 28
 bakteriofaga 29
wiroidy 41
wirusy 28
włośniki 144, 170
włostek 105
woreczek pyłkowy 191
wzrost wegetatywny 254

Z

załadunek tyka 245
załążek 204
zapylenie 205
zarodnia 155
zarodnie 80
zarodniki 80
 konidialne 102
 podstawkowe 102
 sporangialne 102
 workowe 102
ziarna pyłku 203
zielenice 130
złotowiciowce 89
zoochoria 211
zoospory 80
zosterofilofity 136
zwarcica 147
zygospora przetrwalnikowa 104
żywołność nasion 253