

OPERON
Edukacja jest podróżą

Ciekawi- Świata1

BIOLOGIA

PODRĘCZNIK
ZAKRES
ROZSZERZONY

 DO NOWEJ PODSTAWY
PROGRAMOWEJ



PODRĘCZNIK INSPIROWANY POSTACIĄ
FRANÇOIS JACOBA
LAUREATA NAGRODY NOBLA Z 1965 ROKU



SZKOŁY PONADGIMNAZJALNE

WSTĘP

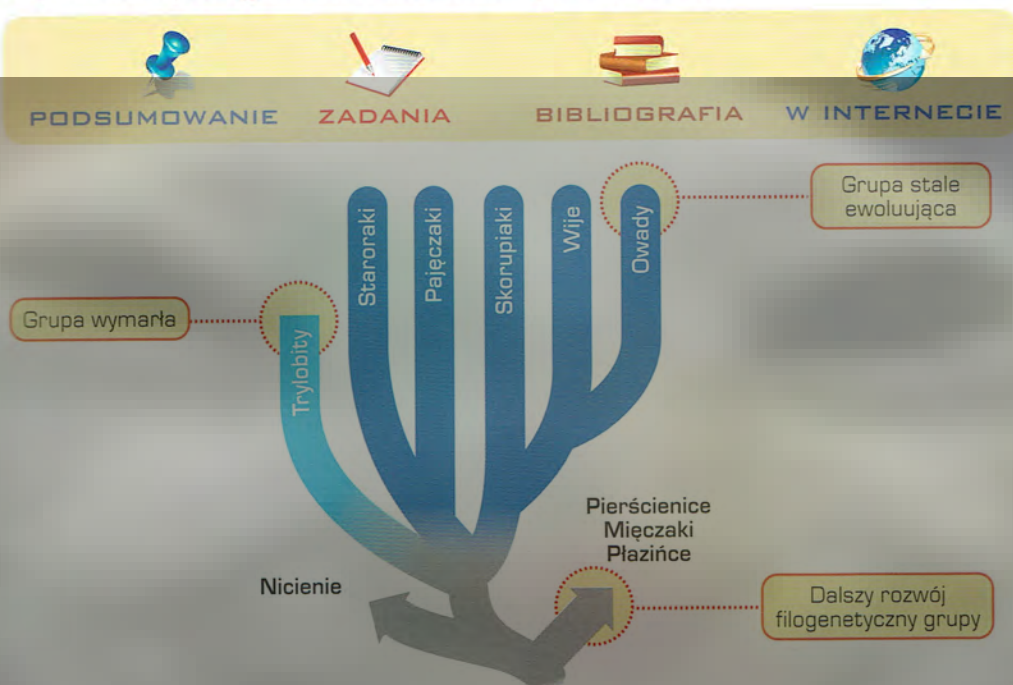
Podręcznik *Biologia 1. Zakres rozszerzony* został napisany przez doświadczonych nauczycieli, współpracujących ze znakomitymi metodykami. Jest to pierwszy tom z trzutomowej serii podręczników do biologii w zakresie rozszerzonym dla uczniów szkół ponadgimnazjalnych. Książka jest częścią pakietu edukacyjnego, w którego skład wchodzi: program nauczania, publikacja dla nauczyciela, zestawy testów przygotowujących do matury oraz filmy edukacyjne. Wszystkie elementy tego zestawu są ze sobą ściśle zintegrowane i pozwalają na pełne wykorzystanie nowoczesnych metod dydaktycznych w nauczaniu biologii.

W niniejszym tomie autorzy prezentują treści z zakresu biochemii i cytologii oraz współczesny podział systematyczny organizmów, ich bogactwo i różnorodność. Jednocześnie, chcąc przedstawić spójny i jednorodny obraz świata organizmów żywych, zwracają uwagę na cechy wspólne i wzajemne powiązania różnych jednostek taksonomicznych.

Przejrzysty i uporządkowany układ podręcznika ułatwia zrozumienie i zapamiętanie prezentowanych treści. Problematyka omawiana w każdym rozdziale została ujęta w formę bogato ilustrowanego krótkiego wykładu, urozmaicanego doświadczeniami i ciekawostkami, stanowiącymi często informacje pozaprogramowe. Znajdujące się pod koniec każdego rozdziału podsumowania zawierają syntezę zawartych w nim informacji. Zamieszczone polecenia umożliwiają uczniom utrwalenie wiadomości i służą sprawdzeniu stopnia opanowania przez nich omawianych treści. Propozycje lektur oraz stron WWW służą poszerzeniu wiedzy z danego tematu, zdobyciu dodatkowych, ciekawych informacji, a także pomagają rozwinąć zainteresowania biologiczne. Proces nauczania z pewnością wzbogaci również zadania maturalne umieszczone po każdym dziale dostosowane do nowej formuły egzaminu dojrzałości. Korzystanie z podręcznika ułatwia indeks znajdujący się na końcu książki.

Prosimy o nadsyłanie pod adresem Wydawnictwa wszelkich uwag i sugestii. Będą one niezwykle przydatne w pracach nad kolejnymi wydaniem książki. Uczniom życzymy, aby praca z podręcznikiem przyczyniła się do wielu sukcesów w nauce.

Objaśnienia piktogramów i drzewa filogenetycznego



SPIS TREŚCI

BUDOWA CHEMICZNA ORGANIZMÓW

1 NIEORGANICZNE SKŁADNIKI KOMÓRKI	8
2 ORGANICZNE SKŁADNIKI KOMÓRKI	16

BUDOWA I FUNKCJONOWANIE KOMÓRKI

3 BUDOWA KOMÓRKI PROKARIOTYCZNEJ I EUKARIOTYCZNEJ	34
4 BUDOWA I FUNKCJE BŁONY KOMÓRKOWEJ ORAZ NIEPLAZMATYCZNYCH SKŁADNIKÓW KOMÓRKI	40
5 BUDOWA I FUNKCJE ORGANELLI KOMÓRKOWYCH	46
6 BUDOWA I FUNKCJE JĄDRA KOMÓRKOWEGO. PODZIAŁY KOMÓRKOWE	53

PRZEGLĄD RÓŻNORODNOŚCI ORGANICZNYCH FORM BEZKOMÓRKOWYCH I PROSTYCH FORM KOMÓRKOWYCH

7 BUDOWA WIRUSÓW	62
8 NAMNAŻANIE SIĘ WIRUSÓW. WYBRANE CHOROBY WIRUSOWE	66
9 BUDOWA KOMÓRKI BAKTERYJNEJ	72
10 FUNKCJE ŻYCIOWE BAKTERII. WYBRANE CHOROBY BAKTERYJNE	77
11 BUDOWA I PROCESY ŻYCIOWE PROTISTÓW	82
12 PODZIAŁ I CHARAKTERYSTYKA POSZCZEGÓLNYCH GRUP GLONÓW	86
13 PROTISTY CHOROBTWÓRCZE	91

PRZEGLĄD RÓŻNORODNOŚCI ORGANIZMÓW - ROŚLINY LĄDOWE

14 POCHODZENIE I LINIE ROZWOJOWE ROŚLIN	98
15 BUDOWA I FUNKCJE TKANEK ROŚLINNYCH. TKANKI TWÓRCZE	102
16 BUDOWA I FUNKCJE TKANEK ROŚLINNYCH. TKANKI STAŁE	106
17 MSZAKI - ROŚLINY ZARODNIKOWE Z DOMINUJĄCYM GAMETOFITEM	116
18 PAPROTKI - ROŚLINY ZARODNIKOWE Z DOMINUJĄCYM SPOROFITEM	122
19 BUDOWA ORGANÓW WEGETATYWNYCH ROŚLIN NASIENNYCH	128
20 MODYFIKACJE ORGANÓW WEGETATYWNYCH ROŚLIN NASIENNYCH	135
21 BUDOWA ORGANÓW GENERATYWNYCH I CYKL ROZWOJOWY NAGONASIENNYCH	140
22 BUDOWA ORGANÓW GENERATYWNYCH I CYKL ROZWOJOWY OKRYTONASIENNYCH	143
23 SYSTEMATYKA I ZNACZENIE ROŚLIN NASIENNYCH	156

PRZEGLĄD RÓŻNORODNOŚCI ORGANIZMÓW - GRZYBY

24 BUDOWA GRZYBÓW. CHARAKTERYSTYKA WORKOWCÓW	172
25 CHARAKTERYSTYKA SPRZĘŻNIOWCÓW I PODSTAWCZAKÓW	176
26 ZWIĄZKI SYMBIOTYCZNE I ZNACZENIE GRZYBÓW	180

PRZEGLĄD RÓŻNORODNOŚCI ORGANIZMÓW - ZWIERZĘTA

27 POCHODZENIE I GŁÓWNE LINIE ROZWOJOWE ZWIERZĄT	190
28 SPOSOBY ROZMNAŻANIA SIĘ ZWIERZĄT I ETAPY ROZWOJU ZARODKOWEGO	193



29	TKANKI ZWIERZĘCE – TKANKA NABŁONKOWA, MIĘŚNIOWA I NERWOWA	200
30	TKANKI ZWIERZĘCE – TKANKA ŁĄCZNA	207

PRZEGLĄD RÓŻNORODNOŚCI ORGANIZMÓW – ZWIERZĘTA BEZKRĘGOWE

31	BUDOWA I FUNKCJE ŻYCIOWE GĄBEK	220
32	BUDOWA I SYSTEMATYKA PARZYDEŁKOWCÓW	224
33	FUNKCJE ŻYCIOWE I ZNACZENIE PARZYDEŁKOWCÓW	228
34	BUDOWA PŁAZIŃCÓW	232
35	PRZEGLĄD PASOŻYTNICZYCH PŁAZIŃCÓW	236
36	BUDOWA NICIENI	239
37	ROZMNAŻANIE I PRZEGLĄD PASOŻYTNICZYCH NICIENI	242
38	BUDOWA I FUNKCJE ŻYCIOWE PIERŚCIENIC	246
39	PRZEGLĄD SYSTEMATYCZNY I ZNACZENIE PIERŚCIENIC	251
40	BUDOWA ZEWNĘTRZNA STAWONOGÓW	256
41	BUDOWA WEWNĘTRZNA STAWONOGÓW	261
42	ROZMNAŻANIE I ROZWÓJ OWADÓW	266
43	PRZEGLĄD SYSTEMATYCZNY I ZNACZENIE STAWONOGÓW	272
44	BUDOWA I FUNKCJE ŻYCIOWE MIĘCZAKÓW	279
45	PRZEGLĄD SYSTEMATYCZNY I ZNACZENIE MIĘCZAKÓW	287
46	BUDOWA I CZYNNOŚCI ŻYCIOWE SZKARŁUPNI	292
47	POCHODZENIE I LINIE ROZWOJOWE STRUNOWCÓW	296
48	CHARAKTERYSTYKA STRUNOWCÓW NA PRZYKŁADZIE ŁANCETNIKA	298
49	OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA I POCHODZENIE KRĘGOWCÓW	302

PRZEGLĄD RÓŻNORODNOŚCI ORGANIZMÓW – ZWIERZĘTA KRĘGOWE

50	FILOGENEZA I BUDOWA ZEWNĘTRZNA RYB	314
51	BUDOWA WEWNĘTRZNA I CZYNNOŚCI ŻYCIOWE RYB	318
52	PRZEGLĄD SYSTEMATYCZNY I ZNACZENIE RYB	326
53	FILOGENEZA I BUDOWA ZEWNĘTRZNA PŁAZÓW	330
54	BUDOWA WEWNĘTRZNA I CZYNNOŚCI ŻYCIOWE PŁAZÓW	333
55	PRZEGLĄD SYSTEMATYCZNY I ZNACZENIE PŁAZÓW	340
56	FILOGENEZA I BUDOWA ZEWNĘTRZNA GADÓW	344
57	BUDOWA WEWNĘTRZNA I CZYNNOŚCI ŻYCIOWE GADÓW	347
58	PRZEGLĄD SYSTEMATYCZNY I ZNACZENIE GADÓW	354
59	FILOGENEZA I BUDOWA ZEWNĘTRZNA PTAKÓW	358
60	BUDOWA WEWNĘTRZNA I CZYNNOŚCI ŻYCIOWE PTAKÓW	361
61	ROZMNAŻANIE I ROZWÓJ PTAKÓW	369
62	PRZEGLĄD SYSTEMATYCZNY I ZNACZENIE PTAKÓW	371
63	FILOGENEZA I BUDOWA ZEWNĘTRZNA SSAKÓW	379
64	BUDOWA WEWNĘTRZNA I CZYNNOŚCI ŻYCIOWE SSAKÓW	383
65	PRZEGLĄD SYSTEMATYCZNY SSAKÓW	392
66	ZNACZENIE I OCHRONA SSAKÓW	398

INDEKS	408
------------------	-----





BUDOWA CHEMICZNA ORGANIZMÓW

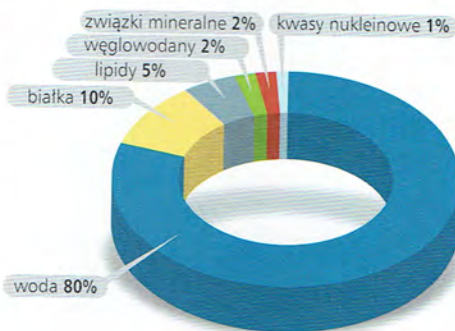
- 1|Nieorganiczne składniki komórki
- 2|Organiczne składniki komórki

1. Nieorganiczne składniki komórki

Wszystkie organizmy zbudowane są ze związków chemicznych utworzonych przez **pierwiastki**. Związki chemiczne pełnią w organizmach żywych wiele istotnych funkcji: są materiałem energetycznym, a także receptorami sygnałów z otoczenia i przenośnikami informacji, stanowią środowisko przemian biochemicznych lub ulegają tym przemianom. Dziedziną nauki zajmującą się badaniem chemicznych i fizycznych właściwości substancji tworzących organizmy jest biologia molekularna. Uzyskana za jej pośrednictwem wiedza na temat pierwiastków i związków chemicznych pozwala zrozumieć, że mimo ogromnej różnorodności biologicznej organizmów ich skład chemiczny i podstawowe procesy życiowe są podobne.

Związki chemiczne

Wszystkie komórki potrzebują do życia tych samych związków. **1.1.1** Dzieli się je na nieorganiczne oraz organiczne. Do związków nieorganicznych zaliczamy **wodę** i **sole mineralne**, natomiast do organicznych między innymi **białka**, **węglowodany**, **lipidy** i **kwasy nukleinowe**. Jednym ze stosowanych współcześnie kryteriów, na podstawie których zalicza się określone substancje do jednej lub drugiej grupy, jest liczba budujących je pierwiastków. Związki nieorganiczne zbudowane są z dwu do czterech składników, a związki organiczne – z dwu do nawet siedmiu (białka) składników.



1.1. Średni udział procentowy poszczególnych związków chemicznych w komórce

Na podstawie: B. Bukala, *Biologia. Komórka – skład chemiczny i struktura*, Wydawnictwo Szkolne Omeja, Kraków 2004.

Pierwiastki i związki nieorganiczne

Udział procentowy poszczególnych pierwiastków i związków chemicznych w organizmie może wahać się w pewnym zakresie bez szkody dla funkcji życiowych. Jednak przekroczenie określonych wartości powoduje zaburzenia funkcjonowania organizmu.



Przeanalizuj tabelę i porównaj skład pierwiastkowy skorupy ziemskiej i organizmów żywych.

Pierwiastki wchodzące w skład organizmów żywych i skorupy ziemskiej

żywe organizmy		skorupa ziemska	
65%	tlen (O)	49,5%	tlen (O)
18%	węgiel (C)	25,5%	krzem (Si)
10%	wodór (H)	7,5%	glin (Al)
3%	azot (N)	5%	żelazo (Fe)
2%	wapń (Ca)	3,4%	wapń (Ca)
1%	fosfor (P)	2,6%	sód (Na)
0,9%	potas (K), siarka (S), chlor (Cl), sól (Na), magnez (Mg), żelazo (Fe)	0,8%	wodór (H)
każdy		0,6%	tytan (Ti), chlor (Cl), fosfor (P)

Porównanie składu płynów ustrojowych wybranych organizmów i wody morskiej

Przykład	Sód (Na)	Potas (K)	Wapń (Ca)	Magnez (Mg)	Chlor (Cl)
Woda oceaniczna	100	3,6	3,9	12,1	181
Morskie bezkręgowce	100	5,6	4,1	11,2	187
Ryby kostnoszkieletowe	100	9,5	3,9	1,4	150
Człowiek	100	6,7	3,1	0,7	129

Źródło: C.A. Wilkins, Biologia. Podstawowe Wykłady, Instytut Biologii, Warszawa 1972.



Wskaż podobieństwa i różnice w zawartości pierwiastków w organizmach żywych oraz wodzie oceanicznej.

Można zauważyć, że skład pierwiastkowy istot żywych nie jest dokładnym odbiciem składu skorupy ziemskiej – organizmy mają zdolność do akumulowania pierwiastków, które występują w przyrodzie w niewielkim stężeniu. Natomiast podobieństwo składu płynów ustrojowych i wody morskiej może świadczyć o prawdziwości teorii mówiącej o powstaniu organizmów w wodzie, a także być dowodem pokrewieństwa wszystkich organizmów. Pierwiastki niezbędne do prawidłowego rozwoju, które występują w organizmach w ilości powyżej 0,01% suchej masy, to **makroelementy**.

Spśród nich węgiel, tlen, wodór, azot, fosfor i siarka określane są jako **pierwiastki biogenne** (czyli niezbędne do życia) lub **organogenne** (gdyż są podstawowymi pierwiastkami budującymi związki organiczne). Pozostałe makroelementy to: wapń, magnez, sód, potas i chlor. Pierwiastki występujące w organizmach w ilości mniejszej niż 0,01% to **mikroelementy** (należą do nich: żelazo, miedź, mangan, kobalt, cynk, chrom, molibden, jod, fluor, bor, selen). Często wyróżnia się też pierwiastki śladowe, zwane **ultraelementami**, które stanowią milionowe części suchej masy (np. złoto, srebro, platyna).



Przeanalizuj informacje zawarte w tabeli i zastanów się, dlaczego wymienione w niej pierwiastki określa się jako biogenne.

Znaczenie makroelementów – pierwiastków biogennych

Węgiel (C)	- wchodzi w skład dwutlenku węgla – produktu oddychania organizmów żywych oraz substratu fotosyntezy przeprowadzanej przez organizmy autotroficzne - buduje szkielet łańcuchów i pierścieni związków organicznych
Tlen (O)	- uczestniczy w reakcjach utleniania i redukcji w komórkach - tlen cząsteczkowy jest substratem oddychania większości organizmów - buduje zarówno związki nieorganiczne, jak i organiczne - jest produktem fotosyntezy
Wodór (H)	- uczestniczy w reakcjach utleniania i redukcji - buduje związki nieorganiczne i organiczne
Azot (N)	- wchodzi w skład białek, kwasów nukleinowych, nośników energii, koenzymów, witamin, hormonów roślinnych - jest głównym składnikiem produktów metabolizmu zwierząt - dla roślin ważnym źródłem tego pierwiastka są sole mineralne
Siarka (S)	- jest składnikiem niektórych aminokwasów (metioniny, cysteiny) i białek, wchodzących w skład wytworów naskórka – paznokci, rogów, włosów, kopyt - ważnym związkiem chemicznym zawierającym siarkę jest H_2S, stanowiący źródło wodoru dla niektórych autotroficznych bakterii
Fosfor (P)	- wchodzi w skład kwasów nukleinowych - jest składnikiem kości i zębów u kręgowców - uczestniczy w przewodzeniu bodźców nerwowych - buduje błony komórkowe, tkanki miękkie (nerki, serce, mózg, mięśnie) - bierze udział w wielu procesach metabolicznych i reakcjach chemicznych

Znaczenie pozostałych makroelementów

Pierwiastek	Funkcje biologiczne	Objawy niedoboru u zwierząt i człowieka	Objawy niedoboru u roślin
Wapń (Ca)	• ważny dla prawidłowego funkcjonowania układu nerwowego i mięśni • bierze udział w krzepnięciu krwi • zmniejsza przepuszczalność błon komórkowych • tworzy szkielet kręgowców, muszle i pancerze bezkręgowców	• nadmierna pobudliwość nerwowo-mięśniowa • zaburzenia krzepnięcia krwi, rytmu serca oraz niedociśnienie tętnicze • łamliwość kości, choroby zębów i zaburzenia wzrostu	• martwica organów roślinnych • zaburzenie wzrostu
Magnez (Mg)	• utrzymuje ciśnienie osmotyczne krwi • uczestniczy w przekazywaniu sygnałów w układzie nerwowym • odgrywa rolę w skurczu mięśnia i budowie kości • wchodzi w skład chlorofilu i struktury rybosomów	• nieprawidłowa praca serca • zawroty głowy, mrowienie w kończynach • wypadanie włosów, łamliwość paznokci, próchnica zębów • rozdrażnienie, trudności w koncentracji	• chloroza liści • więdnienie • zahamowanie fotosyntezy
Sód (Na)	• utrzymuje potencjał czynnościowy błon komórkowych • reguluje gospodarkę wodną organizmu • bierze udział w metabolizmie białek i węglowodanów • reguluje ciśnienie w naczyniach krwionośnych	• uszkodzenie nerek i serca • niskie ciśnienie • niewydolność krążenia • brak pobudliwości komórek nerwowych	• utrata pobudliwości komórek • zanik różnicy potencjałów
Potas (K)	• utrzymuje potencjał czynnościowy błon komórkowych • uczestniczy w regulacji równowagi wodnej organizmu, podtrzymuje pracę serca i koordynację skurczów mięśniowych	• upośledzenie przewodnictwa nerwowego • zaburzenie rytmu serca • osłabienie mięśni • zaburzenie równowagi wodnej organizmu	• martwica organów • zahamowanie wzrostu korzenia i pędu • więdnienie, chloroza liści
Chlor (Cl)	• odpowiada za równowagę osmotyczną komórki • u zwierząt tworzy kwas solny w żołądku, jest aktywatorem amylazy ślinowej • warunkuje prawidłowe rozmieszczenie płynów w organizmie i odpowiada za ich prawidłowe pH	• zaburzenia pracy układu pokarmowego • osłabienie fizyczne • zaburzenie gospodarki wodnej organizmu	• zaburzenia gospodarki wodno-mineralnej

Znaczenie wybranych mikroelementów i objawy ich niedoboru u organizmów żywych

Pierwiastek	Funkcje biologiczne	Objawy niedoboru u zwierząt i człowieka	Objawy niedoboru u roślin
Żelazo (Fe)	• składnik białek (hemoglobiny, mioglobiny) oraz enzymów (cytochromów, katalazy, peroksydazy) • bierze udział w syntezie chlorofilu	• anemia, bóle głowy • zmiany w śluzówce • zakłócenie oddychania i rytmu serca	• chloroza liści • zaburzenie przebiegu fotosyntezy i oddychania
Miedź (Cu)	• składnik enzymów fazy świetlnej fotosyntezy i łańcucha oddechowego • wpływa na metabolizm żelaza w organizmie	• zaburzenie oddychania i wchłaniania żelaza • zmniejszenie liczby czerwonych krwinek	• zasychanie wierzchołków liści
Mangan (Mn)	• aktywator enzymów fazy świetlnej fotosyntezy • wpływa na wzrost kości	• zakłócenie oddychania • opóźnienie w rozwoju fizycznym	• chloroza • usychanie liści
Kobalt (Co)	• składnik witaminy B₁₂ • niezbędny dla prawidłowego funkcjonowania roślin motylkowych	• zaburzenie krzepnięcia krwi, niedokrwistość • zaburzenie funkcjonowania układu nerwowego	• brak możliwości wiązania azotu przez rośliny motylkowe
Cynk (Zn)	• składnik enzymów biorących udział w przemianach białek i cukrów • składnik insuliny • uczestniczy w syntezie związków, regulujących wzrost roślin	• wolne gojenie się ran • łamliwość włosów, paznokci • choroby skóry • osłabienie odporności • spowolnienie tempa wzrostu	• chloroza • karlenie organów (przede wszystkim liści)
Jod (I)	• składnik hormonów tarczycy • odpowiada za prawidłowe działanie tarczycy	• wole tarczycy • zmęczenie • kretynizm • zaburzenie pracy różnych organów	• brak objawów niedoboru

Rodzaje wiązań i oddziaływań chemicznych w związkach budujących organizmy żywe

Typ wiązań chemicznych występujących w związkach budujących żywe organizmy jest istotny ze względu na wpływ właściwości fizycznych i chemicznych tych związków na pełnione przez nie funkcje biologiczne. Dotyczy to zarówno wiązań występujących pomiędzy atomami (czyli jonowych i kowalencyjnych), jak i oddziaływań międzycząsteczkowych (takich jak wiązania wodorowe, siły van der Waalsa i oddziaływania hydrofobowe).

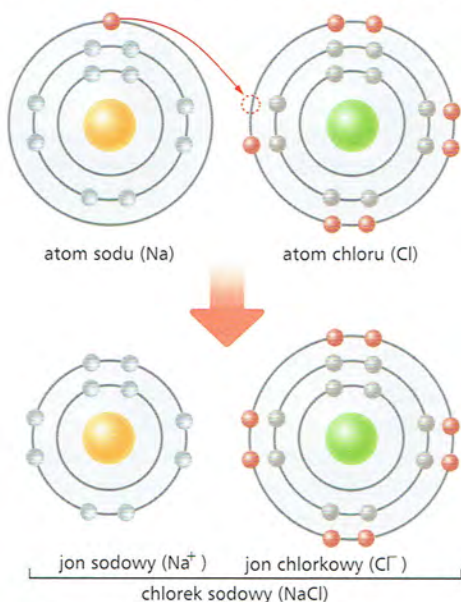
Wiązanie jonowe powstaje podczas oddania bądź przyjęcia elektronów. **1.1.2.1** Tworzą je różnoimienne jony (kationy i aniony), które się przyciągają, w wyniku czego powstaje krystaliczna sieć. Wiązanie jonowe należy do oddziaływań silnych, dlatego związki o budowie jonowej mają wysokie temperatury topnienia i wrzenia. W środowisku wodnym związki te ulegają procesowi dysocjacji, czyli rozpadowi na jony. Wiązania jonowe występują na przykład w solach nieorganicznych (chlorkach, siarczanach, azotanach).

Wiązanie kowalencyjne powstaje przez uwspólnienie jednej lub kilku par elektronowych. **1.1.3.1** Oznacza to, że jądra dwóch atomów (a konkretnie zawarte w nich protony) przyciąga-

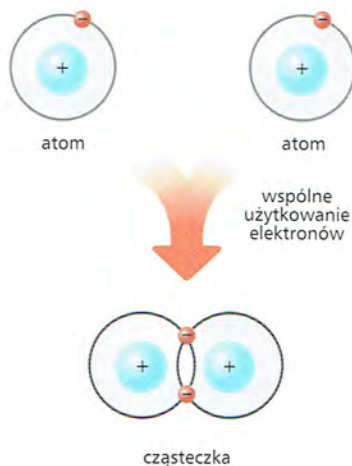
:: Ciekawostka

Typem wiązania kowalencyjnego jest **wiązanie koordynacyjne**. Od pozostałych wiązań kowalencyjnych różni się tym, że para elektronowa pochodzi od jednego atomu (zwanego donorem). Pierwiastek przyjmujący parę elektronową nazywany jest akceptorem. Wiązanie to występuje na przykład w jonie amonowym (NH_4^+), a także w cząsteczkach: SO_2 , SO_3 , H_2SO_3 , H_2SO_4 , H_3PO_4 .

ją wspólne elektrony. Wiązanie utworzone przez jedną wspólną parę elektronów to pojedyncze wiązanie kowalencyjne, przez dwie wspólne pary elektronów – wiązanie podwójne, a przez trzy pary – potrójne. Jeżeli atomy w cząsteczce różnią się wyrażnie elektroujemnością, to wiązanie kowalencyjne ma charakter spolaryzowany, natomiast gdy atomy w cząsteczce mają podobną elektroujemność, wiązanie ma charakter obojętny. Wiązania kowalencyjne należą do oddziaływań silnych (występują np. między atomami tlenu i wodoru w cząsteczkach wody). Reakcje z udziałem związków o budowie kowalencyjnej zachodzą wolno.



1.2. Powstawanie wiązania jonowego na przykładzie chlorku sodu



1.3. Tworzenie wiązania kowalencyjnego na przykładzie cząsteczki wodoru

Wiązania wodorowe istnieją pomiędzy cząsteczkami o charakterze dipoli. **11.4.1** Jedną z nich musi zawierać dodatnio naładowany atom wodoru, a druga – atom silnie elektroujemny (w organizmach żywych często jest to atom tlenu lub azotu). Wiązania wodorowe należą do oddziaływań słabych. Mogą występować pomiędzy cząsteczkami tego samego związku (np. wody) lub różnych substancji (np. woda i alkohol). Liczne wiązania wodorowe stabilizują strukturę cząsteczek. Wiązania te występują pomiędzy zasadami azotowymi w kwasach nukleinowych, w białkach i między cząsteczkami wody.

Siły van der Waalsa to bardzo słabe oddziaływania między grupami o różnym ładunku, należącymi do tej samej cząsteczki lub do różnych cząsteczek. Słabną wraz ze zwiększającą się odległością między cząsteczkami lub gdy cząsteczek jest niewiele. Siły te stabilizują strukturę na przykład białek czy kwasów nukleinowych.

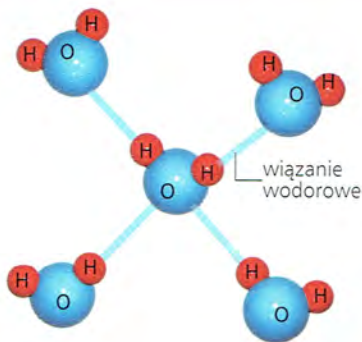
Woda

Składająca się z jednego atomu tlenu i dwóch atomów wodoru cząsteczka wody jest **dipolem 11.5.1**, ponieważ posiada wyraźne bieguny: dodatni i ujemny. Tlen jest bardziej elektroujemny i silniej przyciąga wspólne pary elektronowe. Przy atomach wodoru gromadzi się więc ładunek dodatni, a przy tlenie – ujemny.

Woda jest zasadniczym składnikiem komórek. Właściwe nawodnienie to jeden z podstawowych warunków zachowania ich struktur i właściwości biochemicznych, a więc też prawidłowego funkcjonowania organizmu.

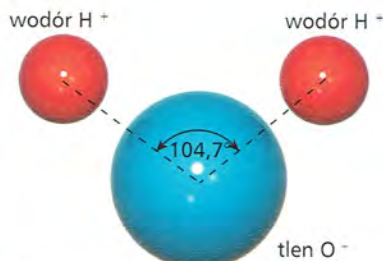
Woda charakteryzuje się dużym ciepłem właściwym – podczas ogrzewania przyjmuje, a podczas oziębiania oddaje znaczne ilości energii cieplnej. Ułatwia to odprowadzanie nadmiaru ciepła z organizmu (np. pocenie się u ssaków czy transpiracja u roślin) i chroni przed gwałtownymi zmianami temperatury ciała. Woda odgrywa więc istotną rolę w termoregulacji i utrzymaniu homeostazy (równowagi) organizmu.

Środowisko wodne jest bardziej stabilne termicznie, ponieważ wahania temperatur dobowych (noc/dzień) i rocznych w wodzie są mniejsze niż na lądzie. Dodatkowo woda zwiększa swoją objętość podczas zamarzania. Gęstość lodu jest



1.4. Wiązanie wodorowe pomiędzy cząsteczkami wody

Oddziaływania hydrofobowe tworzą się między niepolarnymi grupami cząsteczek (np. grupy CH_2 , CH_3 , pierścień aromatyczny). Grupy te ustawiają się blisko siebie, aby uniknąć oddziaływań na nie cząsteczek wody. Przykładem mogą być oddziaływania między fosfolipidami budującymi błonę komórkową.



1.5. Model budowy cząsteczki wody

więc mniejsza od gęstości wody, co sprawia, że unosi się on na jej powierzchni. W zbiornikach wodnych warstwa lodu izoluje znajdującą się pod nim ciekłą wodę i chroni ją przed zamarzaniem. Pozwala to przeżyć organizmom wodnym (np. rybom, bezkręgowcom). Opisane zjawisko jest związane z tworzeniem wiązań wodorowych między cząsteczkami wody i z asocjacją tych cząsteczek.

Woda jest dobrym rozpuszczalnikiem (umożliwia to roślinom pobieranie związków jonowych w postaci rozpuszczonej). Pełni funkcję transportującą – zarówno w obrębie poszczególnych komórek, jak i w całym organizmie (m.in. jest podstawowym składnikiem soku komórkowego roślin, krwi, limfy). Transportuje substancje odżywcze, hormony, witaminy, produkty metabolizmu, umożliwia też usuwanie szkodliwych produktów przemiany materii.

Woda odgrywa też ważną rolę w wielu reakcjach biochemicznych – jest substratem (np. fotoliza wody podczas fotosyntezy), produktem

(np. reakcje utleniania końcowego – trzeciego etapu oddychania tlenowego) lub (częściej) stanowi środowisko reakcji.

:: Ciekawostka

Sole mineralne to związki nieorganiczne będące pochodnymi kwasów i zasad. Mogą się składać z makro- i mikroelementów (np. NaCl, CaCO_3). W organizmie występują w postaci rozpuszczonej i zdysocjowanej (sok komórkowy, płyny ustrojowe) lub nierozpuszczonej.

Sole mineralne spełniają funkcję:

- budulcową i podporową ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ i CaCO_3 buduje szkielet kręgowców, krzemionka SiO_2 wchodzi w skład ścian komórkowych niektórych protistów, skrzypów, traw i turzycy),
- biochemiczną – jony pochodzące z dysocjacji soli są składnikami enzymów lub ich aktywatorami, biorą bezpośredni udział w reakcjach biochemicznych,
- osmoregulacyjną i buforującą – warunkują utrzymanie ciśnienia osmotycznego i odpowiedniego pH (stężenia jonów wodorowych) w komórkach i płynach zewnątrzkomórkowych.

PODSUMOWANIE

- Związki chemiczne występujące w żywych organizmach dzielą się na nieorganiczne (woda, sole mineralne) i organiczne (m.in. białka, węglowodany, lipidy, kwasy nukleinowe).
- Pierwiastki chemiczne budujące organizmy to makro-, mikro- i ultraelementy.
- Między atomami mogą istnieć wiązania jonowe i kowalencyjne.
- Pomiedzy cząsteczkami mogą tworzyć się wiązania wodorowe, siły van der Waalsa i oddziaływania hydrofobowe.
- Cząsteczka wody jest dipolem mającym biegun dodatni i ujemny.
- Właściwości fizykochemiczne wody mają duże znaczenie dla organizmów.



ZADANIA

1. Wyobraź sobie, że hodujesz w domu rośliny ozdobne. Jakie objawy u roślin powinny cię zaniepokoić? Dla których objawów trudno będzie ci jednoznacznie określić ich przyczynę (niedobór konkretnego pierwiastka itp.)? Pamiętaj, że także zastosowanie niewłaściwej odżywki może przynieść niepożądane skutki. Poszukaj w dostępnych źródłach informacji dotyczących tego, w jaki sposób nadmiar jakiegoś pierwiastka (za dużo nawozu) wpływa na wygląd i funkcjonowanie rośliny.
2. Zaprojektuj doświadczenie wykazujące negatywny wpływ niedoboru wybranych pierwiastków na rozwój rośliny. W projekcie doświadczenia uwzględnij:
 - a) hipotezę (założenie, które spróbujesz udowodnić);
 - b) opis przebiegu eksperymentu zilustrowany odpowiednim rysunkiem (próbą kontrolną będzie roślina hodowana w normalnych warunkach, a próbami doświadczalnymi – rośliny hodowane w warunkach o zmienionych parametrach);
 - c) wnioski z przeprowadzonych badań potwierdzające lub obalające hipotezę.
 Zastanów się nad sposobem zapisu wyników (czas, obserwowane zmiany w rozwoju rośliny).
3. Narysuj schemat obrazujący tworzenie się wiązań kowalencyjnych pomiędzy atomami w cząsteczce N_2 i O_2 . Zwróć uwagę na krotność tych wiązań.
4. Poszukaj wiadomości dotyczących właściwości chemicznych i fizycznych związków o budowie jonowej i kowalencyjnej (wykorzystaj też wiadomości zawarte w rozdziale). Przedstaw je w formie tabeli.



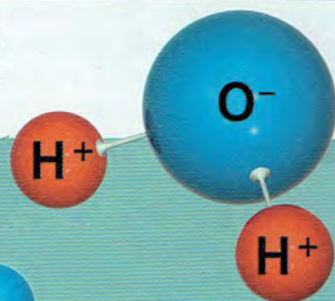
BIBLIOGRAFIA

Babiarska M., Krzeczowska M., Kurek A., *Woda – fascynujący związek chemiczny*, „Biologia w Szkole”, 2007, nr 5, s. 5–16.

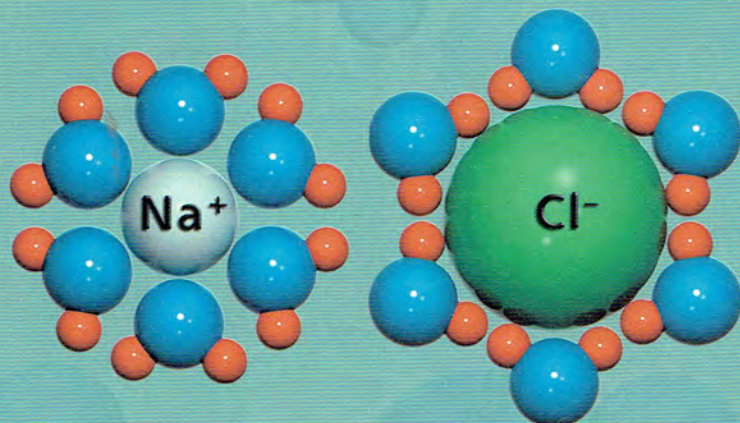


WŁAŚCIWOŚCI FIZYKOCHEMICZNE WODY

Cząsteczka wody jest polarna, zachowuje się jak dipol elektryczny – układ rozsuniętych ładunków o przeciwnym znaku. Taka budowa warunkuje jej charakterystyczne właściwości fizykochemiczne.



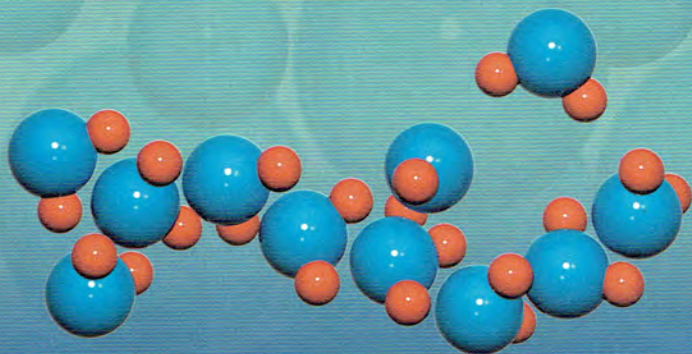
HYDRATACJA



Hydratacja

Proces polegający na tworzeniu wokół jonów płaszczu wodnego. Jest to wynik elektrostatycznego **przyciągania dipoli wody i jonów**. Ułatwia to rozpuszczanie substancji jonowych.

ASOCJACJA



Asocjacja

Cząsteczki wody są dipolami. Ich różnoimienne bieguny się przyciągają, co powoduje **łączenie cząsteczek w zespoły**. Podczas zamarzania tworzy się struktura kryształiczna, co zmniejsza gęstość wody. Często dochodzi do połączenia sześciu cząsteczek wody. Płatki śniegowe i kryształy lodu są sześciokątnymi strukturami.

Napięcie powierzchniowe

Zjawisko to polega na tym, że **woda** w zetknięciu z ciałami stałymi **zachowuje się jak sprężysta błona**, co jest związane z pojawianiem się dodatkowych sił na powierzchni cieczy. Siły te związane są z obecnością wiązań wodorowych między cząsteczkami wody. Napięcie powierzchniowe jest jedną z przyczyn utrzymywania się roślin lub owadów (np. nartnik) na powierzchni wody. Napięcie powierzchniowe nadaje kształt kropli wody. Również włoskowatość – wznoszenie się cieczy w kapilarach (np. w ksylemie) tłumaczone jest istnieniem dużego napięcia powierzchniowego.



Adhezja

Są to siły przylegania cząsteczek wody do innych cząsteczek, czyli łączenie dwóch różnych faz, np. ciekłej i stałej. Polega to na tworzeniu wiązań wodorowych między cząsteczkami wody a innymi cząsteczkami lub atomami mającymi ładunek. Przykładem może być przyciąganie wody przez naładowane elektrycznie elementy ściany komórkowej. Celuloza i substancje pektynowe tworzą z cząsteczkami wody wiązania wodorowe i formują wokół siebie otoczki wodne. Ponadto przyciąganie słupa wody przez ściany roślin (oraz siły kohezji) ma znaczenie w transporcie wody w roślinie – pozwala na utrzymanie słupa cieczy w naczyniach wbrew siłom grawitacji.

Kohezja

Siły spójności, czyli siły wzajemnego przyciągania cząsteczek wody. Wynikają z tworzenia się wiązań wodorowych między cząsteczkami wody. Nadają na przykład słupowi wody wytrzymałość na rozciąganie.



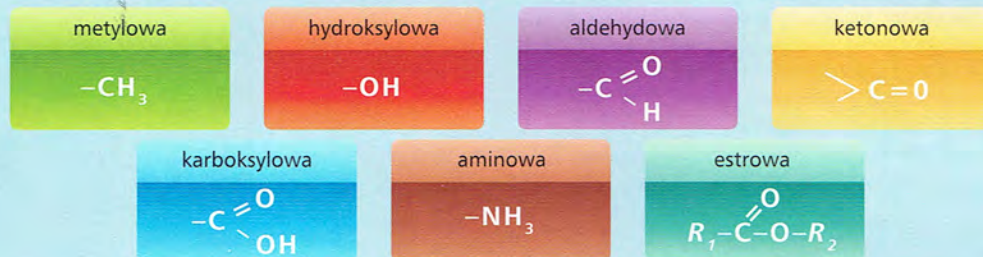
1. Znajdź w swoim otoczeniu przykłady omawianych właściwości wody.
2. Zastanów się, jaki wpływ na właściwości chemiczne i fizyczne wody mają rodzaje wiązań chemicznych występujących w obrębie cząsteczki oraz pomiędzy cząsteczkami.

2. Organiczne składniki komórki

Związki organiczne, czyli głównie **białka, cukry, tłuszcze, kwasy nukleinowe**, nazywa się niekiedy związkami węgla. W ich skład wchodzi także wodór i tlen, często występują też azot, fosfor i siarka. Mogą w nich również występować: Mg, Fe, Cu, Mn, Zn, Co, Si, Se.

O właściwościach związków organicznych decyduje między innymi grupa funkcyjna. **[2.1.]**

Najbardziej rozpowszechniona grupa **metylowa** występuje w wielu związkach organicznych. Grupa **hydroksylowa** jest charakterystyczna głównie dla cukrów (np. rybozy, fruktozy, glukozy) oraz dla aminokwasów polarnych (np. seryny, treoniny). Grupy **karbonylowe** – aldehydowa i ketonowa – występują w cukrach (w aldozach, jak np. galaktoza, glukoza i ketozach, jak np. fruktoza, rybuloza). Grupa **karboksylowa** jest typowa dla kwasów organicznych (np. kwasu pirogronowego, octowego, cytrynowego) i aminokwasów. Aminokwasy i ich pochodne zawierają też grupę **aminową**. Grupa **estrowa** natomiast występuje w tłuszczach (np. fosfolipidach).



2.1. Grupy funkcyjne występujące najczęściej w związkach chemicznych budujących organizmy żywe (R₁- grupa alkilowa, arylowa lub atom wodoru, R₂- grupa alkilowa, arylowa)

Węglowodany (cukry)

Cukry to związki zbudowane z węgla, wodoru i tlenu. Powstają w zielonych częściach roślin, w procesie fotosyntezy. Substratami fotosyntezy są dwutlenek węgla i woda, stąd pochodzi inna nazwa cukrów – węglowodany. Stosunek wodoru do tlenu jest z reguły taki sam jak w cząsteczce wody (wynosi 2:1). Pod względem chemicznym cukry zalicza się do związków wielofunkcyjnych, ponieważ zawierają one w cząsteczce grupy funkcyjne dwóch różnych typów: karbonylową oraz liczne grupy hydroksylowe.

Węglowodany dzielą się na **proste** (monosacharydy, czyli jednocukry) i **złożone**: disacharydy (dwucukry), oligosacharydy (oligocukry) i polisacharydy (wielocukry).

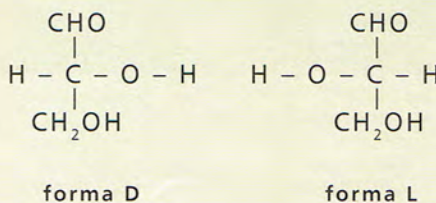
Disacharydy zbudowane są z dwóch cząsteczek odpowiednio połączonych cukrów prostych, oligosacharydy z 3–10 cząsteczek cukrów prostych. Polisacharydy natomiast stanowią długie łańcuchy wielu cząsteczek cukru prostego.

:: Ciekawostka

Analizując budowę aldehydu glicerynowego, można zauważyć, że występuje on w dwóch formach przestrzennych – D i L. Dla określenia formy cukru ważna jest przedostatnia grupa – OH w cząsteczce. Jeżeli grupa ta jest położona po prawej stronie cząsteczki, cukier określa się jako D, jeśli po lewej stronie – jako L. Takie dwie odmiany cukru nazywa się **enancjomerami**. Są one swoimi lustrzanymi odbiciami. Cukry występujące w przyrodzie to cukry z grupy D.

Enancjomery aldehydu glicerynowego

aldehyd glicerynowy



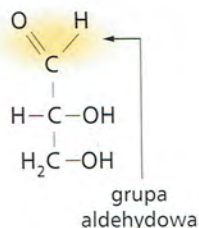
Monosacharydy

Cząsteczki cukrów prostych zbudowane są z 3–7 atomów węgla, jednak najbardziej popularne w przyrodzie zawierają 5–6 atomów węgla. Cukry proste łatwo się krystalizują i są rozpuszczalne w wodzie. Te bezwonne i bezbarwne substancje na ogół charakteryzują się słodkim smakiem. Zależnie od liczby atomów węgla w cząsteczce cukry proste dzieli się na: triozy **12.2.1**, tetrazy, pentozy i heksozy.

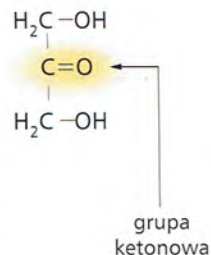
W przyrodzie najbardziej rozpowszechnione są cukry proste należące do **pentoz** (ryboza **12.3.1**, deoksyryboza) i **heksoz** (glukoza **12.3.1**, galaktoza, fruktoza). Łańcuchy niektórych cukrów prostych mogą tworzyć formy pierścieniowe: pentoza tworzy furanozę, a heksoza – piranozę. Powstają one w roztworach wodnych, formują tam wiązanie pomiędzy grupą karbonylową i hydroksylową.

Pentozy budują kwasy nukleinowe. Deoksyryboza jest składnikiem DNA (kwasu deoksyrybonukleinowego), a ryboza – RNA (kwasu rybonukleinowego). Ryboza buduje przenośniki protonów i elektronów w procesach bioche-

ALDEHYD
D-glicerynowy
($C_3H_6O_3$)



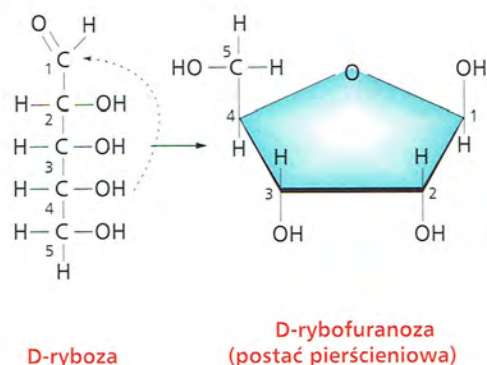
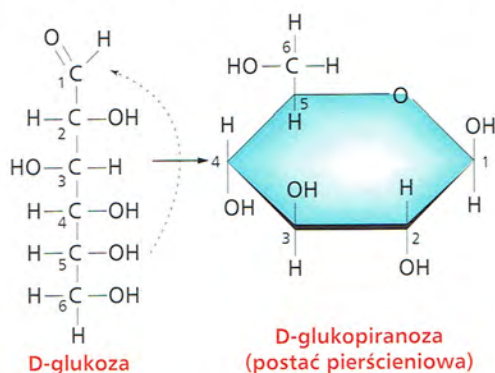
dihydroksyaceton
($C_3H_6O_3$)



2.2. Triozy, aldehyd D-glicerynowy i dihydroksyaceton, są produktami przejściowymi różnych szlaków metabolicznych.

micznych, a także wchodzi w skład związków biorących udział w przemianach energetycznych.

Galaktoza jest cukrem sześciowęglowym. Powstaje w gruczole sutkowym, gdzie łączy się z glukozą, w wyniku czego powstaje dwucukier – laktoza (podstawowy składnik mleka). Buduje osłonkę mielinową komórek nerwowych. Może też być przekształcana w glukozę i w tej postaci wykorzystana jako materiał energetyczny podczas oddychania.



2.3. Forma łańcuchowa i pierścieniowa glukozy i rybozy

Najbardziej znanymi cukrami prostymi są glukoza i fruktoza.

Glukoza

- bezbarwna, krystaliczna, słodka, dobrze rozpuszcza się w wodzie
- składnik dwucukrów (maltozy, laktozy, sacharozy) i wielocukrów (skrobi, celulozy)
- podstawowy związek energetyczny komórek, magazynowany w postaci skrobi i glikogenu
- substrat oddychania tlenowego i beztlenowego
- występuje w owocach (winogronach, jagodach) i w miodzie

Fruktoza

- bezbarwna, krystaliczna, słodsza od glukozy i sacharozy, dobrze rozpuszcza się w wodzie
- składnik dwucukru – sacharozy
- może być przekształcana w glukozę lub być substratem oddychania
- występuje w owocach i miodzie



Porównaj właściwości glukozy i fruktozy.

Disacharydy

Disacharydy **12.5.1** powstają poprzez połączenie dwóch cząsteczek cukrów prostych wiązaniem glikozydowym. **12.4.1**

Właściwości fizykochemiczne disacharydów są podobne do właściwości cukrów prostych. Są krystaliczne, słodkie, dobrze rozpuszczalne w wodzie. W środowisku kwaśnym lub w obecności enzymów ulegają hydrolizie, czyli rozkładowi do cukrów prostych.

Laktoza (zwana cukrem mlecznym) jest głównym składnikiem mleka ssaków (mleko krowie zawiera 4,5% laktozy, mleko ludzkie – 5,5–7,5%). Po spożyciu jest rozkładana przez

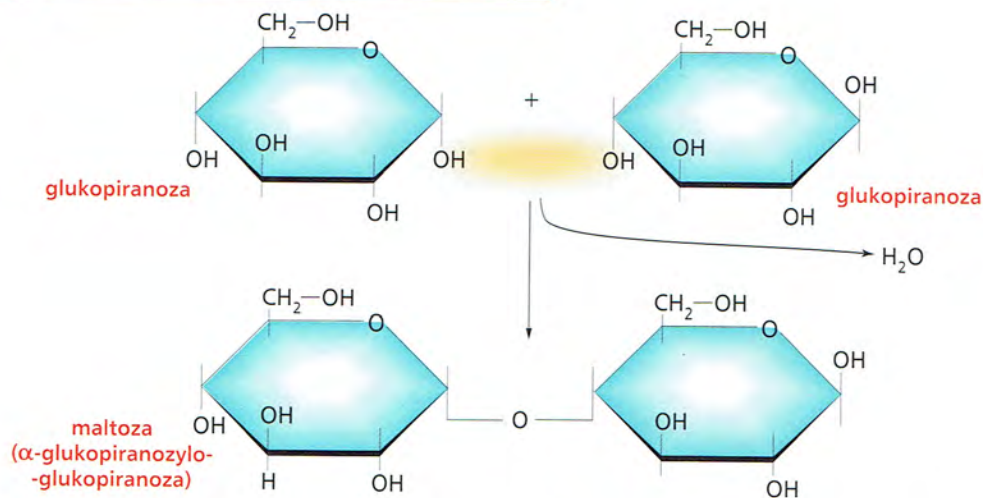
enzym laktazę do cukrów prostych. Niektóre bakterie wykorzystują laktozę jako substrat oddychania beztlenowego, w wyniku fermentacji przekształcają ją w kwas mlekowy.

Maltoza (cukier słodowy) występuje między innymi w ziarnach zbóż, w nektarze i pyłku niektórych gatunków roślin. Jest związkiem wabiącym owady. Stosowana jest jako środek słodzący (słodzik), znajduje się też w produktach przemysłu fermentacyjnego (np. w piwie).

Sacharoza (cukier spożywczy) występuje w trzcinie cukrowej i w burakach cukrowych. Po obróbce jest stosowana jako środek słodzący.



Określ, które grupy funkcyjne cukrów uczestniczą w tworzeniu wiązania glikozydowego.



2.4. Schemat powstawania wiązania glikozydowego na przykładzie dwóch cząsteczek glukozy



2.5. Przykłady disacharydów z zaznaczeniem cukrów prostych wchodzących w skład ich cząsteczek

Polisacharydy

Wielocukry są **polimerami** – powstają przez połączenie wielu cząsteczek cukrów prostych (monomerów) za pomocą wiązań glikozydowych. Polisacharydy zbudowane z takich samych cząsteczek monosacharydu tworzą homopolimery (przykładem mogą być skrobia, glikogen, celuloza, których monomerami są cząsteczki glukozy). Polisacharydy zbudowane z różnych cząsteczek monosacharydu tworzą heteropolimery (np. heparyna).

Wielocukry są nierozpuszczalne w wodzie, nie krystalizują się, są bezpostaciowe i pozbawione słodkiego smaku.

Skrobia jest mieszaniną dwóch form polisacharydów: nierozgałęzionej (amylozy) i rozgałęzionej (amylopektyny). Pełni funkcję materiału zapasowego roślin – jest gromadzona w ich organach (np. w łodydze, korzeniu, owocach, nasionach).

Celuloza jest zbudowana z nierozgałęzionych, wydłużonych łańcuchów łączących się wiązaniami wodorowymi. Taka budowa ma wpływ na dużą wytrzymałość włókien celulozowych. Cukier ten jest podstawowym składnikiem ścian komórkowych roślin. Występuje też w ścianach komórkowych niektórych protistów roślinopodobnych.

Glikogen zbudowany jest z rozgałęzionych łańcuchów. To główny materiał zapasowy magazynowany w wątrobie i mięśniach zwierząt oraz w komórkach grzybów.

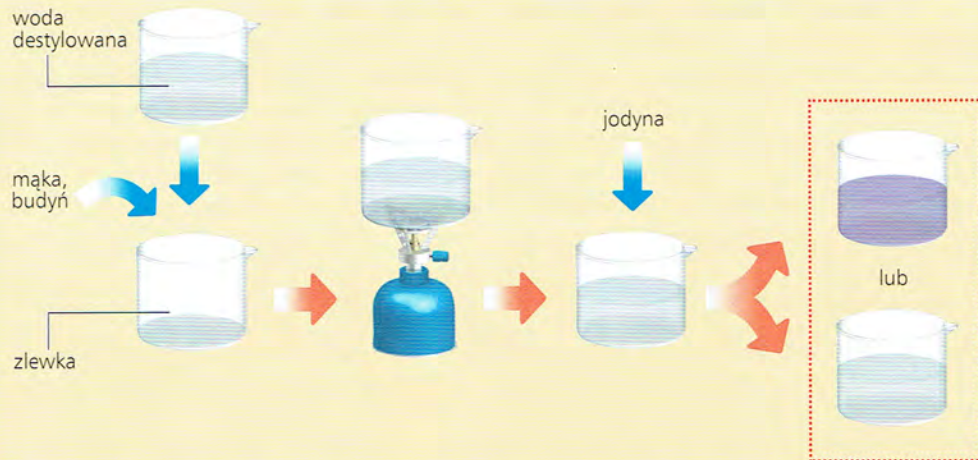
Chityna zbudowana jest z monomerów, którymi są cząsteczki pochodnej glukozy – glukozaminy. Tworzy długie włókna o dużej wytrzymałości mechanicznej. Buduje ściany komórkowe grzybów i niektórych protistów grzybowopodobnych, wchodzi w skład pancerzyków zewnętrznych bezkręgowców, wyściela tchawki owadów.

:: Doświadczenie

1. Przeprowadź doświadczenie, którego celem będzie wykrycie obecności skrobi.

Do zlewki wsyp trochę mąki lub budyniu śmietankowego i dodaj wodę destylowaną. Mieszanie zagotuj. Do ostudzonego preparatu dodaj 2–3 krople jodny.

Granatowe zabarwienie, które możesz zaobserwować, świadczy o obecności skrobi.



2. Sporządź preparat z cienkich skrawków bulwy ziemniaka i dodaj do niego kroplę płynu Lugola. Preparat obejrzyj pod mikroskopem. Na podstawie obserwacji sformułuj i zapisz płynący z niej wniosek.

Podaj nazwę związku chemicznego, który można w ten sposób wykryć w komórce.

Lipidy (tłuszcze)

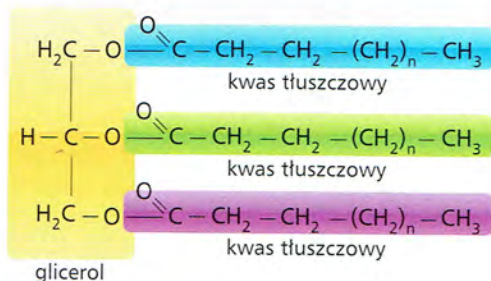
Lipidy występują we wszystkich żywych organizmach. Są to estry wyższych kwasów tłuszczowych i alkoholi jedno- lub wielowodorotlenowych. W skład cząsteczki lipidów najczęściej wchodzi gliceryna. Łańcuchy reszt kwasów tłuszczowych są z reguły nierozgałęzione. **12.6.1** W tłuszczach często występuje kwas palmitynowy lub stearynowy.

Właściwości fizykochemiczne lipidów

Tłuszcze są związkami nierozpuszczalnymi w wodzie lub rozpuszczalnymi bardzo słabo. Rozpuszczają się natomiast w rozpuszczalnikach organicznych, takich jak: eter, alkohole, chloroform, benzen, aceton, toluen.

Na stan skupienia tłuszczowców w temperaturze pokojowej mają wpływ reszty kwasów tłuszczowych. Tłuszcze roślinne trudniej przechodzą w stan stały, ponieważ zawierają przede wszystkim nienasycone kwasy tłuszczowe, których łańcuchy ułożone są luźniej i nie tworzą zwartej struktury. Z uwagi na niską temperaturę topnienia tłuszcze roślinne w temperaturze pokojowej są cieczami (wyjątkiem jest np. masło kakaowe). Tłuszcze zwierzęce zawierają przede wszystkim nasycone kwasy tłuszczowe. Takie łańcuchy tworzą strukturę bardziej regularną i uporządkowaną – łatwiej przechodzą w stan stały. Dlatego w temperaturze pokojowej tłuszcze zwierzęce są ciałami stałymi (wyjątkiem jest tran).

Niektóre tłuszcze właściwe ulegają **hydrolizie** (rozkładowi) na skutek ogrzewania ich z kwasami



2.6. Budowa trójglicerydu

mi lub zasadami. U zwierząt hydroliza zachodzi w jelicie cienkim pod wpływem działania soku jelitowego. Proces hydrolizy polega na stopniowym odłączaniu od cząsteczki kwasów tłuszczowych, co w efekcie prowadzi do powstania glicerolu.

Podział i funkcje lipidów

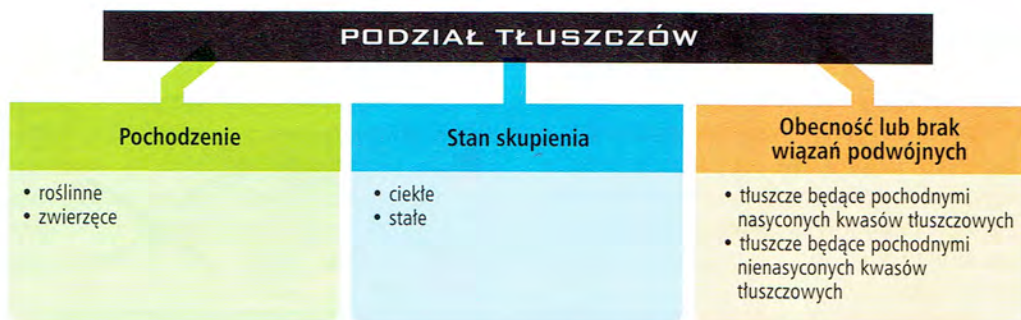
Z uwagi na budowę chemiczną lipidy można podzielić na proste, steroidy i złożone.

Lipidy proste, zbudowane wyłącznie z węgla, wodoru i tlenu, to estry wyższych kwasów tłuszczowych i alkoholu. Wyróżniamy tłuszcze właściwe i woski. **Tłuszcze właściwe** są połączeniem glicerolu najczęściej z trzema resztami kwasów tłuszczowych. Stanowią materiał energetyczny komórki, materiał zapasowy w postaci tkanki tłuszczowej, pełnią funkcję termoizolacyjną. **Woski** to estry kwasów tłuszczowych i alkoholi innych niż glicerol. Spełniają funkcję ochronną, u zwierząt pokrywają pióra, występują w skórze: nadają jej hydrofobowość i chronią przed wnikaniem drobnoustrojów. U roślin pokrywają owoce, powierzchnie liści i pędów, chroniąc przed nadmierną utratą wody.

:: Doświadczenie

1. Przeprowadź reakcję zmydlania. Do wykonania doświadczenia potrzebne będą: masło lub smalec, etanol, trzydziestoprocentowy roztwór NaOH, parownicza. Umieść w parownicze kawałek tłuszczu. Dodaj do niego etanol (ok. 1 ml) i całość wymieszaj. Następnie wlej trzydziestoprocentowy roztwór NaOH (ok. 1 ml). Ogrzewaj zawartość parowniczkę, co jakiś czas mieszając. Na powierzchni mieszaniny tworzy się piana, co oznacza, że powstają mydło i gliceryna.

2. Rozgnieć w moździerzu garść nasion słonecznika i zalej je niewielką ilością (ok. 10 ml) benzyny ekstrakcyjnej. Wymieszaj całość i odczekaj kilka minut. Ponownie wymieszaj, po czym zlej roztwór z nad osadu do czystego naczynia. Kilka kropel roztworu przenieś na kartkę papieru lub bibułę. Kartkę wysusz. Zaobserwuj ślad, jaki pozostał na kartce po wysuszeniu. Wyciągnij wniosek i zapisz go w zeszytach. Podaj nazwę związku chemicznego, który można w ten sposób wykryć w komórce.



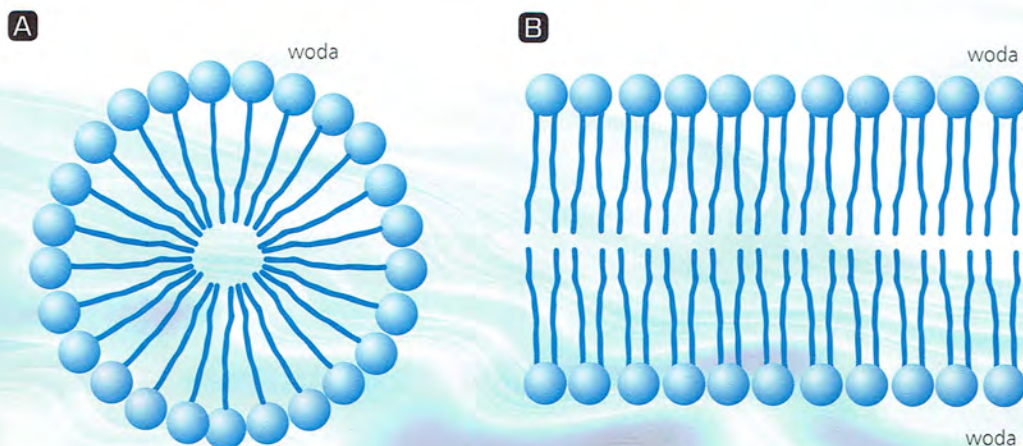
Steroidy (sterydy) mają cztery połączone ze sobą pierścienie oraz łańcuch węglowodorowy. Do sterydów zaliczamy cholesterol, kwasy żółciowe i niektóre hormony (płciowe, kory nadnercza). **Cholesterol** występuje w błonach komórkowych i osoczu krwi. Kwasy żółciowe są naturalnymi detergentami, ułatwiającymi trawienie tłuszczów. Hormony sterują metabolizmem organizmu.

Tłuszcze złożone są połączeniami alkoholu z kwasami tłuszczowymi i innymi związkami chemicznymi. **Fosfolipidy** są związkami zawierającymi glicerol, kwasy tłuszczowe, resztę kwasu ortofosforowego (V) połączonego na przykład z zasadą azotową (choliną). Stanowią główny składnik błon biologicznych. **Glikolipidy** są związkami zawierającymi glicerol, kwasy tłuszczowe, resztę cukrową (galaktozę, fruktozę). Stanowią składnik błon biologicznych. Wchodzą w skład glikokaliksu, chronią komórkę przed urazami mechanicznymi i czynnikami chemicznymi.

Budowa lipidów błonowych

Podstawowym składnikiem błony komórkowej są fosfolipidy będące estrami glicerolu i mają dwa łańcuchy węglowodorowe.

Cząsteczkę fosfolipidu można podzielić na część polarną (**hydrofilową**, tzn. „lubiącą” wodę) i na część niepolarną (**hydrofobową**, tzn. „niełubiącą” wody), którą tworzą łańcuchy węglowodorowe. Cząsteczka o takiej budowie nosi nazwę **amfipatycznej** (hydrofilowo-hydrofobowej). Podobną budowę mają też inne lipidy – glikolipidy, cholesterol. Cząsteczki amfipatyczne w roztworach wodnych ustawiają się w charakterystyczny sposób, tworząc tak zwane micelle. Ich hydrofilowe „głowy” znajdują się wówczas blisko środowiska wodnego, a hydrofobowe „ogony” jak najdalej od niego. **12.7.1** Spontaniczna agregacja fosfolipidów stabilizowana jest siłami van der Waalsa i wiązaniami wodorowymi.



2.7. Ułożenie lipidów w środowisku wodnym: A) kulista micela, B) dwuwarstwa lipidowa

Białka

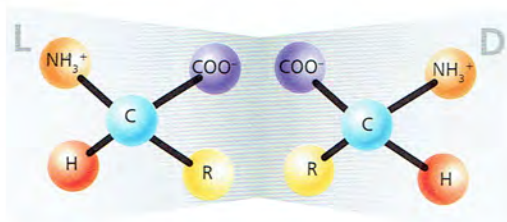
Białka, występujące również u wirusów, spełniają w organizmach żywych wiele ważnych zadań – zarówno strukturalnych, jak i funkcjonalnych. Jedną z przyczyn uniwersalności białek jest ich budowa – to **polimery zbudowane z aminokwasów**. **[2.8.1]**

Aminokwasy składają się z:

- centralnie położonego atomu węgla,
- grupy aminowej ($-\text{NH}_2$),
- grupy karboksylowej ($-\text{COOH}$),
- grupy R (łańcucha bocznego).

Aminokwasy (z wyjątkiem glicyny, która ma najprostszą budowę) mogą występować w dwóch formach przestrzennych. Są to tak zwane enancjomery L i D. W organizmach żywych występują aminokwasy typu L. **[2.9.1]**

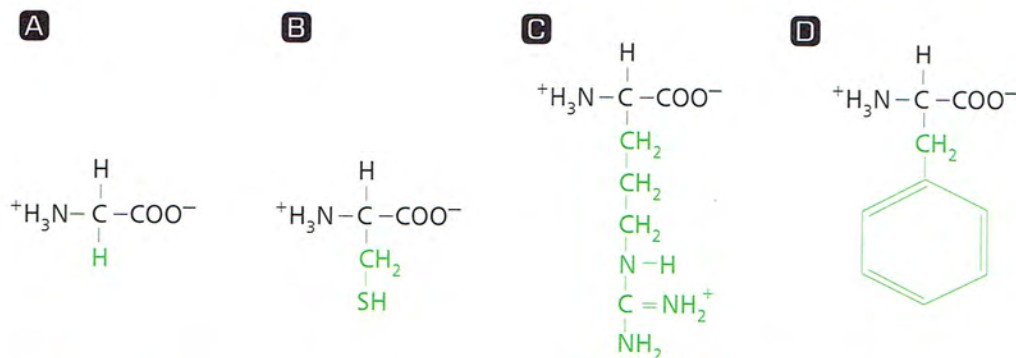
Białka występujące w organizmach żywych budowane są przez 20 aminokwasów nazywanych **aminokwasami biogennymi** lub białkowymi.



2.8. Budowa aminokwasów – forma przestrzenna L i D

:: Ciekawostka

Wyróżnia się też **aminokwasy niebiałkowe** – rzadko lub w ogóle niewchodzące w skład białek, jednak odgrywające rolę w procesach biochemicznych zachodzących w organizmie (np. ornityna i cytrulina uczestniczące w cyklu mocznikowym).



2.9. Wzory strukturalne wybranych aminokwasów: A) glicyny, B) cysteiny, C) arginy, D) fenylalaniny



Odrębnym kryterium klasyfikacji aminokwasów jest ich pochodzenie. Zgodnie z nim aminokwasy dzieli się na **endogenne** (które organizm sam produkuje) i **egzogenne** (które muszą być pobierane z pożywieniem). Istnieje też grupa aminokwasów **względnie egzogennych**, wytwarzanych w organizmie z innych aminokwasów. U różnych organizmów różne aminokwasy

zalicza się do każdej z tych grup (jednak zestaw aminokwasów endogennych np. u kręgowców jest zbliżony). Tylko rośliny wytwarzają wszystkie dwadzieścia aminokwasów.

Na podstawie budowy chemicznej białka dzieli się na **proste** (zbudowane tylko z aminokwasów) i **złożone** (w skład których wchodzi grupy niebiałkowe).

PODZIAŁ AMINOKWASÓW Z UWAGI NA POCHODZENIE

Aminokwasy endogenne	Aminokwasy egzogenne	Aminokwasy względnie egzogenne
- alanina - asparagina - glicyna - glutamina - asparaginian - glutaminian - prolina - seryna	- fenylalanina - izoleucyna - leucyna - lizyna - metionina - treonina - tryptofan - walina	- arginina - histydyna - tyrozyna - cysteina

Z uwagi na kształt cząsteczki białka dzieli się na fibrylarne (włóknkowe) i globularne

Rozpuszczalność w wodzie	Białka fibrylarne (włóknkowe)	Białka globularne
Przykłady	keratyna, kolagen, miozyna	albuminy, globuliny, histony
Kształt cząsteczki	asymetryczny, wydłużony	eliptyczny
Rozpuszczalność w wodzie	z reguły nierozpuszczalne	z reguły rozpuszczalne

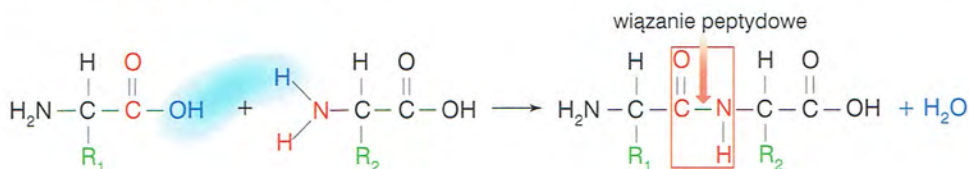
Poziomy organizacji białek

Aminokwasy połączone są w białku **wiązaniem peptydowym**. **2.10.1** Wiązanie to powstaje na skutek oddziaływania grupy karboksylowej jednego aminokwasu i grupy aminowej drugiego aminokwasu, w wyniku czego tworzy się też cząsteczka wody.

Za białka uważa się związki zbudowane z ponad 100 aminokwasów, mające określoną strukturę przestrzenną. Cząsteczki mniejsze dzieli się

na oligopeptydy (do 10 aminokwasów) i polipeptydy (do 100 aminokwasów).

W łańcuchu polipeptydowym na jednym końcu znajduje się wolna grupa aminowa (N-koniec), a na drugim – wolna grupa karboksylowa (C-koniec). Jako początek łańcucha umownie przyjmuje się jego koniec aminowy, dlatego sekwencja aminokwasów w peptydach jest zapisywana, poczynając od aminokwasu z wolną grupą aminową.



2.10. Tworzenie wiązania peptydowego pomiędzy dwoma aminokwasami

Aby białko spełniało swoją funkcję biologiczną, musi mieć właściwą strukturę (konformację). Opisując budowę białka, określa się jego rzędowość.

Struktura pierwszorzędowa to kolejność (sekwencja) aminokwasów w cząsteczce białka. Jest ona zapisana w materiale genetycznym, czyli w DNA. Warunkuje ona właściwą konformację białka, a co za tym idzie – jego odpowiednią aktywność biologiczną.

Struktura drugorzędowa to przestrzenne ułożenie fragmentów łańcuchów polipeptydowych związane z tworzeniem się wiązań wodorowych pomiędzy tlenem grupy C=O i wodorem grupy NH dwóch różnych aminokwasów. Drugorzędowa struktura białka może mieć postać α -helisy (np. struktura hemoglobiny, mioglobiny, miozyny, keratyny) lub β -harmonijki (przykładem jest fibroina tworząca nici oprzędu owadów). Większość łańcuchów polipeptydowych posiada zarówno odcinki o strukturze α -helisy, jak i β -harmonijki. **Struktura trzeciorzędowa** to sposób skręcenia w przestrzeni łańcuchów białkowych o określonej strukturze drugorzędowej. Struktura ta jest stabilizowana wiązaniami wodorowymi pomiędzy łańcuchami bocznymi aminokwasów, wiązaniami jonowymi, oddziaływaniami hydrofobowymi, siłami van der Waalsa

oraz mostkami dwusiarczkowymi (S-S) pomiędzy resztami cysteiny. Siły utrzymujące strukturę trzeciorzędową są w większości siłami słabymi.

Struktura czwartorzędowa określa liczbę łańcuchów polipeptydowych tworzących podjednostki w białku (np. hemoglobina zbudowana jest z czterech podjednostek, a kolagen – z trzech). Strukturę czwartorzędową stabilizują takie same wiązania jak w przypadku struktury trzeciorzędowej.

Białka proste

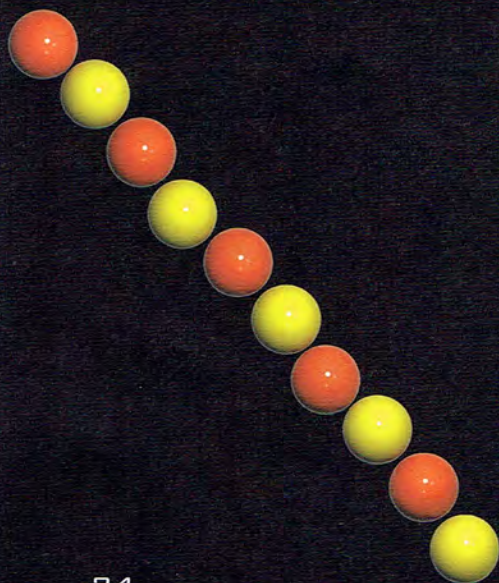
Albuminy występują w płynach tkankowych i ustrojowych, na przykład w mleku, jajach kurzych, osoczu krwi (utrzymują odpowiednie **ciśnienie osmotyczne** – zapewniają właściwe proporcje wody między krwią a płynem tkankowym). Transportują dwutlenek węgla, hormony, kwasy tłuszczowe, sole żółciowe.

Globuliny są podstawowym składnikiem cytoplazmy komórek. Występują w tkance mięśniowej, w osoczu krwi (immunoglobuliny uczestniczą w reakcjach odpornościowych), mleku, nasionach roślin. Transportują lipidy.

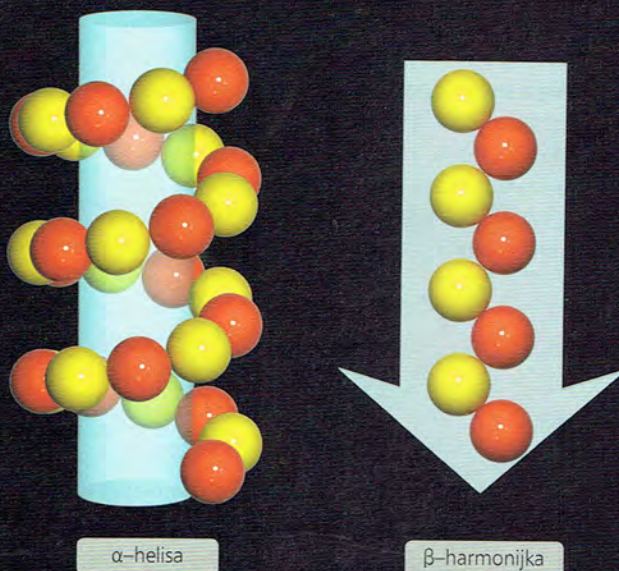
Histony są białkami zasadowymi, wchodzą w skład chromatyny – wiążą się z DNA, przez co stabilizują materiał genetyczny i umożliwiają jego kondensację.

Struktury białek

Pierwszorzędowa



Drugorzędowa



α -helisa

β -harmonijka

Skleroproteiny:

- keratyna – występuje w rogach, kopytach, włosach, paznokciach, pazurach,
- kolageny (kolagen, elastyna) – występują w ścięgnach, więzadłach,
- miozyna – występuje w mięśniach, warunkuje ich skurcz,
- fibryna – białko biorące udział w krzepnięciu krwi.

Białka złożone

Metaloproteiny to białka, w skład których wchodzi jony metali (Fe, Cu, Mg, Co, Mo, Zn):

- ferrytyna – magazynuje żelazo w postaci Fe^{3+} w wątrobie,
- ferredoksyna – zawiera żelazo, u roślin transportuje elektrony podczas fotosyntezy,

:: Doświadczenie

Przeprowadź doświadczenie, którego celem będzie wykrycie obecności białka za pomocą tak zwanej reakcji ksantoproteinowej.

Na kawałek białego sera lub do probówki z roztworem białka jaja kurzego wlej kilka kropel stężonego kwasu azotowego(V).

Żółte zabarwienie, które się pojawi, jest spowodowane obecnością w białku aminokwasów zawierających pierścienie aromatyczne.

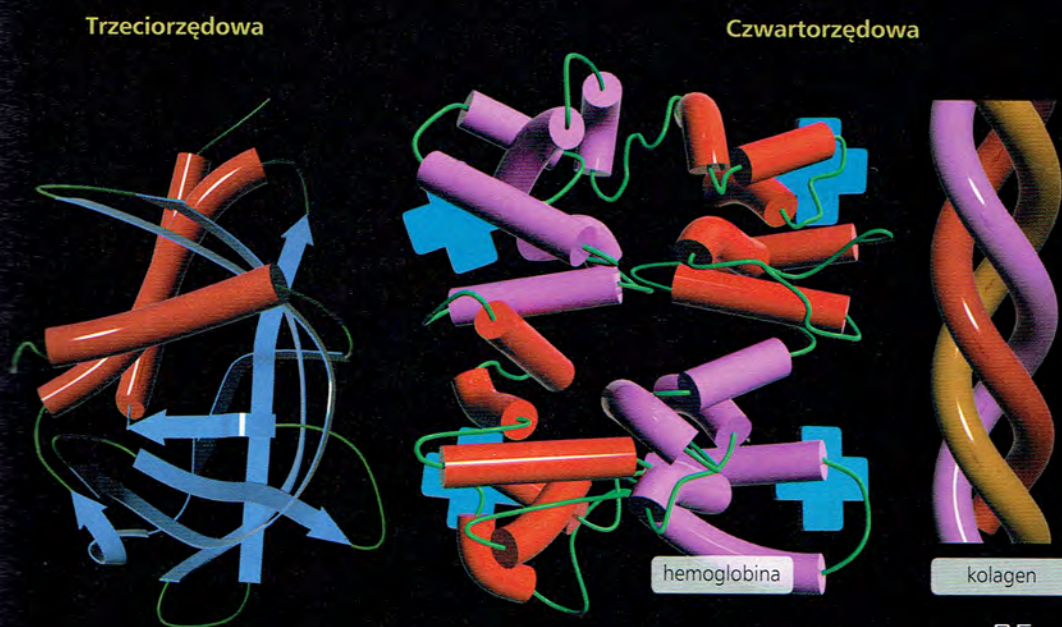
- plastocyjanina – zawiera miedź, transportuje elektrony podczas fotosyntezy,
- hemocyjanina – zawiera miedź, jest składnikiem hemolimfy u mięczaków, owadów.

Glikoproteiny to białka, w których część niebiałkową stanowi cukier. Wchodzi w skład płynów ustrojowych oraz w skład błon biologicznych. Są wśród nich enzymy, hormony białkowe, przeciwciała.

Właściwości fizyczne białek

Denaturacja to proces polegający na utracie właściwości biologicznych białek wskutek nieodwracalnego zniszczenia ich struktury trzecio- i czwartorzędowej pod wpływem takich czynników, jak: metale ciężkie, alkohole, aldehydy, mocne kwasy, zasady, promieniowanie, detergenty oraz wysoka temperatura. Temperatura, w której następuje denaturacja, zależy od rodzaju białka. Jedynie proste białka mogą ulegać procesowi odwrótnemu, czyli renaturacji.

Koagulacja jest procesem polegającym na odwracalnej zmianie struktury białka. Zniszczenie struktury trzeciorzędowej powoduje łączenie się białek w agregaty. Koagulacja może zachodzić pod wpływem temperatury oraz soli (NaCl). Procesem odwrótnym do koagulacji jest peptyzacja, którą powoduje dodanie wody.

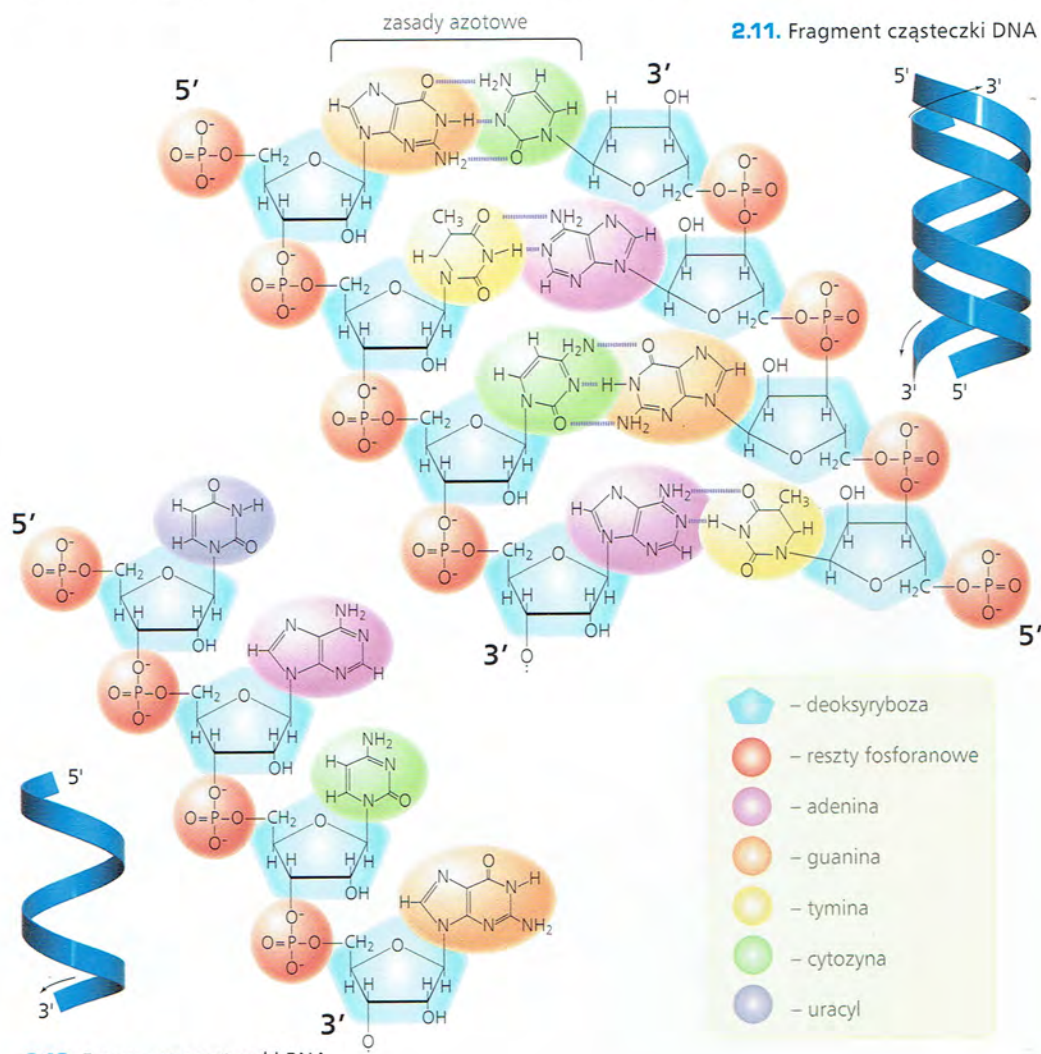


Kwasy nukleinowe

Kwasy nukleinowe – **DNA 12.11.1** (kwas deoksyrybonukleinowy) i **RNA 12.12.1** (kwas rybonukleinowy) – zawierają materiał genetyczny organizmu. Ma on postać kodu, na podstawie którego wytwarzane są białka.

Kwasy nukleinowe są polimerami składającymi się z nukleotydów, nieco różniących się schematem budowy w zależności od typu kwasu nukleinowego, w którym występują. Długie nici polinukleotydowe tworzą się, ponieważ między nukleotydami występują wiązania fosfodiesterowe. Z reguły cząsteczka DNA jest dwuniciowa, natomiast cząsteczka z reguły RNA składa się z jednej nici.

Pomiędzy zasadami azotowymi dwóch nici występuje wiązanie wodorowe. Nukleotyd tworzą kwas fosforowy oraz nukleozyd zbudowany z cząsteczki pentozy (dla RNA – rybozy, dla DNA – deoksyrybozy) i zasady azotowej (puryny lub pirymidyny). Zasady purynowe to adenina (A) i guanina (G), a pirymidynowe to cytozyna (C), tymina (T), uracyl (U). Kwasy nukleinowe różnią się pod względem składu zasad azotowych (w DNA występuje A, G, C, T, zaś RNA zawiera A, G, C, U). Adenina łączy się dwoma wiązaniami wodorowymi z tyminą (w DNA) lub z uracylem (w RNA), a guanina łączy się trzema wiązaniami wodorowymi z cytozyną.



2.12. Fragment cząsteczki RNA

PODSUMOWANIE



- Cukry to wielofunkcyjne związki organiczne (zawierają przede wszystkim aldehydową lub ketonową grupę funkcyjną).
- Z uwagi na budowę chemiczną węglowodany dzieli się na: monosacharydy, disacharydy, oligosacharydy, polisacharydy.
- Częsteczki cukrów łączą się ze sobą wiązaniem glikozydowym.
- Węglowodany spełniają w organizmie ważne funkcje: budulcową, energetyczną i zapasową.
- Białka są polimerami zbudowanymi z monomerów – aminokwasów połączonych wiązaniem peptydowym.
- W skład białek występujących w organizmach żywych wchodzi 20 aminokwasów. Dzieli się je na egzogenne i endogenne.
- Z uwagi na skład chemiczny białka dzieli się na proste i złożone, a z uwagi na kształt cząsteczki – na białka fibrylarne i globularne.
- Dla białek charakterystyczna jest struktura pierwszo-, drugo-, trzecio- i czwartorzędowa.
- Białka spełniają w organizmie wiele ważnych funkcji: strukturalne, regulacyjne, transportowe, odpornościowe.
- Tłuszcze to estry gliceryny i wyższych kwasów tłuszczowych.
- Tłuszcze dzieli się z uwagi na różne kryteria: budowę chemiczną, nasycenie łańcuchów kwasów tłuszczowych, pochodzenie, stan skupienia.
- Lipidy spełniają w organizmie ważną rolę, zwłaszcza budulcową, zapasową, energetyczną.
- W kwasach nukleinowych zawarta jest informacja genetyczna o budowie i funkcjonowaniu organizmu.

ZADANIA

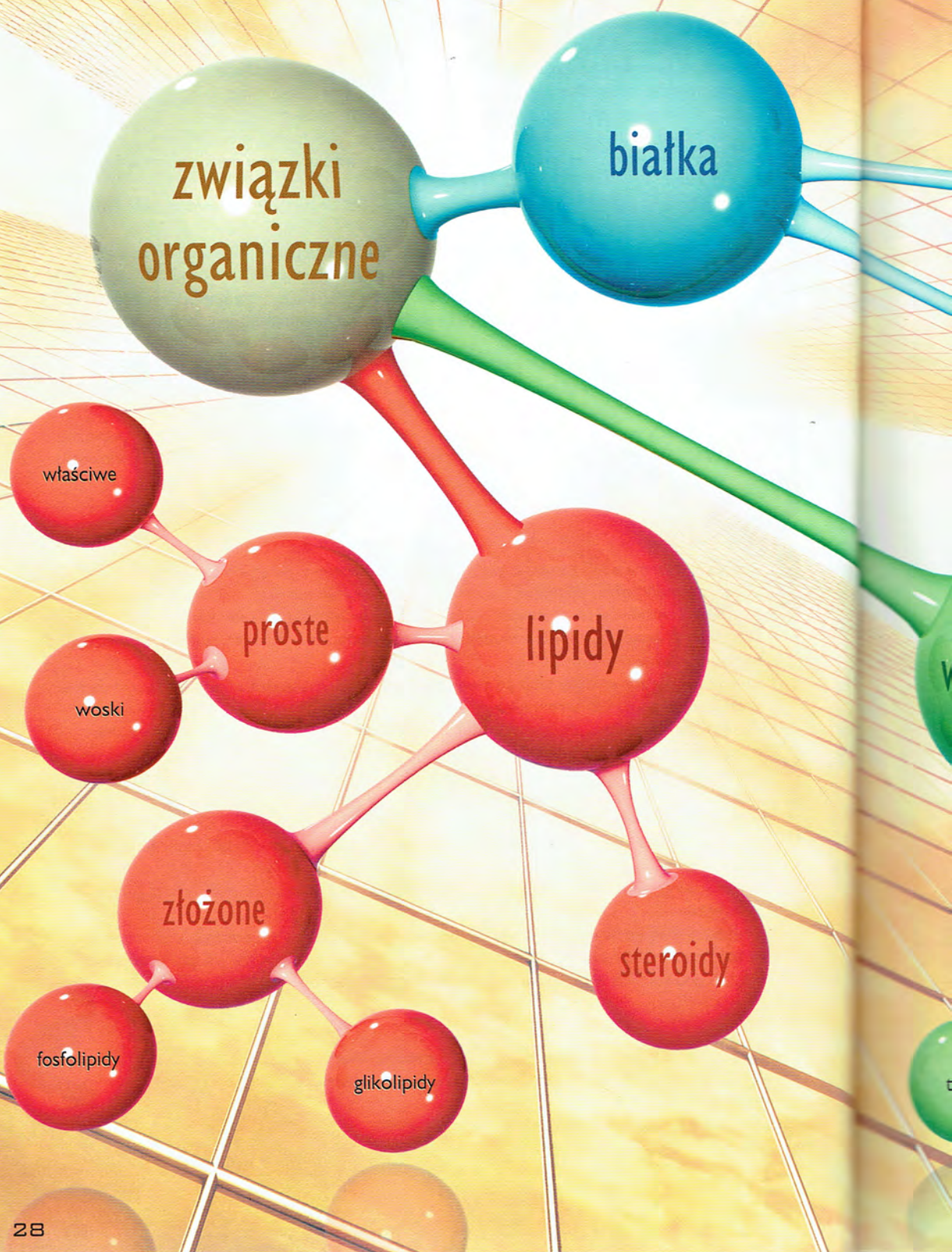


1. Poszukaj informacji na temat składu cukrów w czterech wybranych owocach.
2. Opisz doświadczenia, za pomocą których można wykryć cukry w materiale roślinnym.
3. Cysteina i metionina to aminokwasy mające w swoich cząsteczkach siarkę. Na podstawie literatury chemicznej zapisz schemat tworzenia mostków dwusiarczkowych stabilizujących strukturę trzeciorzędową białka.
4. Znajdź w dostępnych źródłach po dwa przykłady białek mających strukturę drugorzędową w postaci α -helisy i β -harmonijki.
5. Częsteczki większości związków chemicznych zbudowane są tak samo u wszystkich organizmów. Białka natomiast wykazują specyficzność gatunkową. Im bliżej spokrewnione organizmy, tym bardziej mają podobną strukturę białka. Jak myślisz, dlaczego?
6. Zaprojektuj doświadczenie, w którym udowodnisz wpływ różnych czynników (temperatury, substancji chemicznych) na strukturę białka.
7. Wyjaśnij, co rozumiesz pod pojęciem „cząsteczka amfipatyczna”. Jak zachowują się takie cząsteczki w roztworze wodnym?
8. Wyszukaj informacje na temat pozytywnej i negatywnej roli cholesterolu w organizmie człowieka.
9. Związki nienasycone odbarwiają wodę bromową i manganian(VII) potasu. Wykorzystaj wiadomości z lekcji chemii, by zaprojektować doświadczenie, które wykaże obecność lub brak wiązań podwójnych w dowolnie wybranym tłuszczu pochodzenia roślinnego i zwierzęcego.

BIBLIOGRAFIA



- Berg J. M., Stryer L., Tymoczko J. L., *Biochemia*, Warszawa 2009.
- Kołodziejczyk A., *Naturalne związki organiczne*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2010.
- Mastalerz P., *Chemia organiczna*, Wrocław 2000.





Wskaż funkcje przedstawionych związków organicznych w organizmach żywych.

Zadanie 1. (1 pkt)

Przeczytaj przedstawioną poniżej charakterystykę pewnego makroelementu. Jaki to pierwiastek?

Odpowiada za prawidłową budowę kości i zębów oraz kurczliwość mięśni. Jest niezbędny w procesie krzepnięcia krwi. Warunkuje właściwe przewodnictwo nerwowe.

Zadanie 2. (2 pkt)

Wyłumacz, jakie znaczenie dla organizmów żywych mają następujące właściwości wody:

- A. duże napięcie powierzchniowe
- B. wysokie ciepło właściwe

Zadanie 3. (2 pkt)

Zestaw odpowiednio nazwę grupy funkcyjnej (kolumna A) z typem związku chemicznego (kolumna B).

- | | | | |
|----|-----------------------|----|---------------|
| A. | a. grupa aminowa | B. | 1. cukry |
| | b. grupa estrowa | | 2. aminokwasy |
| | c. grupa karboksylowa | | 3. tłuszcze |
| | d. grupa hydroksylowa | | |
| | e. grupa aldehydowa | | |
| | f. grupa ketonowa | | |

Zadanie 4. (1 pkt)

Wskaż poprawne zakończenie zdania.

Jeżeli cząsteczka cukru zawiera 10 atomów wodoru, to zwykle zawiera też...

- A. 10 atomów tlenu.
- B. 10 atomów węgla.
- C. 5 atomów tlenu.
- D. 5 atomów tlenu i 10 atomów węgla.

Zadanie 5. (2 pkt)

Przeczytaj opisy dwucukrów zawarte w podpunktach od A do F. Następnie dopasuj je do właściwych rubryk tabeli.

- A. Jest cukrem zbudowanym z dwóch identycznych cząsteczek cukru prostego.
- B. W skład cząsteczki tego dwucukru wchodzi glukoza i monocukier budujący u zwierząt osłonkę mielinową komórek nerwowych.
- C. U niektórych roślin zapylanych przez owady wchodzi w skład nektaru i pyłku.
- D. Cukier ten występuje w trzcinie cukrowej i burakach cukrowych.
- E. Budują go dwie cząsteczki dwóch różnych cukrów prostych. Obydwa cukry proste znajdują się w owocach.
- F. Zwany jest cukrem mlecznym, gdyż stanowi główny składnik mleka ssaków.

	Maltoza	Laktoza	Sacharoza
Budowa chemiczna			
Występowanie			

Zadanie 6. (2 pkt)

Przeczytaj poniższy tekst dotyczący roli jodu w organizmie człowieka. Wybierz i podkreśl poprawne określenia spośród zawartych w nawiasach.

Jod jest pierwiastkiem zaliczanym do (mikroelementów/makroelementów). Odgrywa ważną rolę w organizmie człowieka, ponieważ wchodzi w skład (hormonów tarczycy/hormonów śledziony). Jego niedobór skutkuje ogólnym (pobudzeniem/zmęczeniem) organizmu. Do skutków niedoboru tego pierwiastka należy też (cukrzyca/kretynizm).

Zadanie 7. (2 pkt)

Sterydy to związki zbudowane z polarnej głowy i niepolarnego odcinka zawierającego cztery pierścienie izoprenowe i łańcuch hydrofobowy.

Podaj przykład dwóch sterydów występujących w organizmach żywych i określ ich znaczenie.

Zadanie 8. (2 pkt)

Zestaw odpowiednio rodzaj struktury białka (kolumna A) z typami wiązań chemicznych (kolumna B).

- | | | | |
|----|--------------------------|----|---------------------------|
| A. | a. struktura I-rzędowa | B. | 1. wiązanie dwusiarczkowe |
| | b. struktura II-rzędowa | | 2. wiązanie wodorowe |
| | c. struktura III-rzędowa | | 3. wiązanie jonowe |
| | d. struktura IV-rzędowa | | 4. wiązanie peptydowe |

Zadanie 9. (2 pkt)

Określ prawdziwość poniższych stwierdzeń dotyczących tłuszczów: wpisz w odpowiednie miejsca tabeli litery P (prawda) lub F (fałsz).

Opis	P/F
Woski pełnią funkcję ochronną – u roślin pokrywają owoce oraz powierzchnię liści i pędów, zapobiegając w ten sposób nadmiernej utracie wody. Związki te nie występują u zwierząt.	
Cholesterol jest składnikiem błon komórkowych i osocza krwi.	
Tłuszczowce mogą budować niektóre hormony (np. płciowe) człowieka.	
Glikolipidy są związkami tworzącymi barwniki fotosyntetyczne niektórych protistów. U roślin część z nich może spełniać funkcję pomocniczą w fotosyntezie, nadawać barwę jesiennym liściom i owocom.	

Zadanie 10. (4 pkt)

W tabeli opisano cztery wielocukry. **Uzupełnij podane informacje tak, by były kompletne.**

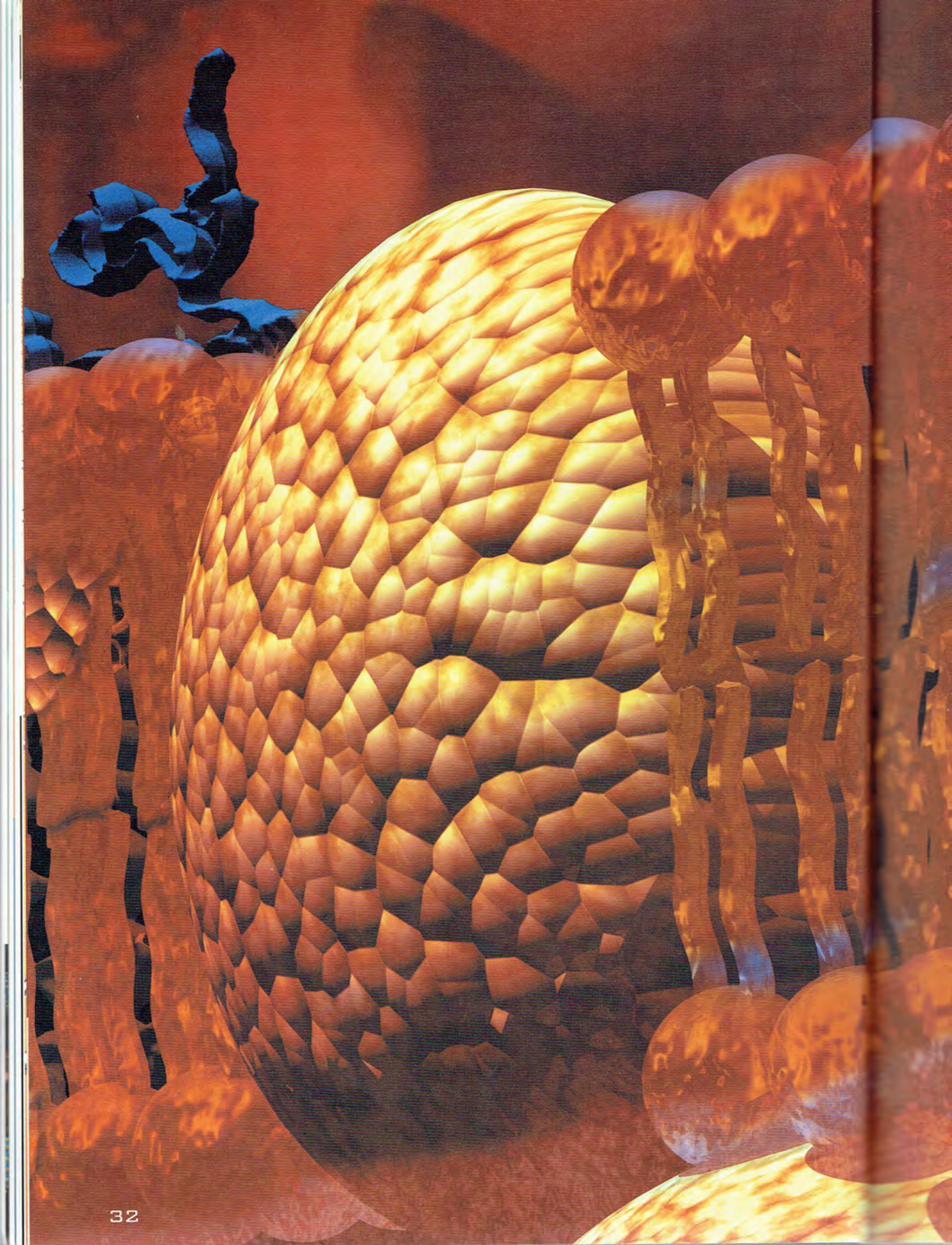
Cukier	Funkcja
	Stanowi podstawowy materiał zapasowy roślin, gromadzony w organach roślinnych – np. w nasionach, łodydze, korzeniu.
Celuloza	
	Związek występujący w ścianie komórkowej grzybów, buduje szkielet zewnętrzny zwierząt bezkręgowych.
Glikogen	

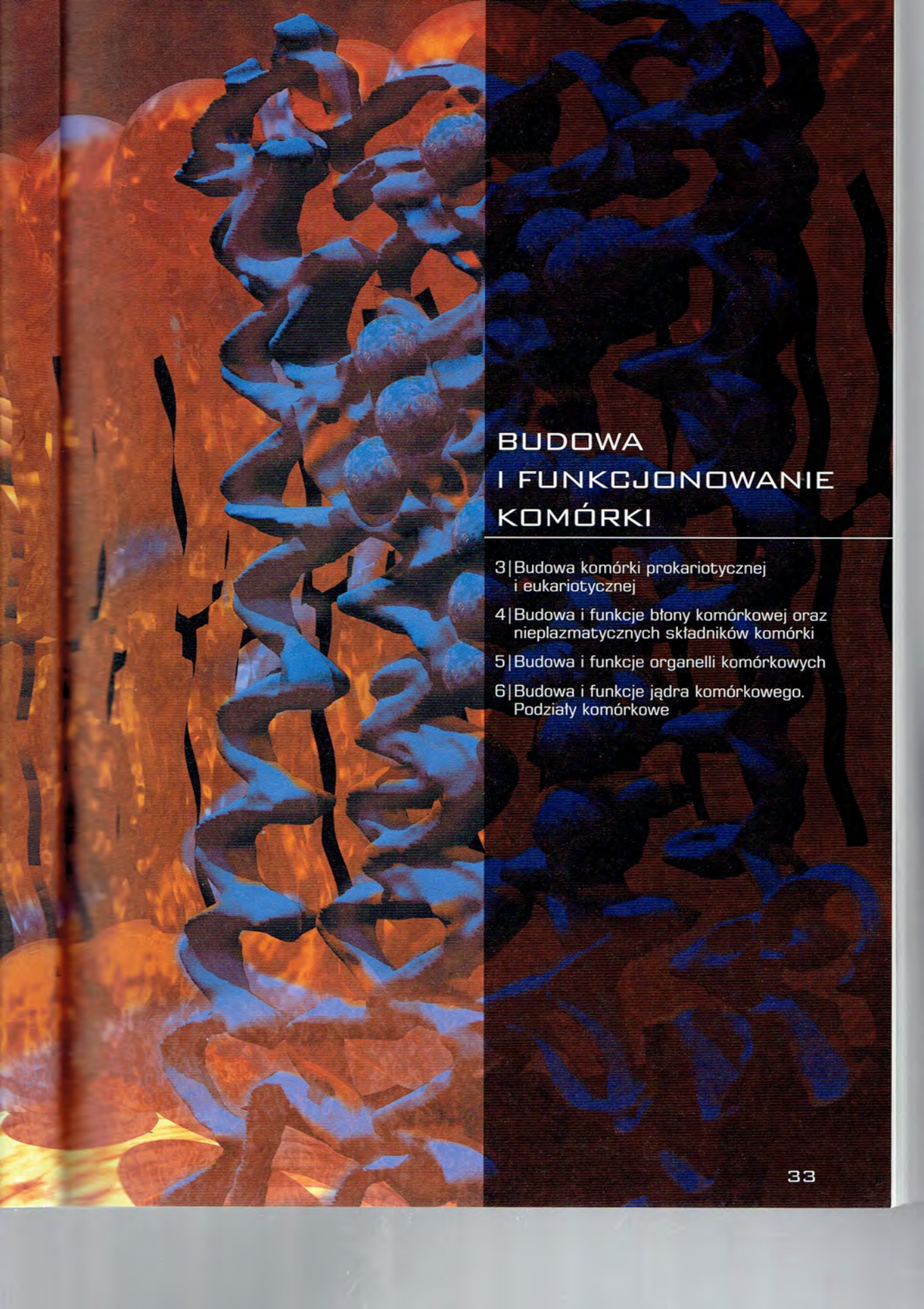
Zadanie 11. (2 pkt)

Budowę białka określa się za pomocą opisu różnych poziomów organizacji jego cząsteczki.

Przeczytaj poniższe teksty. Przy każdym z nich zaznacz, jakiej struktury on dotyczy: I-, II-, III- czy IV-rzędowej.

- A. Łańcuchy białkowe mogą przyjmować postać α -helisy lub β -harmonijki. Struktury te stabilizowane są przez wiązania wodorowe pomiędzy tlenem grupy C=O i wodorem grupy -NH dwóch różnych aminokwasów.
- B. Struktura ta jest stabilizowana wiązaniami wodorowymi pomiędzy łańcuchami bocznymi aminokwasów, wiązaniami jonowymi, oddziaływaniami hydrofobowymi, siłami van der Waalsa i mostkami dwusiarczkowymi pomiędzy resztami cysteiny. Struktura określa sposób skręcenia w przestrzeni łańcuchów białkowych.
- C. Struktura ta określa liczbę łańcuchów polipeptydowych tworzących podjednostki w białku.
- D. Struktura ta opisana jest kolejnością aminokwasów w cząsteczce białka.





BUDOWA I FUNKCJONOWANIE KOMÓRKI

- 3|Budowa komórki prokariotycznej i eukariotycznej
- 4|Budowa i funkcje błony komórkowej oraz nieplazmatycznych składników komórki
- 5|Budowa i funkcje organelli komórkowych
- 6|Budowa i funkcje jądra komórkowego. Podziały komórkowe

3. Budowa komórki prokariotycznej i eukariotycznej

Różne koncepcje dotyczące **biogenezy**, czyli powstania życia na Ziemi, wyodrębniają w tym procesie trzy początkowe etapy: (1) nagromadzenie wielkiej ilości prostych związków organicznych w oceanach (tzw. ewolucja chemiczna); (2) łączenie się tych związków w coraz bardziej złożone struktury; (3) powstanie komórek pozbawionych jądra (prokariotycznych), a następnie – komórek zawierających jądro (eukariotycznych). Etap trzeci, czyli powstanie komórek, umożliwił trwającą do dziś ewolucję biologiczną.

Komórka jest zdolną do życia zorganizowaną strukturą występującą w przyrodzie.

Przeprowadza procesy biochemiczne, dostosowuje się do zmian zachodzących w środowisku, ma też zdolność do wzrostu i różnicowania oraz przekazywania swoich cech komórkom potomnym.

Komórki mogą istnieć jako samodzielne organizmy (np. pierwotniaki) lub stanowić podstawowe jednostki budujące organizmy wielokomórkowe.

Zróżnicowanie budowy komórek

Badania struktury i składu chemicznego komórek oraz ich funkcji mają podstawowe znaczenie dla nauk biologicznych – nie tylko cytologii, lecz także systematyki. Budowa komórki (m.in. obecność jądra komórkowego, stopień złożoności) stanowi kluczowe kryterium podziału świata organizmów żywych na **prokarioty** (*Procaryota*) i **eukarioty** (*Eucaryota*) oraz na poszczególne królestwa. Do prokariotów, pozbawionych jądra komórkowego, należy królestwo bakterii, a do eukariotów, z wyodrębnionym jądrem komórkowym, królestwo protistów, grzybów, roślin i zwierząt.

Ważnym składnikiem komórki jest materiał genetyczny w postaci kwasu deoksyrybonukleinowego (DNA) zawierającego informacje o budowie białek. W komórce eukariotycznej DNA znajduje się w jądrze komórkowym (ma budowę liniową, połączone jest z białkami zasadowymi – histonami – i otoczone błoną jądrową). U pozbawionych jądra bakterii i sinic obszar, w którym znajduje się DNA, zwany jest **nukleoidem**, a sama cząsteczka DNA – **genoforem**. W komórkach prokariotycznych i nielicznych komórkach eukariotycznych (grzybów, np. drożdży i śluzowców) znajdują się dodatkowo niewielkie

Porównanie komórki prokariotycznej i eukariotycznej

Komórka prokariotyczna	Komórka eukariotyczna
0,5–10 μm	10–100 μm , niektóre kilka centymetrów (np. jaja ptasie)
błona komórkowa (jedna lub dwie) pozbawiona cholesterolu	w błonie komórkowej występuje cholesterol
ściana komórkowa zbudowana z mureiny	ściana komórkowa zbudowana z celulozy i pektyn (u roślin), chityny (u grzybów), celulozy bądź chityny (u niektórych protistów) lub nie występuje (u zwierząt)
brak cytoszkieletu	cytoplasma wykazuje zdolność do ruchu, obecny jest cytoszkielet
rybosomy o stałej sedimentacji 70S	rybosomy o stałej sedimentacji 80S
rzęski zbudowane z białka – flageliny	rzęski i wici zbudowane z mikrotubul połączonych białkiem dyneiną
prosty podział komórkowy	podziały komórkowe – mitoza, mejoza
materiał zapasowy – glikogen, wolutyna (bakterie), skrobia sinicowa (sinice)	materiał zapasowy – glukoza, fruktoza, sacharoza, maltoza, skrobia, tłuszcze (rośliny), glikogen (grzyby, zwierzęta)



Na podstawie informacji zawartych w tabeli wskaż różnice w budowie komórki prokariotycznej i eukariotycznej.

koliste cząsteczki DNA zwane **plazmidami**. Nie niosą one informacji niezbędnej komórce do przeżycia, ale zawierają geny kodujące substancje potrzebne w pewnych sytuacjach (np. geny oporności na antybiotyki, geny warunkujące wytworzenie enzymów trawiących konkretne substancje odżywcze).

Każda komórka oddzielona jest od środowiska zewnętrznego błoną komórkową, która jednocześnie zapewnia komórce kontakt z otoczeniem. W komórce eukariotycznej istnieje system błon dzielących ją na części i tworzących różne struktury (**organelle**) spełniające określone funkcje. W komórce prokariotycznej brak takiego systemu, ale jej błona może tworzyć wpuklenia – mezosomy i tylakoidy. Niekiedy mezosomy traktuje się jako wpuklenia błony

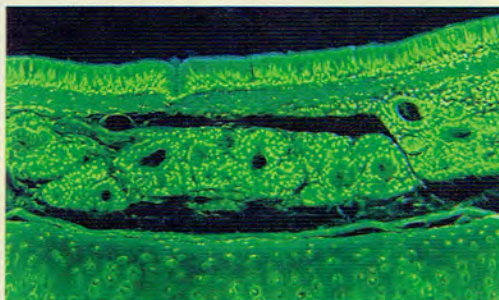
lub odpowiednik mitochondriów, występujących w komórkach eukariotycznych. Funkcja mezosomów nie jest do końca poznana. Z kolei tylakoidy są odpowiednikiem chloroplastów wykształconych przez komórki eukariotyczne. Chloroplasty zawierają barwniki asymilacyjne i zachodzi w nich fotosynteza, czyli synteza związków organicznych z nieorganicznych przy udziale energii świetlnej. Barwnikami występującymi u eukariontów są przede wszystkim chlorofile (zielone), towarzyszą im karoteny (czerwone), ksantofile (żółte) oraz fikobiliny. U prokariotów również występują barwniki fotosyntetyczne: u bakterii jest to bakteriochlorofil, a u sinic – chlorofil, karoten oraz barwniki z grupy fikobilin (niebieska fikocyjanina i czerwona fikoerytryna).

:: Ciekawostka

Ultrastrukturę komórki bada się za pomocą mikroskopów. Powiększenie, jakie uzyskuje się w **mikroskopie świetlnym**, pozwala na obserwację komórek żywych (w zakresie kształtu i, wyjątkowo, barwy) lub komórek utrwalonych i odpowiednio wybarwionych (widoczna jest głównie ściana komórkowa, jądro, cytoplazma i ziarniste struktury w niej zawarte). Obrazy uzyskane w **mikroskopie elektronowym** są czarno-białe, jednak znacznie większe powiększenie pozwala na dokładną analizę powierzchni komórki (w mikroskopie skaningowym) i jej wnętrza (w mikroskopie transmisyjnym).

Efekty barwienia wybranych struktur i składników komórkowych

Struktura/składnik komórki	Barwnik	Efekt barwny
Ściana komórkowa celulozowa	karmin alunowy	czerwony
Ściana komórkowa zdrewniała	zieleń jodowa	zielony
Jądro komórkowe	czerwień obojętna	jasnoczerwony
Jądro komórkowe	eozyna	fioletowy
Ziarna skrobi	płyn Lugola	fioletowo-niebieski
Krople tłuszczu	sudan III i IV	czerwony



Obraz biologiczny pod mikroskopem świetlnym i skaningowym

Powstanie komórki eukariotycznej – teoria endosymbiozy

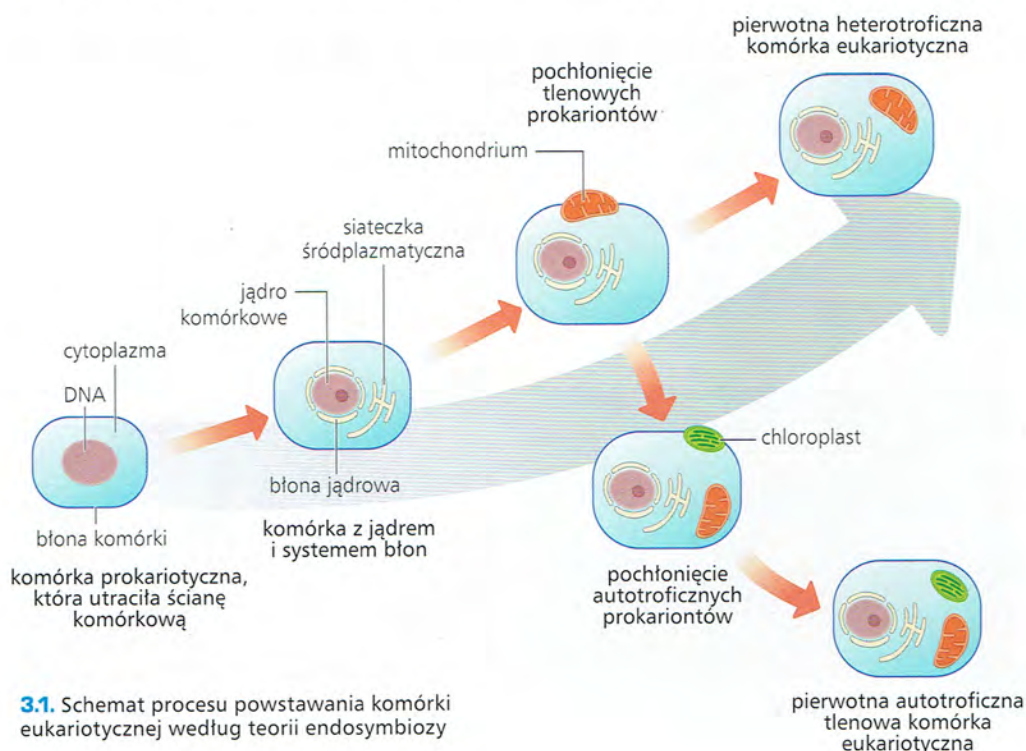
Współcześnie przyjmuje się, że komórki eukariotyczne powstały w wyniku stopniowych przekształceń komórek prokariotycznych. Proces ten przedstawia **teoria endosymbiozy** [3.1] stworzona w drugiej połowie XX wieku przez amerykańską mikrobiolog Lynn Margulis. Zgodnie z tą teorią powstanie eukariotycznych organelli, jak mitochondria i chloroplasty, jest efektem endosymbiotycznego związku między pierwotnymi prokariotami i eukariontami.

Na podstawie najważniejszych badań naukowych w tym zakresie można uznać, że proces ten składa się z kilku etapów:

1. Pierwotne heterotroficzne prokarioty utraciły ścianę komórkową, co umożliwiło powiększenie ich rozmiaru.
2. Komórki prokariotyczne pobierały cząstki pokarmowe poprzez otaczanie ich fragmentami błony komórkowej i tworzenie drobnych pęcherzyków. Pęcherzyki te mogły łączyć się ze sobą, a błona komórkowa – fałdować. Doprowadziło to do wyodrębnienia systemu

błon wewnętrznych w cytoplazmie (siateczka śródplazmatyczna, aparat Golgiego, lizosomy, wakuole).

3. Błony wewnętrzne otoczyły materiał genetyczny – powstała błona jądrowa, wyodrębniło się jądro komórkowe (były to pierwsze komórki eukariotyczne).
4. Mitochondria powstały przez pochłonięcie prostych oddychających tlenowo komórek prokariotycznych. Komórki te żyły początkowo w symbiozie z pierwotną komórką jądrową (były to pierwsze eukarionty przeprowadzające oddychanie tlenowe).
5. Chloroplasty powstały poprzez pochłonięcie komórek autotroficznych prokariotów, które początkowo również były organizmami symbiotycznymi (tak powstały autotroficzne eukarionty).
6. Z czasem komórki prokariotyczne żyjące we wnętrzu komórek eukariotycznych straciły swoją autonomię i stały się organellami, zachowały jednak własny materiał genetyczny.



3.1. Schemat procesu powstawania komórki eukariotycznej według teorii endosymbiozy

Dowody na endosymbiotyczne pochodzenie mitochondriów i chloroplastów

Analizując budowę mitochondriów i chloroplastów, można wysunąć kilka dowodów potwierdzających teorię, że pochodzą one od bakterii, które żyły w zależności symbiotycznej z pierwszymi komórkami eukariotycznymi. Organelle te:

- otoczone są podwójną błoną (wewnętrzna może być dawną błoną bakteryjną, a zewnętrzna to pierwotnie błona komórki „gospodarza” – pozostałość po endocytozie),
- mają własne, kolisty DNA (jak występujące u bakterii), dodatkowo sama struktura materiału genetycznego jest podobna do bakteryjnego,

- zawierają rybosomy typu 70S (takie jak u bakterii), które są mniejsze niż rybosomy cytoplazmatyczne,
- powstają tylko przez podział już istniejących mitochondriów i chloroplastów.

Obecność własnego aparatu do syntezy białka, rybosomów, enzymów oraz zdolność do samopowieliania czyni z mitochondriów i chloroplastów organelle półautonomiczne. Ich autonomia nie jest pełna, gdyż nie mogą one istnieć poza komórką. Część białek niezbędnych do ich prawidłowego funkcjonowania jest wytwarzana na bazie DNA jądrowego.

PODSUMOWANIE

- Komórka prokariotyczna w przeciwieństwie do komórki eukariotycznej nie ma jądra komórkowego.
- Komórki prokariotyczne i eukariotyczne mają charakterystyczne dla siebie organelle, warunkujące ich prawidłowe funkcjonowanie.
- Mimo zróżnicowania ich struktury wszystkie żywe komórki zawierają pewne wspólne elementy: materiał genetyczny, rybosomy, błonę komórkową, organelle przetwarzające energię.
- Mitochondria i chloroplasty są organelami półautonomicznymi o endosymbiotycznym pochodzeniu.



ZADANIA

1. Wymień organelle charakterystyczne dla komórki prokariotycznej i eukariotycznej. Które organelle eukariotów nie mają odpowiedników w komórce prokariotów?
2. Wskaż organelle służące do przeprowadzania procesów, w których gromadzona jest energia użyteczna biologicznie.
3. Które organelle występują w komórce eukariotycznej zawsze, niezależnie od tego, do jakiego organizmu należy? Dlaczego te organelle są tak powszechne?
4. Znajdź informacje na temat substancji, które mogą być materiałem zapasowym w komórkach bakterii, sinic, grzybów, protistów, roślin i zwierząt. Stwórz tabelę porównującą zebrane wiadomości.
5. Podaj dowody na endosymbiotyczne pochodzenie mitochondriów i chloroplastów.



BIBLIOGRAFIA

- Baluśka F., Volkmann D., Barlow P. W., *Eukaryotic cells and their Cell Bodies: cell theory revised*, Annales Botanici, 94: 9-32, 2004.
- Bukala B., *Komórka, skład chemiczny i struktura*, Kraków 2004.

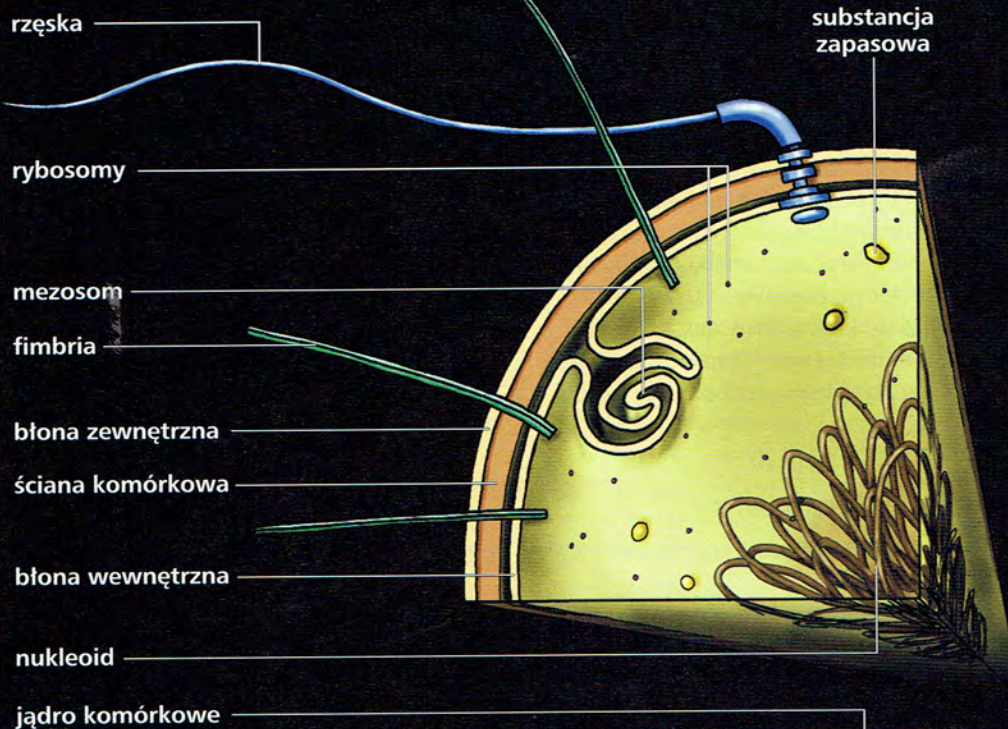


W INTERNECIE

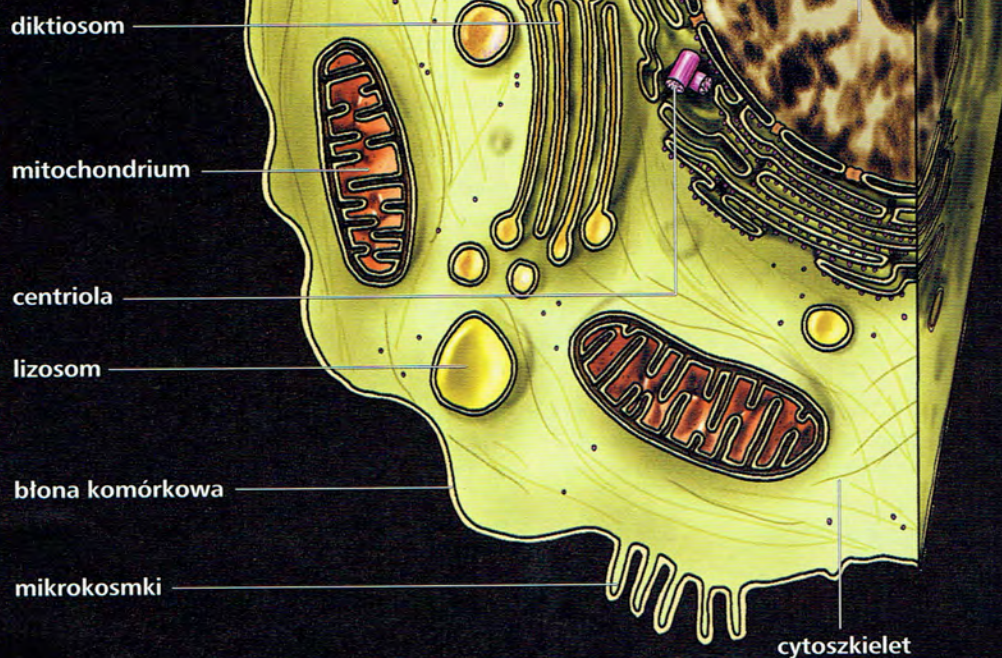
- <http://www.biologia.pl/>
- http://archiwum.wiz.pl/spis_tematow.asp



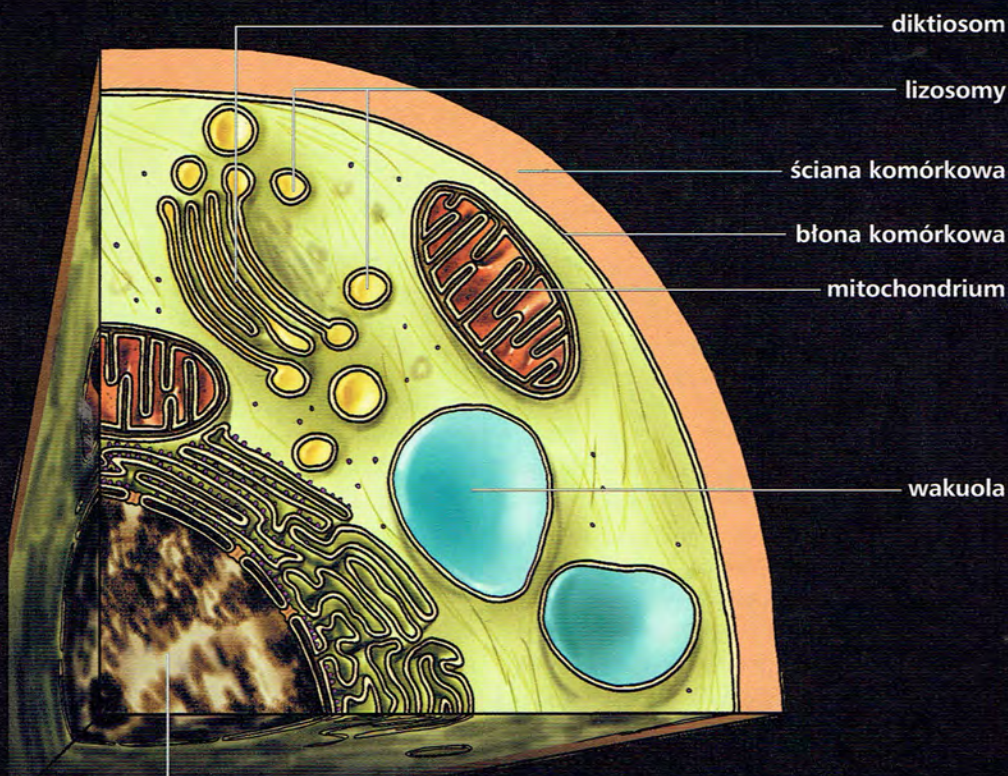
KOMÓRKA BAKTERYJNA



KOMÓRKA ZWIERZĘCA



KOMÓRKA GRZYBOWA



diktiosom

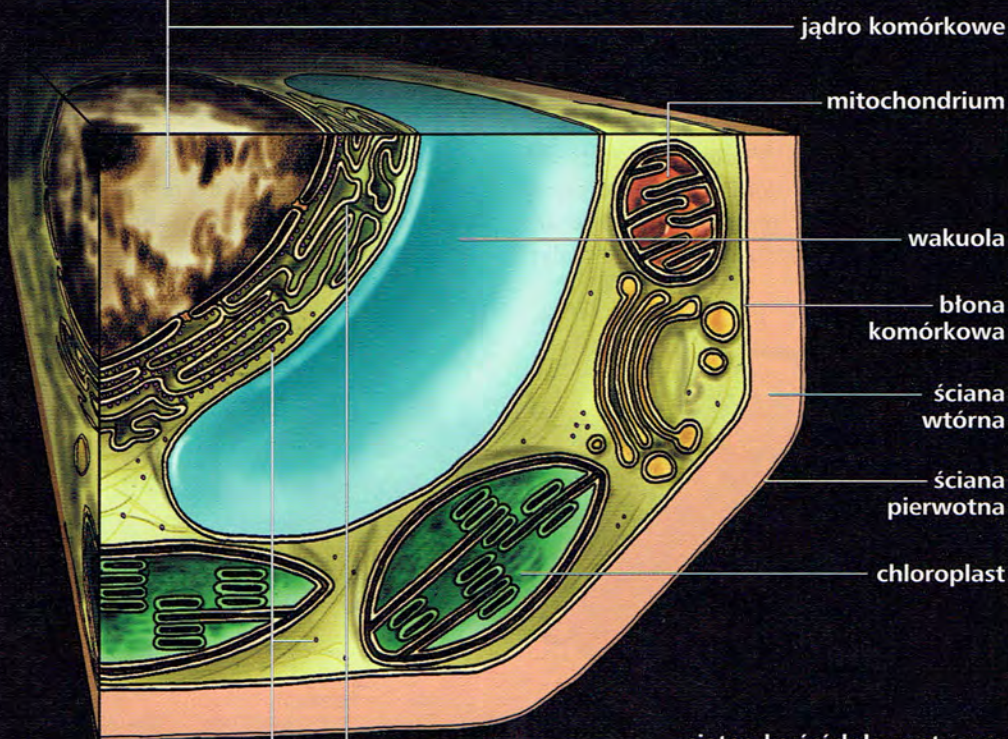
lizosomy

ściana komórkowa

błona komórkowa

mitochondrium

wakuola



jądro komórkowe

mitochondrium

wakuola

błona komórkowa

ściana wtórna

ściana pierwotna

chloroplast

siateczka śródplazmatyczna

rybosomy



Określ, czym różni się budowa heterotroficznej komórki prokariotycznej od autotroficznej komórki eukariotycznej.

KOMÓRKA ROŚLINNA

4. Budowa i funkcje błony komórkowej oraz nieplazmatycznych składników komórki

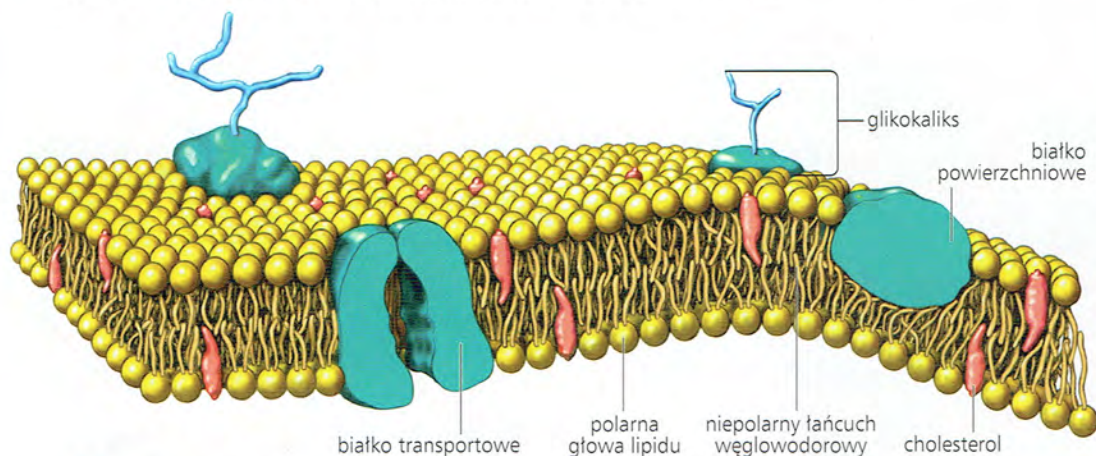
Składniki komórki dzieli się często na **plazmatyczne** (żywe) i **nieplazmatyczne** (martwe). Do tych pierwszych zalicza się: błonę komórkową, jądro komórkowe, siateczkę śródplazmatyczną, mitochondria, plastidy, aparat Golgiego, lizosomy, inne struktury pęcherzykowe (peroksosomy, glioksosomy) i rybosomy. Składniki te określa się też jako **protoplast**. Nieplazmatyczne składniki komórki to ściana komórkowa i zawartość wakuoli.

Błona komórkowa

Błona komórkowa (plazmalemma) otacza każdą żywą komórkę. Według modelu opracowanego w 1972 roku przez Singera i Nicolsona, błona komórkowa ma charakter asymetrycznej, półpłynnej mozaiki. Jej głównym składnikiem są lipidy, białka i węglowodany. Wśród lipidów błonowych wyróżnia się fosfolipidy, glikolipidy i sterydy (głównie cholesterol).

Dwie warstwy fosfolipidów tworzą zrąb i podstawę błony. **14.1.1 Polarne** (hydrofilowe) głowy fosfolipidów zwrócone są na zewnątrz, a **niepolarne** (hydrofobowe) ogony skierowane są do siebie i zajmują przestrzeń między obiema warstwami. Cholesterol usztywnia w pewnym stopniu górne części hydrofobowych łańcuchów, co przeciwdziała niekontrolowanemu przenikaniu przez błonę małych

cząstek. Zachowanie płynności błony, a co za tym idzie – jej struktury i funkcji (obniżenie płynności błon, np. w warunkach doświadczeń, powoduje zatrzymanie procesów transportu, aktywności enzymów błonowych i w konsekwencji lizę, czyli rozpad komórki). W komórkach zwierzęcych reszty cukrowe glikolipidów i glikoprotein wystają ponad zewnętrzną powierzchnię błony komórkowej i tworzą otoczkę (tzw. **glikokaliks**). Stabilizuje ona dodatkowo błonę komórkową i przyczynia się do jej asymetryczności. Jest też warstwą ochronną przed czynnikami mechanicznymi i chemicznymi. Przyjmuje się również, że glikolipidy są receptorami dla różnych substancji (np. hormonów białkowych) oraz warunkują grupy krwi (ABO).



4.1. Budowa błony komórkowej

Pomiędzy fosfolipidami znajdują się dwa rodzaje **białek błonowych**. Pierwszy to związane z błoną w trwały sposób **białka integralne** – są zanurzone w błonie i przechodzą przez obie warstwy lipidów. Drugi to słabiej związane z błoną **białka powierzchniowe** występujące po zewnętrznej (ektobiałka) lub wewnętrznej (endobiałka) stronie powierzchni błony.

Białka błonowe pełnią funkcję transportującą i strukturalną, wzmacniają błonę, co czyni ją bardziej odporną na czynniki mechaniczne, wchodzą w skład połączeń między komórkami. Biorą udział we wzajemnym rozpoznawaniu się komórek tkanki i w rozróżnianiu przez układ odpornościowy własnych tkanek od obcych.

Wybiórcza przepuszczalność błony. Transport przez błonę

Błona komórkowa jest selektywnie przepuszczalna. Oznacza to, że niektóre cząsteczki przenikają przez nią swobodnie, inne – trudniej, a jeszcze inne – wcale. Przepuszczalność błony dla danej substancji zależy od wielkości i jej polarności. Wyróżnia się trzy rodzaje transportu przez błonę: transport bierny, czyli dyfuzję prostą, dyfuzję wspomaganą (ułatwioną) oraz transport aktywny. **4.2.1**

Dyfuzja prosta polega na swobodnym przenikaniu cząsteczek (np. wody, dwutlenku węgla, tlenu, mocznika) zgodnie z różnicą (gra-

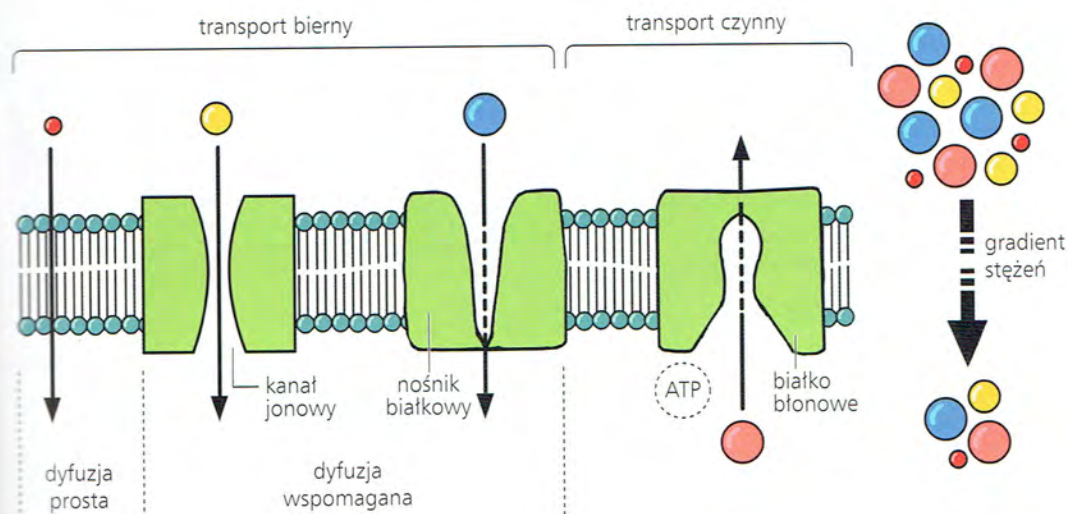
:: Ciekawostka

Błona komórkowa żywej komórki jest **spolaryzowana**. Po zewnętrznej stronie błony gromadzi się ładunek dodatni, a po wewnętrznej ujemny. Za taki stan odpowiada pompa sodowo-potasowa, która transportuje jony sodu (na zewnątrz komórki) i potasu (do wnętrza). Po śmierci komórki pompa ta przestaje pracować i polaryzacja zanika. Fakt ten wykorzystuje się do oceniania żywotności komórek w badaniach *in vitro*. Barwnik będący anionem dodaje się do zawiesiny komórek. Tylko komórki o niespolaryzowanej błonie, a więc martwe, ulegają zabarwieniu.

dientem) stężeń. Jeśli dyfuzja dotyczy cząsteczek wody, proces ten nazywamy **osmozą**. Powstaje wówczas **ciśnienie osmotyczne**, czyli siła, jaką woda wywiera na błonę.

Dyfuzja wspomaganą (ułatwioną) zachodzi w przypadku większych cząsteczek (cukry proste, aminokwasy) oraz jonów. Przebiega zgodnie z gradientem stężeń przy udziale białek transportujących, tworzących kanały jonowe lub przenośniki białkowe.

Transport aktywny jest transportem substancji wbrew gradientowi stężeń, z udziałem białek błonowych i energii zgromadzonej w ATP.



4.2. Rodzaje transportu przez błonę

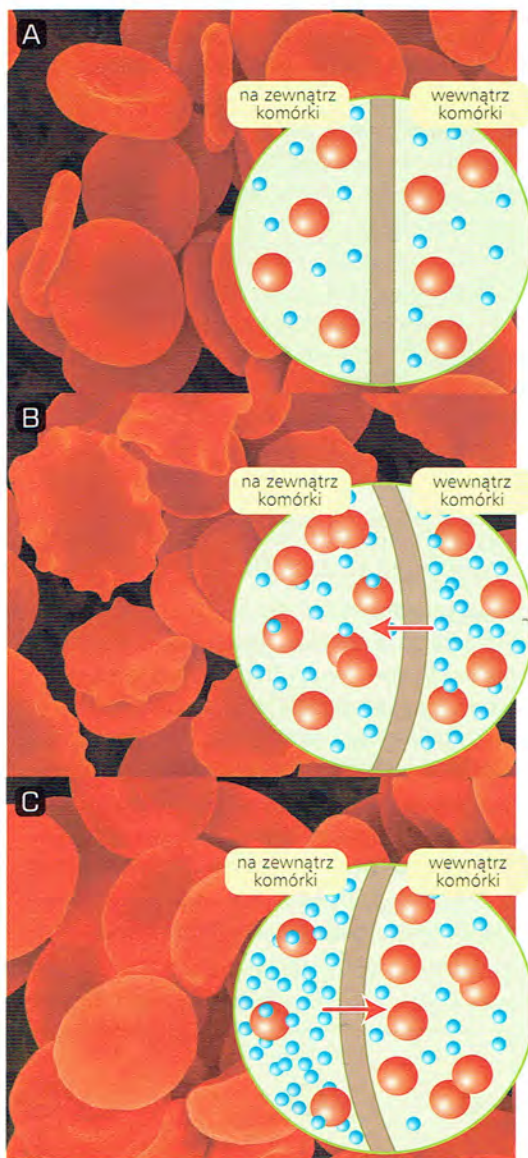
Osmoza

Woda może swobodnie przenikać przez błonę komórkową, co ma ogromne znaczenie dla organizmów żywych. Muszą one regulować stężenie wody w komórkach po to, by zapobiec ich odwodnieniu bądź pęknięciu (na skutek nadmiernego nawodnienia).

W porównaniu do stężenia roztworu w komórce otaczające ją środowisko może być: **izotoniczne** (o takim samym stężeniu), **hipertoniczne** (o stężeniu wyższym), **hipotoniczne** (o stężeniu niższym). **[4.3.1]**

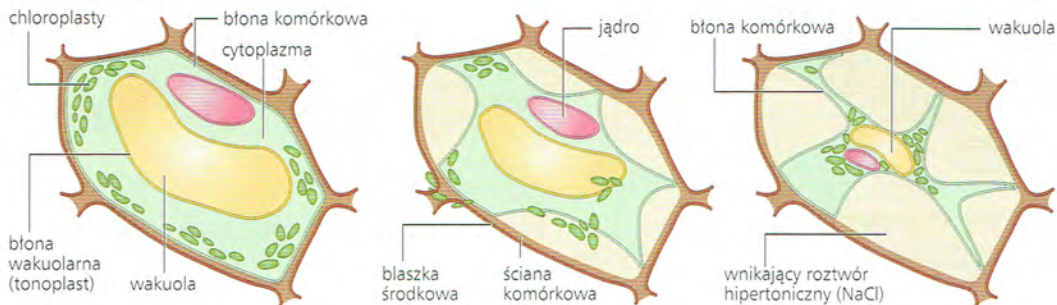
W **roztworze izotonicznym** cząsteczki wody będą w niewielkim stopniu przepływać pomiędzy środowiskiem zewnętrznym i komórką, a liczba cząsteczek przenikających przez błonę w obu kierunkach będzie taka sama. W **roztworze hipertonicznym** i **hipotonicznym** cząsteczki wody będą przepływać przez błonę z roztworu mniej stężonego do roztworu bardziej stężonego w celu wyrównania różnicy stężeń. Będzie to powodować zmiany w objętości komórki: w roztworze hipertonicznym będzie się ona kurczyć (woda przenika do roztworu o większym stężeniu, czyli na zewnątrz), natomiast w roztworze hipotonicznym będzie pęcznieć (woda przepływa z roztworu o niższym stężeniu, czyli do wewnątrz).

Ściana komórkowa jest sztywna i nie ma możliwości kurczenia się. Dlatego gdy komórka znajdzie się w roztworze hipertonicznym, obserwuje się odstawanie błony komórkowej od ściany komórkowej oraz zmniejszanie objętości wakuoli. Zjawisko to nosi nazwę **plazmolizy**. **[4.4.1]** Proces ten jest odwracalny. Przeniesienie splazmolizowanej komórki do roztworu hipotonicznego spowoduje, że komórka wypełni się wodą, wakuola zwiększy swoje rozmiary, a protoplast znowu będzie przylegać do ściany komórkowej. Taki proces nazywa się **deplazmolizą**.



4.3. Przebieg zjawiska osmozy na przykładzie erytrocytu umieszczonego w roztworach o różnym stężeniu: A) izotoniczny, B) hipertoniczny, C) hipotoniczny

4.4. Zjawisko plazmolizy



Transport makrocząstek

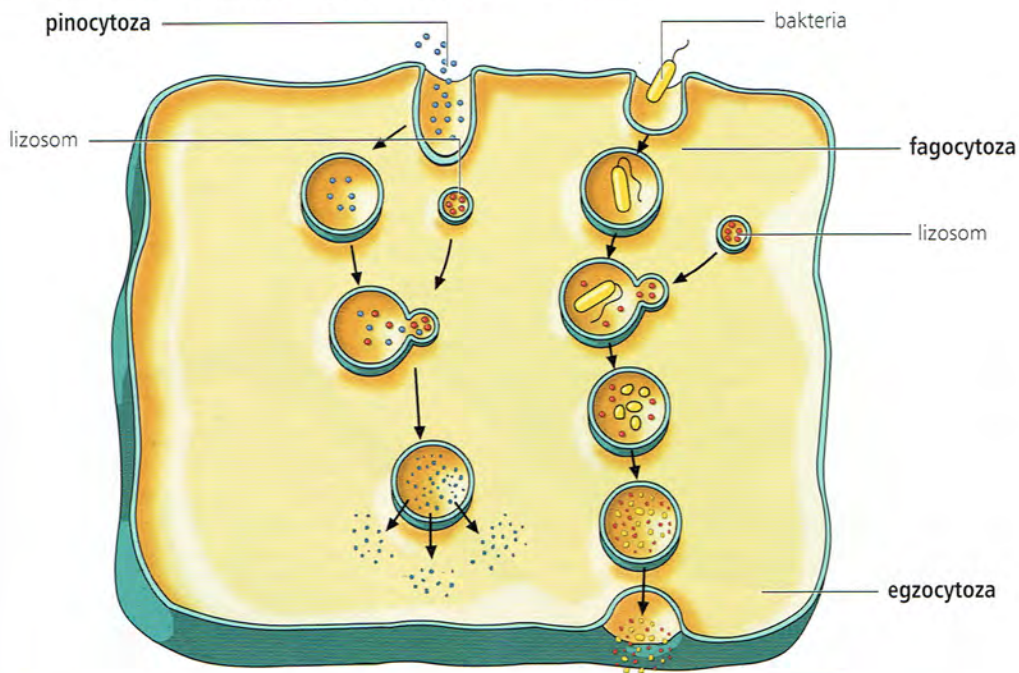
W komórce zachodzi nieustanny przepływ błon. Fragmenty błony komórkowej mogą spontanicznie zamykać się w pęcherzyki, a także łączyć się z innymi, podobnymi strukturami błonowymi. Zjawisko to, zwane fuzją błon, umożliwia ciągłą wymianę ich fragmentów między różnymi strukturami komórki. Zdolność błon do fuzji ma duże znaczenie dla procesów endocytozy i egzocytozy. **[4.5.1]**

Endocytoza polega na pobieraniu cząstek pokarmowych przez wpuklenie fragmentu błony do środka komórki i wydodrębnieniu się pęcherzyka endocytarnego, niosącego cząstkę pokarmową do cytoplazmy. W ten sposób pobierają pokarm prymitywne organizmy (np. heterotroficzne protisty). Endocytozę stosują też komórki żerne układu odpornościowego zwierząt. Wyróżnia się dwa rodzaje endocytozy: fagocytozę i pinocytozę. **Fagocytoza** polega na pobieraniu dużych cząstek pokarmowych po rozpoznaniu ich przez receptory błonowe. Cząsteczki te zostają następnie zamknięte w pęcherzyku – fagosomie. Fagosom po połączeniu z lizosomem tworzy wodniczkę pokarmową, w której cząstka pokarmowa ulega rozłożeniu. Niestrawione resztki usuwane są na drodze eg-

zocytozy. **Pinocytoza** to pobieranie płynnych substancji za pośrednictwem kanalika pinocytarnego, na którego końcu tworzy się niewielki pęcherzyk pinocytarny. Po jego połączeniu z lizosomem wszystkie produkty trawienia wchłaniane są przez błonę pęcherzyka do komórki. Nie zachodzi tutaj egzocytoza, a powierzchnia błony komórkowej zmniejsza się o powierzchnię pęcherzyka pinocytarnego. **Egzocytoza** jest procesem przeciwnym do endocytozy. Polega na uwolnieniu cząstek z komórki poprzez dołączenie pęcherzyka do błony zewnętrznej. W ten sposób mogą być usuwane z komórki niestrawione resztki pokarmowe.

Funkcje błony komórkowej:

- stanowi barierę pomiędzy wnętrzem komórki a środowiskiem zewnętrznym,
- umożliwia rozpoznawanie się komórek i oddziaływanie między nimi,
- odbiera i przekazuje sygnały ze środowiska zewnętrznego,
- umożliwia wymianę substancji pomiędzy komórką a otoczeniem,
- utrzymuje równowagę pomiędzy komórką a środowiskiem.



4.5. Zjawisko endo- i egzocytozy



Przeanalizuj rysunek i wskaż różnice między procesem pinocytozy i fagocytozy.

Ściana komórkowa

Ściana komórkowa jest wytworem protoplastu zaliczanym do martwych elementów komórki. Pełni funkcję wzmacniającą, warunkuje kształt komórki oraz chroni protoplast przed uszkodzeniem mechanicznym oraz drobnoustrojami. Otacza komórki bakterii, grzybów, roślin i niektórych protistów. Sąsiednie komórki oddzielone są dwoma ścianami połączonymi warstwą wspólną – blaszką środkową.

Pierwotna ściana komórkowa

Ściana pierwotna występuje w komórkach rosnących. Jej zrąb (szkielet) stanowią **substancje szkieletowe** – cząsteczki celulozy tworzące długie łańcuchy ułożone równolegle do siebie. Łańcuchy te tworzą **mikrofibryle**, a wiele mikrofibryli tworzy fibryle elementarną (**makrofibryle**) – podstawową jednostkę strukturalną ściany komórkowej.

Wypełnienie celulozowych elementów szkieletowych stanowią substancje podłoża – pektyny i hemiceluloza.

Substancje budujące ścianę komórkową powstają w aparacie Golgiego i są transportowane za pośrednictwem pęcherzyków do miejsc tworzenia ściany. Pęcherzyki zawierające wielocukry łączą się w środkowym rejonie dzielącej się komórki i tworzą przegrodę pierwotną wyścieloną po obu stronach błonami plazmatycznymi. Następnie do przegrody pierwotnej wnikają pektyny i hemiceluloza. W efekcie w obu komórkach potomnych powstaje

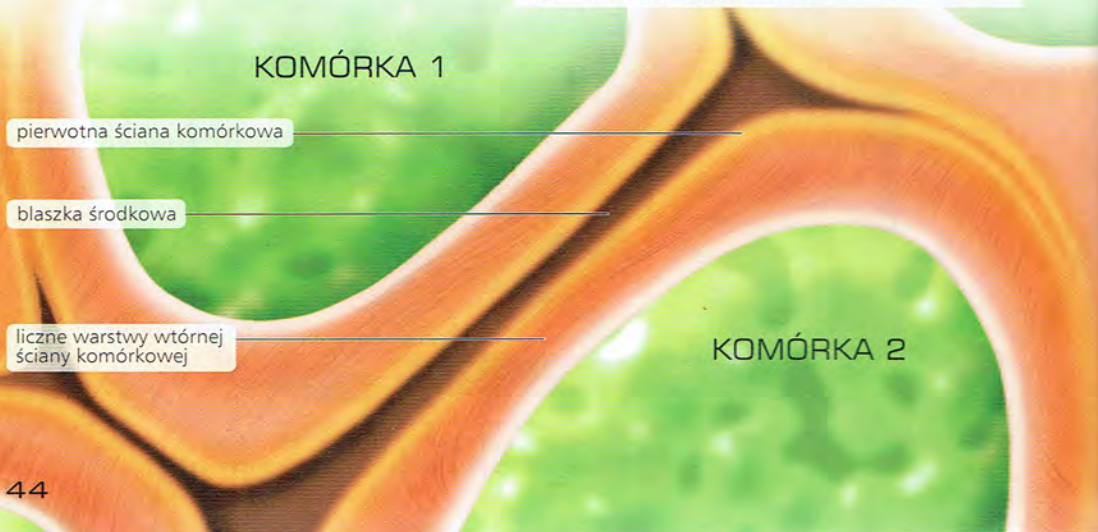
ściana komórkowa. Pomiedzy nimi znajduje się blaszka środkowa, które je spaja.

Wtórna ściana komórkowa

W komórkach, które uległy zróżnicowaniu, osiągnęły docelowe rozmiary lub przestały się dzielić, może powstać ściana wtórna. **14.6.1** Jest ona sztywniejsza i grubsza od ściany pierwotnej. Zbudowana jest głównie z celulozy, a mikrofibryle mają układ regularny: tworzą równoległe, gęsto upakowane pasma, co zwiększa wytrzymałość mechaniczną ściany i zmniejsza rozciągliwość. Widoczne na przekroju poprzecznym warstwy, z których jest zbudowana, różnią się zawartością wody i kierunkiem ułożenia pasm celulozy.

Ściana wtórna może ulegać modyfikacji na dwa sposoby. Pierwszy to **inkrustacja**, czyli odkładanie substancji chemicznych między elementy szkieletu celulozowego. Substancjami tymi mogą być: lignina, zwana też drzewnikiem (proces drewnienia ściany), a także krzemionka (SiO_2) lub węglan wapnia (CaCO_3) (proces mineralizacji). Inkustacja zwiększa odporność mechaniczną komórki. Drugi sposób to **adkrustacja**, czyli odkładanie substancji na powierzchni ściany pierwotnej. Substancjami adkrustującymi mogą być: suberyna (korkowacenie ściany), woski, kutyna (kutynizacja ściany), kaloza i substancje śluzowe. Adkrustacja chroni przed nadmiernym przenikaniem wody przez ścianę komórkową.

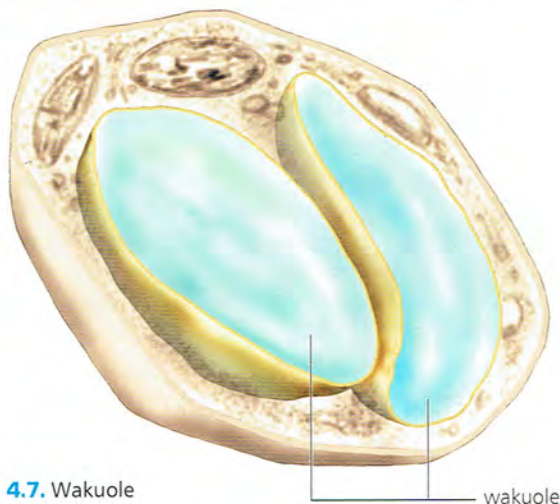
4.6. Ściana komórkowa roślin



Wakuola

Wakuola to obszar w komórce otoczony **tonoplastem** (błoną wakuolarną), wypełniony sokiem komórkowym (wakuolarnym). **14.7.1** Wakuolę zalicza się do martwych składników komórki, mimo że martwe jest jedynie jej wnętrze (otaczająca ją błona jest klasyczną błoną biologiczną zaliczaną do składników protoplastu).

Wakuole występują w komórkach roślin, grzybów i niektórych protistów (w komórkach zwierząt spotykane są rzadko). Młode, dzielące się komórki mogą zawierać kilka drobniejszych wakuol, ale częściej ich liczba jest zredukowana (skrajnie – do jednej, dużej wakuoli zajmującej ponad połowę objętości komórki). U niektórych protistów słodkowodnych spotyka się wodniczki tętniące, które usuwają z komórki nadmiar wody. W komórkach protistów wyróżnia się też wodniczki pokarmowe – są to pęcherzyki połączone z lizosomami, w których odbywa się wewnątrzkomórkowe trawienie substancji pokarmowych. Sok komórkowy wypełniający wakuole to wodny roztwór soli mineralnych i substancji organicznych (białek tłuszczów, cukrów, glikozydów, alkaloidów i garbników).



4.7. Wakuole

Funkcje wakuol:

- utrzymanie turgoru (odpowiedniego stopnia uwodnienia) komórki i magazynowanie wody;
- magazynowanie zbędnych produktów metabolizmu i substancji mogących oddziaływać szkodliwie na składniki cytoplazmy;
- gromadzenie substancji zapasowych, jonów i związków chemicznych uczestniczących w metabolizmie komórki.

PODSUMOWANIE

- Błona komórkowa zbudowana jest z lipidów, białek i cukrów, które tworzą półpłynną, dynamiczną mozaikę.
- Błona komórkowa jest półprzepuszczalna – tylko niektóre substancje mogą przenikać przez nią swobodnie.
- Błona spełnia ważne funkcje – umożliwia utrzymanie komórki w stanie równowagi, zapewnia jej integralną całość.
- Ściana komórkowa może ulegać modyfikacjom na drodze inkrustacji i adkrustacji.
- Ściana komórkowa nadaje komórce kształt i chroni ją przed uszkodzeniami mechanicznymi.



ZADANIA

1. Narysuj schemat obrazujący procesy adkrustacji i inkrustacji substancji.
2. Zaprojektuj tabelę, w której porównasz rodzaje transportu przez błonę. Weź pod uwagę przynajmniej trzy kryteria.
3. Zjawiska plazmolizy i deplazmolizy obserwuje się w przypadku komórki roślinnej. Zaprojektuj i wykonaj w pracowni biologicznej doświadczenie ilustrujące te zjawiska (używając np. tusek cebuli). Zastanów się, jaki sprzęt i jakie odczynniki będą potrzebne do wykonania obserwacji.
4. Zaprojektuj tabelę, w której porównasz procesy pinocytozy i fagocytozy – weź pod uwagę trzy kryteria.



BIBLIOGRAFIA

Kilarski W., *Strukturalne podstawy biologii komórki*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003.



5. Budowa i funkcje organelli komórkowych

Organelle komórkowe to struktury komórki wyspecjalizowane w pełnieniu określonych funkcji. Najczęściej powstają one przez otoczenie błonami biologicznymi obszarów, w których zachodzą różne, często przeciwstawne procesy biochemiczne. Wyróżniamy organelle otoczone dwiema błonami (jądro komórkowe, mitochondria, plastydy), jedną błoną (lizosomy, peroksosomy, gliksomy, diktiosomy, wakuole) i struktury nieobłonięte (centriole, rybosomy).

Wewnątrzkomórkowy system błon plazmatycznych

Błona komórkowa tworzy system przedziałów wewnątrzkomórkowych. Do struktur tych zalicza się siateczkę śródplazmatyczną, aparat Golgiego, lizosomy, peroksosomy i wakuole.

Siateczka śródplazmatyczna

To inaczej **retikulum endoplazmatyczne** (ER, z ang. *endoplasmic reticulum*), czyli trójwymiarowy system błon tworzący kanaliki, cysterny i niewielkie pęcherzyki. Cienkie błony siateczki w przeciwieństwie do błony komórkowej nie są spolaryzowane i łączą się z błoną jądrową. Siateczka śródplazmatyczna zbudowana jest z białek i lipidów o nienasyconych łańcuchach. Występuje powszechnie w komórkach eukariotycznych (oprócz np. dojrzałych erytrocytów).

Wyróżnia się siateczkę śródplazmatyczną **gładką** (nieziarnistą – SER, z ang. *smooth endoplasmic reticulum*) i siateczkę śródplazmatyczną **szerstą** (ziarnistą – RER, z ang. *rough endoplasmic reticulum*). **15.1.1** Proporcje obu typów siateczki mogą się zmieniać i zależą od intensywności procesów biochemicznych zachodzących

w danej komórce. Siateczka szorstka występuje w dużej ilości w komórkach, w których zachodzi intensywna synteza białek, a więc komórkach dzielących się i rosnących oraz produkujących białka kierowane poza komórkę. Siateczka gładka występuje obficie w komórkach wytwarzających niebiałkowe związki kierowane poza komórkę. Siateczka gładka ma przeważnie postać rurek, a szorstka, z którą związane są rybosomy, postać cystern. Siateczka szorstka jest położona blisko jądra komórkowego.

Funkcje siateczki śródplazmatycznej:

- zwiększanie wewnętrznej powierzchni komórki, na której mogą zachodzić procesy biochemiczne,
- oddzielenie procesów wymagających różnych warunków (np. innego pH),
- synteza białek (na rybosomach siateczki szorstkiej),
- synteza lipidów oraz związków, takich jak steroidy, kwas askorbinowy, kwasy żółciowe i związki niebiałkowe (siateczka gładka),
- unieczynnienie toksyn i leków.

Aparat Golgiego

Jest to struktura otoczona pojedynczą błoną białkowo-lipidową. Podjednostką aparatu Golgiego jest **diktiosom**, mający postać płaskich pęcherzyków (cystern) układających się jeden na drugim na podobieństwo stosu talerzy. Od diktiosomu odpączkowują drobne pęcherzyki błonowe – lizosomy.

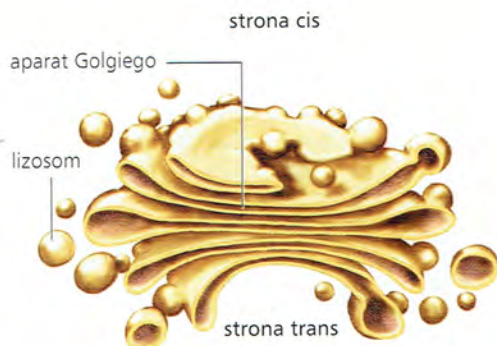
W diktiosomie wyróżnia się dwa bieguny: wypukłą **stronę cis** (stronę formowania), która jest miejscem przyłączania pęcherzyków powstałych na siateczce szorstkiej i nio-



5.1. Siateczka śródplazmatyczna

sących białka poddawane modyfikacji w aparacie Golgiego; i wklęsłą **stronę trans** (stronę dojrzewania) będącą miejscem odczepiania pęcherzyków transportowanych w kierunku błony komórkowej. **15.2.1**

Aparat Golgiego występuje w pobliżu jądra komórkowego. Istnieje przepływ błon pomiędzy siateczką śródplazmatyczną, aparatem Golgiego i błoną komórkową. Aparat Golgiego przejmuje wytworzone w siateczce śródplazmatycznej białka. Proces modyfikacji białka zachodzi poprzez fosforylację (doczepienie reszty fosforanowej), glikozylację (przyłączenie reszt cukrowych), nadanie białku odpowiedniej konformacji (przez usunięcie końcowych lub środkowych odcinków łańcucha peptydowego). W aparacie Golgiego zachodzi też sortowanie i pakowanie białek wysyłanych poza komórkę (enzymy trawienne, neuroprzekaźniki, hormony), białek i lipidów błonowych, które ulegają wbudowaniu w błonę komórkową, białek enzymatycznych, które wędrują do lizosomów. Aparat Golgiego jest również odpowiedzialny za wytwarzanie wielocukrów, pektyn i hemicelulozy budujących ścianę komórkową u roślin.



5.2. Aparat Golgiego z zaznaczonymi biegunami i lizosomami

Lizosomy

Lizosomy to małe, kuliste lub owalne pęcherzyki otoczone pojedynczą błoną białkowo-lipidową. Zawierają **enzymy hydrolityczne** rozkładające białka, kwasy nukleinowe, tłuszcze, cukry. W lizosomach zachodzi proces trawienia wewnątrzkomórkowego, rozkładane są też substancje szkodliwe, niepotrzebne. Lizosomy powstają w aparacie Golgiego jako lizosomy pierwotne. Po połączeniu z pęcherzykiem (np. fagocytarnym) stają się lizosomami wtórnymi.

Peroxisomy

Peroxisomy są małymi pęcherzykami otoczonymi pojedynczą błoną białkowo-lipidową. Występują zarówno w komórkach zwierzęcych, jak i roślinnych. W organizmie człowieka szczególnie dużo peroksisomów znajduje się w komórkach wątroby i nerek.

Peroxisomy uczestniczą w procesie utleniania biologicznego przy udziale enzymów zwanych oksydazami. Produktem ubocznym tych przemian jest szkodliwy dla komórek nadtlenek wodoru H_2O_2 , który niszczy ich struktury. Peroxisomy zawierają enzym (katalazę) rozkładający nadtlenek wodoru. Procesy utleniania zachodzą-

ce w peroksisomach są egzoergiczne (przebiegają z wydzielaniem energii). Energia ta nie jest gromadzona w ATP, ale rozprasza się w postaci ciepła. Może to sugerować udział peroksisomów w procesie termoregulacji na poziomie komórki. W komórkach zwierzęcych peroksisomy uczestniczą w metabolizmie aminokwasów, kwasów tłuszczowych i puryn, a także w syntezie cholesterolu i produkcji kwasów żółciowych. W komórkach roślinnych uczestniczą w procesie fotoodychania (pobierania tlenu i wydzielania dwutlenku węgla na drodze innej niż oddychanie tlenowe).

Glioksosomy

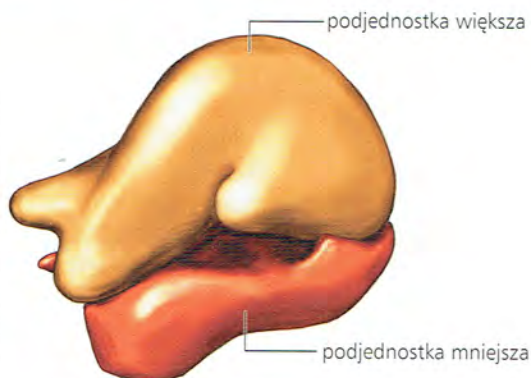
Czasami uważa się je za odmianę peroksisomów. Struktury te występują **tylko u roślin** magazynujących lipidy jako materiał zapasowy w komórkach nasion. Podczas kiełkowania nasion, dzięki enzy-

mom zawartym w glioksosomach, tłuszcze przekształcane są w związek, który jest substratem do syntezy cukrów. Ma to znaczenie w uruchamianiu rezerw energetycznych roślin oleistych.

Rybosomy

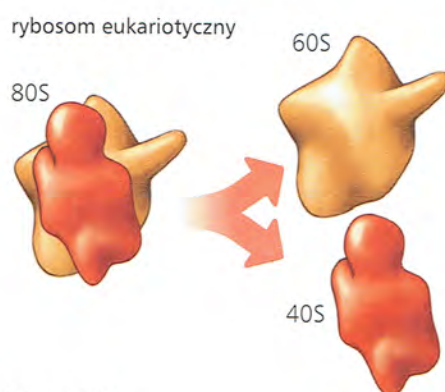
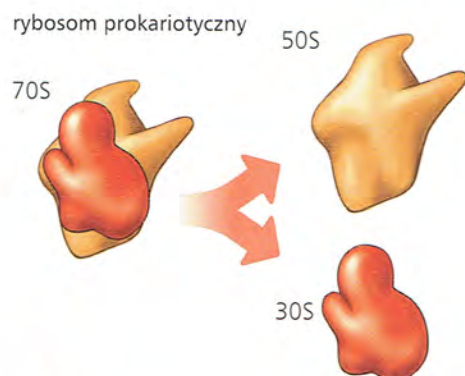
Rybosomy to niewielkie organelle, które można obserwować tylko pod mikroskopem elektronowym. Są to struktury nieobłonięte. Komórka zawiera wiele rybosomów, a ich liczba zależy od jej typu i aktywności metabolicznej (w szybko rosnącej komórce może ich być nawet kilka tysięcy). Rybosomy znajdują się we wszystkich typach komórek – zarówno prokariotycznych, jak i eukariotycznych (brak ich w dojrzałych erytrocytach). Zachodzi na nich proces syntezy białek. Rybosomy zbudowane są z białek rybosomalnych powstających w cytoplazmie oraz z rRNA (rybosomalnego kwasu rybonukleinowego), wytwarzanego w jąderku.

Każdy rybosom składa się z **dwóch podjednostek**: dużej i małej. **5.3.1** Rybosomy prokariotyczne (także mitochondrialne i chloroplastowe) są mniejsze. Wielkość rybosomów określa się za pomocą stałej sedimentacji Svedberga (S).



5.3. Model budowy rybosomu

Rybosomy prokariotyczne (70S) zbudowane są z podjednostek 30S i 50S. Rybosomy te nie są związane z błonami, rozlokowane są w cytoplazmie, w której powstają. **Rybosomy eukariotyczne** (80S) zbudowane są z podjednostek 40S i 60S. Związane są z zewnętrzną błoną jądrową, szorstką siateczką śródplazmatyczną, rzadziej występują luźno w cytoplazmie. **5.4.1**



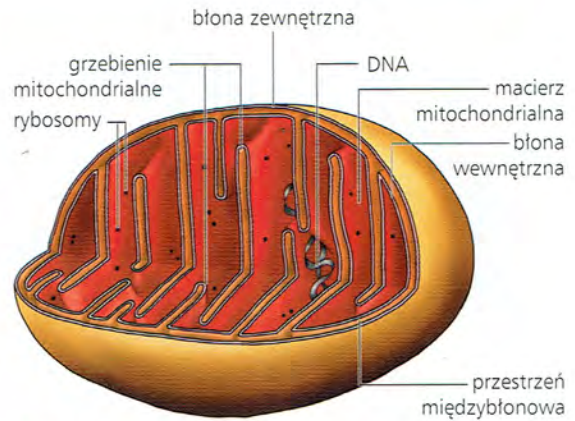
5.4. Model budowy rybosomu prokariotycznego i eukariotycznego

Mitochondria

Mitochondria są organellami o kształcie owalnym lub cylindrycznym, zbudowanymi z **dwóch błon białkowo-lipidowych**. **5.5.1** Zewnętrzna błona jest gładka, a wewnętrzna tworzy blaszkowate fałdy zwane grzebieniami mitochondrialnymi, których liczba rośnie wraz ze wzrostem intensywności procesów oddechowych. Pofałdowanie błony zwiększa powierzchnię, na której mogą zachodzić procesy biochemiczne. Zewnętrzna błona jest przepuszczalna dla jonów, a błona wewnętrzna nie. Przestrzeń między błonami nazywa się **przestrzenią międzybłonową** (perimitochondrialną). Wnętrze mi-

tochondrium ograniczone grzebieniami wypełnia substancja zwana **macierzą mitochondrialną** (matriks). Jest to koloid wodny, w którym zawarte są enzymy biorące udział w procesie oddychania oraz enzymy umożliwiające powielanie mitochondrialnej informacji genetycznej. Mitochondrium ma własne koliste DNA i małe rybosomy. Liczba mitochondriów w komórce może być różna: może ich być dużo (nawet kilkaset, np. w komórkach kanalików nerkowych czy mięśniach poprzecznie prążkowanego u kręgowców) lub mało (np. w komórkach roślinnych i komórkach naskórka u zwierząt).

W skrajnych wypadkach w komórce znajduje się tylko jedno mitochondrium (u niektórych glonów i drożdży), a nawet nie ma ich wcale (np. w erytrocytach ssaków). Liczba mitochondriów zależy bowiem od typu komórki i jest z reguły proporcjonalna do intensywności jej metabolizmu tlenowego i zapotrzebowania energetycznego. Mitochondria odpowiadają za proces oddychania wewnątrzkomórkowego, w którym dochodzi do powstania ATP (adenozynotrójfosforan) jako nośnika energii. W procesie tym substratami są tlen i glukoza, a produktami – dwutlenek węgla i woda.



5.5. Budowa mitochondrium

Plastydy

Plastydy występują tylko w komórkach roślin i niektórych protistów. Dzieli się je na kilka typów z uwagi na budowę i pełnione funkcje. W ciągu życia rośliny jedne formy plastydów mogą przechodzić w inne.

Plastydy niedojrzałe (proplastydy) – to początkowe stadia, z których powstać mogą różne typy plastydów. Występują w komórkach zarodka, gamet oraz w intensywnie dzielących się komórkach roślin (stożkach wzrostu korzenia i łodygi).

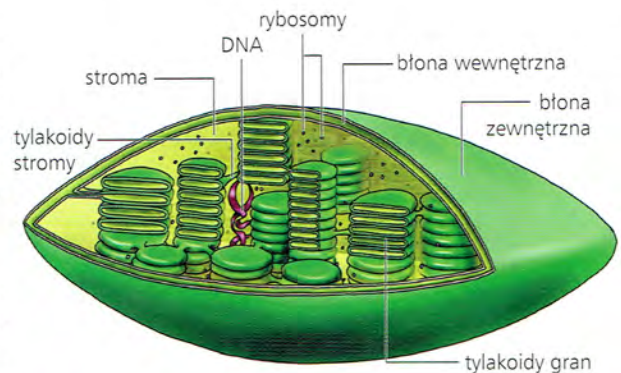
Plastydy dojrzałe dzieli się na:

- leukoplasty – magazynują substancje zapasowe, są obecne przede wszystkim w liściach, bulwach, korzeniach, w bielmie nasion, w komórkach tkanek zarodkowych, w zarodnikach;
- chromoplasty – zawierają karoten (barwnik czerwony) lub ksantofil (barwnik żółty) – nadają barwę kwiatom, owocom, korzeniom niektórych roślin (np. marchwi);
- chloroplasty – zachodzi w nich fotosynteza, zawierają barwniki fotosyntetyczne; mogą powstać z chromoplastów (np. gdy część korzenia marchwi wystająca nad powierzchnię gleby staje się zielona pod wpływem światła) i leukoplastów (np. gdy zielenieją oświetlone bulwy ziemniaka).

Budowa i funkcje chloroplastu

Chloroplast zbudowany jest z dwóch błon białkowo-lipidowych. **5.6.1** Zewnętrzna jest gładka i dobrze przepuszczalna dla jonów. Wewnętrzna błona jest słabo przepuszczalna i tworzy system wydłużonych, spłaszczonych

pęcherzyków – tylakoidów. U większości roślin wyróżnia się dwa rodzaje tylakoidów: **tylakoidy gran** (liczne, krótkie i ułożone w stopy) oraz **tylakoidy stromy** (mniej liczne, dłuższe, łączące grana ze sobą). Wnętrze chloroplastów wypełnia koloidalna macierz zwana stromą. W stromie zanurzona jest kolista cząsteczka DNA, węglowodany, białka, enzymy biorące udział w fotosyntezie oraz rybosomy. W tylakoidach znajdują się barwniki fotosyntetyczne, głównie chlorofile, a także karoteny i ksantofile. W niektórych komórkach (np. glonów) chlorofilom towarzyszą inne barwniki – fikobiliny. W procesie fotosyntezy wykorzystywana jest energia świetlna, substratami tego procesu są dwutlenek węgla i woda, natomiast produktami – glukoza i tlen.

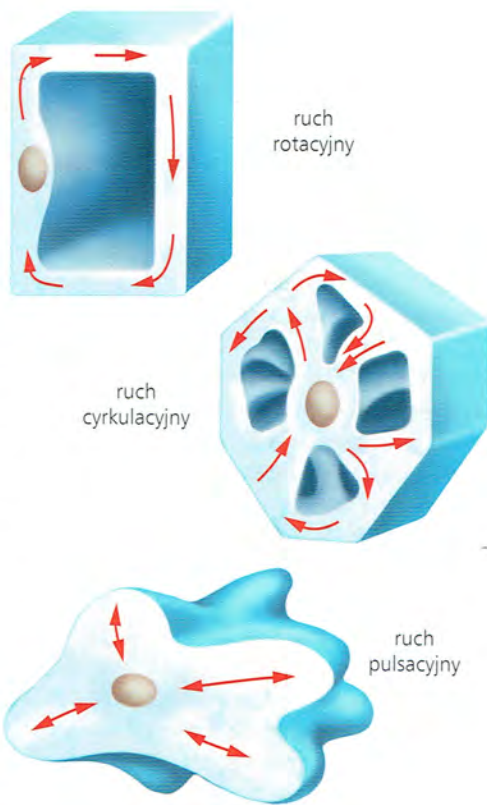


5.6. Budowa chloroplastu

Cytoplazma

Cytoplazma tworzy środowisko wewnętrzne komórki. Jest płynnym koloidem, w którym fazą rozpraszającą jest woda. W wodzie zawieszone lub rozpuszczone są różne substancje. Najważniejsze z nich to: białka (w tym enzymy), wolne aminokwasy, lipidy, kwasy tłuszczowe, sole wapnia, magnezu, sodu. Odczyn cytoplazmy jest zbliżony do obojętnego. W cytoplazmie, dzięki zawartym w niej substratom i enzymom, zachodzą procesy biochemiczne.

Cytoplazma jest strukturą dynamiczną, co oznacza, że wykazuje zdolność do ruchu. Ruch ten może być: rotacyjny (przebiegać w jednym kierunku wokół centralnie położonej wakuoli); cyrkulacyjny (przebiegać w różnych kierunkach po tzw. mostkach cytoplazmatycznych wokół kilku wakuol) i pulsacyjny (cytoplazma może przemieszczać się raz w jednym, raz w drugim kierunku wokół wakuoli). **15.7.1**



Cytoszkielecik komórki

Obserwowana w mikroskopie świetlnym cytoplazma jest bezpostaciowa, jednak obserwacje w mikroskopie elektronowym pozwalają dostrzec takie elementy cytoszkieletu, jak mikrofilamenty, filamenty pośrednie i mikrotubule. **15.8.1**

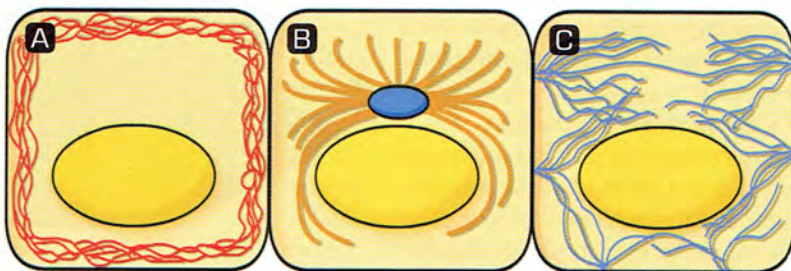
Mikrofilamenty (o średnicy ok. 7 nm) zbudowane są z białka – aktyny. Wiele cząsteczek aktyny łączy się ze sobą i tworzy długie i cienkie włókienka odpowiedzialne za zmianę kształtu komórki i ruchy pętkowate. Mikrofilamenty występują w niemal wszystkich typach komórek (szczególnie licznie w komórkach mięśniowych, naskórka, w neuronach, chondrocytach).

Filamenty pośrednie (o średnicy 10 nm) zbudowane są z różnych białek (np. lamininy,

5.7. Ruchy cytoplazmy

keratyny, desminy), które zapewniają komórce wytrzymałość mechaniczną. Licznie występują w komórkach nerwowych i nabłonkowych.

Mikrotubule (o średnicy 25 nm) zbudowane z białka tubuliny mogą skracać się i wydłużać. Mikrotubule nadają kształt komórkom, tworzą szlaki transportu organelli. Budują centriole, rzęski i wici komórek eukariotycznych.

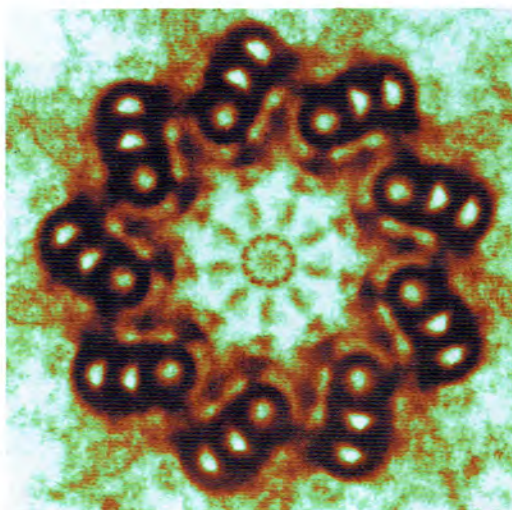


5.8. Cytoszkielecik w komórce eukariotycznej: A) mikrofilamenty, B) mikrotubule, C) filamenty pośrednie

Centriole

W komórkach eukariotycznych w pobliżu jądra komórkowego znajduje się nieobłoniona struktura – **centrosom**. Jest to miejsce tworzenia mikrotubul. W centrosomie znajdują się dwie ustawione prostopadłe do siebie centriole (nie występujące w komórkach prokariotycznych).

Centriole zbudowane są z dziewięciu trójków mikrotubul (tworząc układ 9×3). **15.9.1** Podczas podziału komórki wytwarzają włókna wrzeciona podziałowego (umożliwiającego precyzyjny podział materiału genetycznego między komórki potomne).



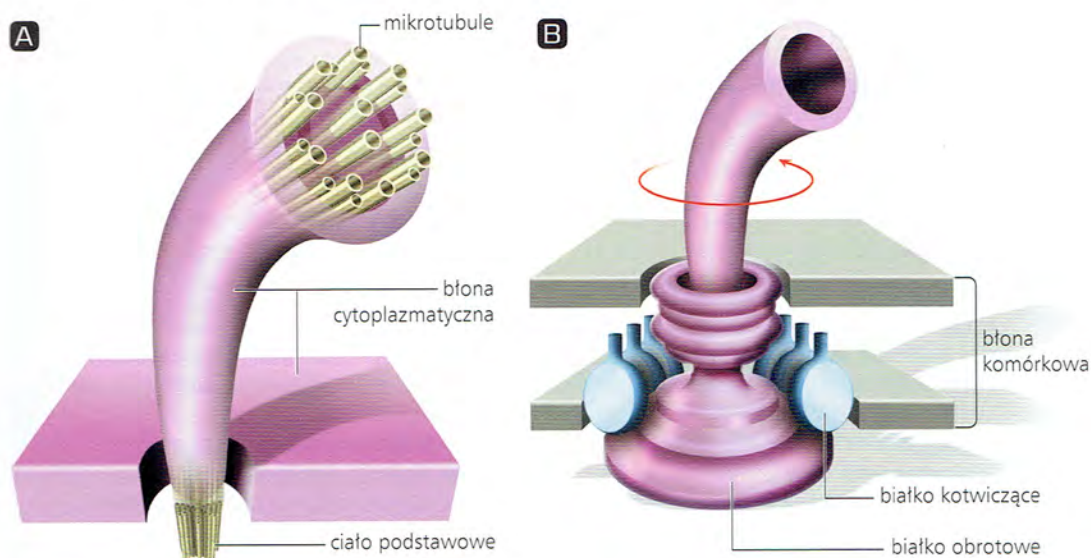
5.9. Centriole

Rzęski i wici

Mikrotubule budują też **wici** i **rzęski** pełniące funkcje lokomocyjne. W komórkach eukariotycznych **15.10.A1** są to ruchome wypustki otoczone błoną komórkową. Rzęski zazwyczaj są krótkie i występują licznie, wici natomiast są długie i mniej liczne. Wyróżnia się część ruchomą, wystającą ponad powierzchnię komórki i część wewnątrzkomórkową, złożoną z ciała podstawowego, **kinetosomu**. Budowa rzęsek i wici komórek eukariotycznych jest podobna. W centrum wici i rzęski znajduje się para mikrotubul. Jest ona otoczona przez dziewięć par mikrotubul. Mikrotubule zanurzone są w cytoplazmie komórki, a ruch rzęsek i wici

spowodowany jest przesuwaniem się mikrotubul względem siebie. Rzęski wykonują ruchy wiotkowe, wici – ruchy falowe.

Rzęski organizmów prokariotycznych **15.10.B1** zbudowane są ze spiralnie skręconych włókien flagelliny. Zakotwiczone są w ścianie komórkowej oraz częściowo w błonie komórkowej za pomocą struktury przypominającej haczyk i czterech białkowych pierścieni. Cała struktura kotwicząca rzęskę ma zdolność do ruchu i może obracać się wokół własnej osi, dzięki czemu wprawia rzęskę w ruch wirowy.



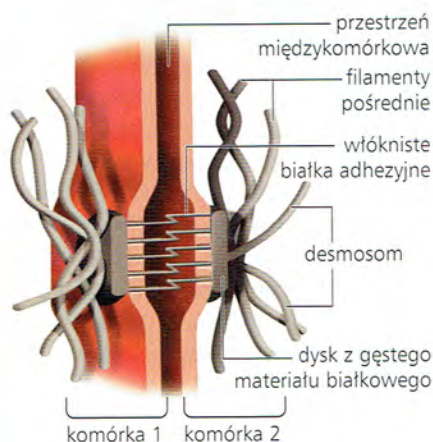
5.10. Schemat budowy rzęski w komórce: A) eukariotycznej, B) prokariotycznej

Połączenia międzykomórkowe

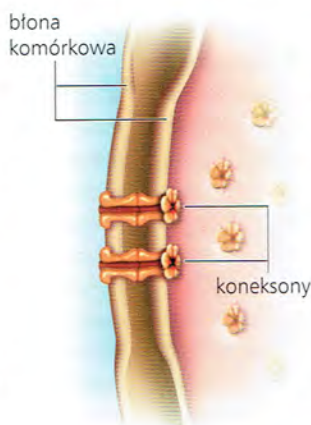
W organizmie wielokomórkowym połączenia między komórkami pozwalają na wymianę substancji i utrzymanie fizycznego kontaktu komórek. W organizmie zwierzęcym połączenia te mają postać desmosomów lub koneksonów.

Desmosomy to białkowe wypustki błon sąsiednich komórek, które zachodzą na siebie w sposób przypominający zatrzask. **5.11.1** Desmosomy łączą się z cytoszkieletem i zwiększają wytrzymałość mechaniczną komórki (występują np. w tkance nabłonkowej). **Koneksyny** to układ cienkich białkowych kanalików przebie-

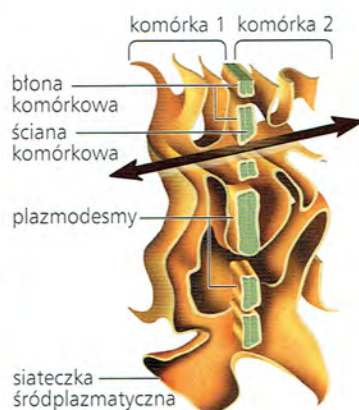
jących błony komórek. **5.12.1** Pozwalają na przenikanie między komórkami jonów i małych cząsteczek (np. cukrów). Funkcją przypominają plazmodesmy u roślin, jednak w przeciwieństwie do nich nie przenoszą białek. Występują w różnych tkankach zwierzęcych. Połączenia między komórkami roślinnymi tworzą **plazmodesmy**. **5.13.1** Są to cienkie pasma cytoplazmy (zawierające siateczkę śródplazmatyczną) łączące komórki. Plazmodesmy przechodzą przez otwory w ścianie komórkowej (jamki). Pozwalają na przepływ jonów i większych cząsteczek (np. białek).



5.11. Desmosomy



5.12. Koneksyny



5.13. Plazmodesmy

PODSUMOWANIE

- W skład komórki wchodzi organella. Niektóre obecne są w każdej komórce, inne są charakterystyczne tylko dla komórek roślinnych czy zwierzęcych.
- Wewnątrz komórki istnieje system błon powiązanych ze sobą morfologicznie i fizjologicznie.
- Między strukturami błoniastymi, takimi jak siateczka śródplazmatyczna, aparat Golgiego, lizosomy, błona komórkowa, istnieje przepływ błon.

ZADANIA

1. Zastanów się, dlaczego szorstka siateczka śródplazmatyczna znajduje się blisko jądra.
2. Lizosomy transportują enzymy trawienne. Wydostanie się tych enzymów poza lizosom mogłoby być dla komórki niebezpieczne, gdyż doprowadziłoby do strawienia jej składników. Poszukaj informacji na temat mechanizmu, który pozwala utrzymać enzymy w lizosomach w postaci nieaktywnej.
3. Mitochondria i chloroplasty biorą udział w procesach metabolicznych związanych z przemianami energii. Porównaj procesy zachodzące w tych organellach.
4. Plastydy dzielą się na różne typy w zależności od budowy i pełnionych funkcji. Jedne formy plastydów mogą w ciągu życia rośliny przechodzić w inne. Zastanów się, w jakim kierunku zachodzą przemiany plastydów podczas dojrzewania owoców i zmiany barwy liści jesienią.

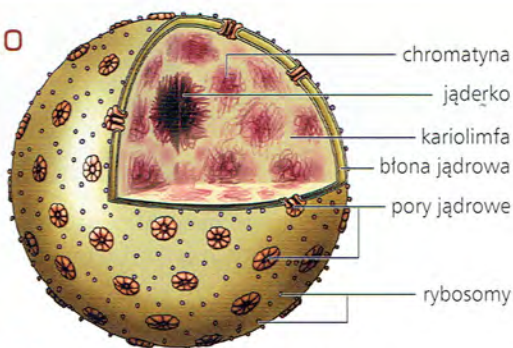
6. Budowa i funkcje jądra komórkowego. Podziały komórkowe

Jądro komórkowe można obserwować pod mikroskopem świetlnym. Na ogół położone jest centralnie, bywa jednak, że przyjmuje pozycję peryferyczną (zostaje zepchnięte na obrzeże przez np. dużą wakuolę lub inne struktury komórki). Jądro ma przeważnie kształt kulisty lub owalny, ale spotyka się komórki o odmiennym kształcie jądra. Przykładem są komórki odpornościowe (jądra makrofagów przypominają rogalik, a u niektórych leukocytów są podzielone na płaty). Komórki eukariotyczne mają na ogół jedno jądro, ale istnieją komórki zawierające ich więcej (np. dwa jądra – w komórce mięśnia sercowego lub u grzybów na niektórych etapach życia). Liczba jąder w komórce może sięgać nawet kilkuset. Komórki wielojądrowe, zwane komórczakami, powstają, gdy dochodzi do podziału jąder, a nie następuje podział cytoplazmy. Istnieją też żywe komórki, które wtórnie utraciły jądro w wyniku przystosowania do pełnienia określonych funkcji (np. erytrocyty ssaków i rurki sitowe u roślin).

Budowa jądra komórkowego

Jądro komórkowe otoczone jest podwójną błoną białkowo-lipidową. **16.1.1** Chroni ona materiał genetyczny i oddziela go od cytoplazmy. Wewnętrzna błona jest gładka, a z zewnętrzną związane są rybosomy. Obszar pomiędzy błoną zewnętrzną i wewnętrzną nosi nazwę przestrzeni okołojądrowej. W błonie jądrowej znajdują się pory, przez które jądro kontaktuje się z cytoplazmą. Liczba porów jest różna i zależy od stanu fizjologicznego komórki. Przez pory przenikają rybosomy i RNA, a także białka i hormony będące cząsteczkami sygnałowymi. Przenoszą one informację z wnętrza komórki lub spoza niej do jądra, przez co wpływają na syntezę odpowiednich, potrzebnych w danym momencie białek, a także sterują podziałami jądra i komórki. W jądrze znajduje się też jąderko – struktura nieotoczona błoną, zbudowana z RNA i białek. W jąderku zachodzi synteza rybosomalnego RNA (rRNA) i podjednostek rybosomów. Występowanie i liczba jąder w jądrze zależy od intensywności syntezy białek w komórce. Wnętrze jądra wypełnia kariolimfa (zwana też sokiem jądrowym). Jest to koloid wodny zawierający przede wszystkim białka (enzymy), matrycowy RNA (mRNA) i transportujący RNA (tRNA).

Najważniejszą częścią jądra jest materiał genetyczny zawierający informację genetyczną zapisaną w sekwencji nukleotydów w DNA (kwasie deoksyrybonukleinowym). W komórce dzielącej się materiał genetyczny ma postać **chromatyny** zbudowanej z DNA połączonego z białkami za-

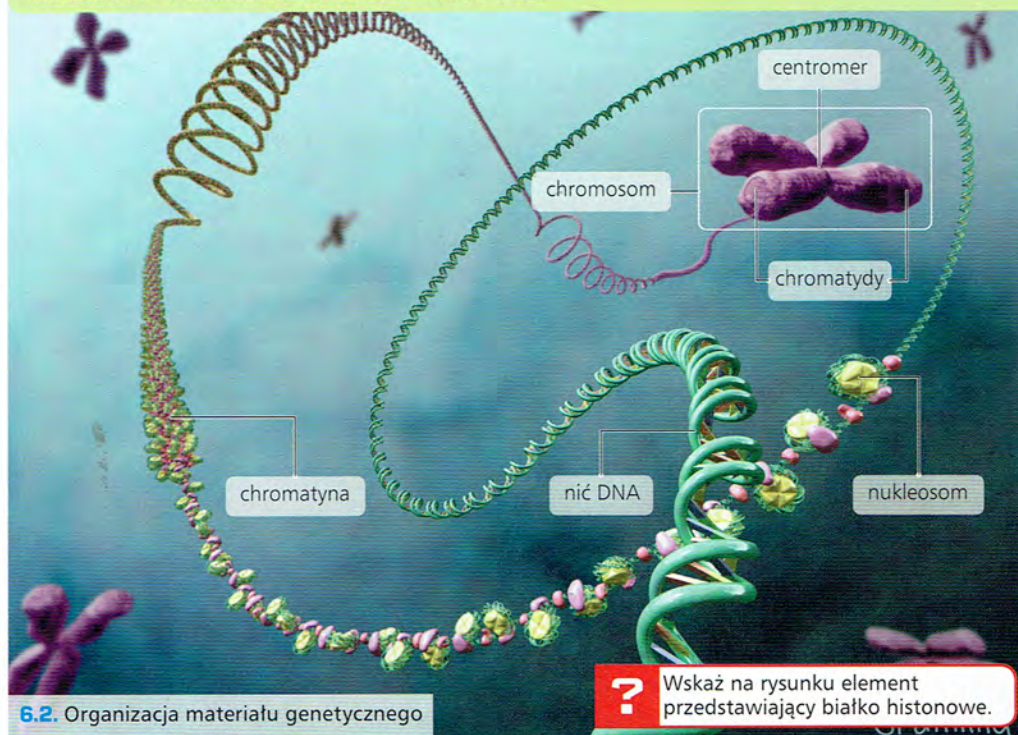


6.1. Budowa jądra komórkowego

sadowymi – histonami. **16.2.1** Pakiet 8 histonów z nawiniętym odcinkiem DNA to nukleosom. Nić chromatynowa przypomina sznur koralu nawleczonych na sznurek. Wyróżnia się aktywną genetycznie **euchromatynę** o niciach ułożonych luźno i nieaktywną genetycznie **heterochromatynę** o ciasno ułożonych niciach (tzw. chromatynę skondensowaną).

Gdy komórka wchodzi w fazę podziału, na skutek spiralizacji chromatyny (czyli jej skręcania i coraz ściślejzego upakowania) wyodrębniają się **chromosomy**.

Chromosomy kształtują się na początku podziału jądra, już po replikacji (podwojeniu) DNA. Pojedynczy chromosom składa się z dwóch **chromatyd siostrzanych**, z których każda zawiera tę samą informację genetyczną. Chromatyd połączony jest centromerem (przewężeniem pierwotnym). W niektórych chromosomach występuje przewężenie wtórne – fragment DNA zwany organizatorem jąderka.



6.2. Organizacja materiału genetycznego

Po podziale jądra rejon organizatorów jąderka tworzą jąderko. Rejon chromosomu powyżej organizatora jąderka zwany jest satelitą. Na końcach chromosomów znajdują się telomery zapobiegające ich skracaniu podczas replikacji (a co za tym idzie – utracie części informacji genetycznej). Liczba chromosomów w komórce jest charakterystyczna dla gatunku.

Liczbę chromosomów określa się literą n . W komórkach diploidalnych ($2n$) chromosomy występują parami, tworząc **chromosomy homologiczne**. Jeden chromosom każdej pary pochodzi od organizmu matczynego, drugi – od ojcowskiego. Komórki haploidalne ($1n$) posiadają tylko po jednym chromosomie homologicznym z każdej pary.

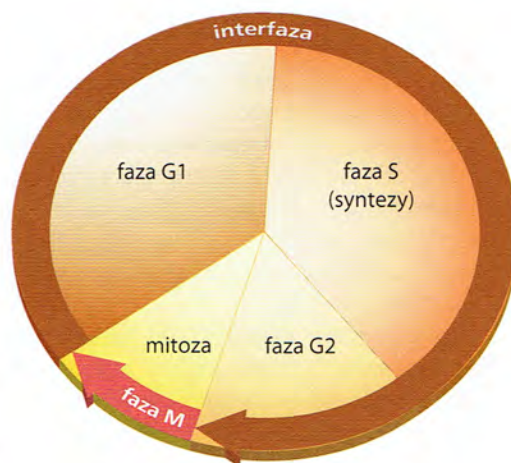
Cykl komórkowy

Cykl życiowy 16.3.1 komórki to ciąg następujących po sobie etapów, przez które przechodzi komórka od momentu jej powstania do zakończenia podziału na dwie komórki potomne. W cyklu tym wyróżnia się dwie podstawowe fazy: **interfazę** (fazę spoczynkową, czyli okres pomiędzy dwoma podziałami komórki) oraz **podział komórki**. Przeciętnie interfaza stanowi około 90% cyklu, a podział – 10%.

Interfaza dzieli się na trzy etapy.

Faza G1 – następuje po podziale komórki, jest to etap intensywnej syntezy białek potrzebnych komórce do wzrostu.

Faza S – w jej trakcie dochodzi do replikacji DNA. Liczba cząsteczek DNA ulega podwojeniu (ilość DNA zawartą w komórce haploidalnej



6.3. Cykl komórkowy

określa się jako c ; komórka diploidalna zawiera więc materiał genetyczny w ilości $2c$, a po replikacji – $4c$).

Faza G2 – na tym etapie zwiększa się synteza białek i liczba centrioli w komórkach zwierzęcych, pojawiają się zawiązki wrzeciona podziałowego (kariokinetycznego), które warunkuje precyzyjne rozdzielanie chromosomów. U roślin wrzeciono powstaje bez udziału centrioli. Zachodzą podziały organelli półautonomicznych – mitochondriów i chloroplastów.

Na podział komórki składają się dwa etapy: **kariokineza** (czyli podział jądra, w którym wyróżnia się profazę, metafazę, anafazę, telofazę) i **cytokineza** (podział cytoplazmy).

Ze względu na sposób dzielenia jądra komórkowego wyróżniamy mitotyczny i meiotyczny podział komórkowy. **Mitoza** zachodzi w komórkach somatycznych organizmów. **16.4.1** W wyniku mitozy z jednej komórki macierzystej powstają dwie komórki potomne. Bezpośrednio po podziale są mniejsze od komórki macierzystej, ale mają taką samą jak ona liczbę chromosomów w jądrze. Mitoza umożliwia wzrost organizmu i jego regenerację. W cyklu komórkowym nie zmienia się liczba chromosomów (n). Po mitozie z komórki diploidalnej powstaje komórka diploidalna, a z haploidalnej – haploidalna.

Przebieg mitozy

Kariokineza:

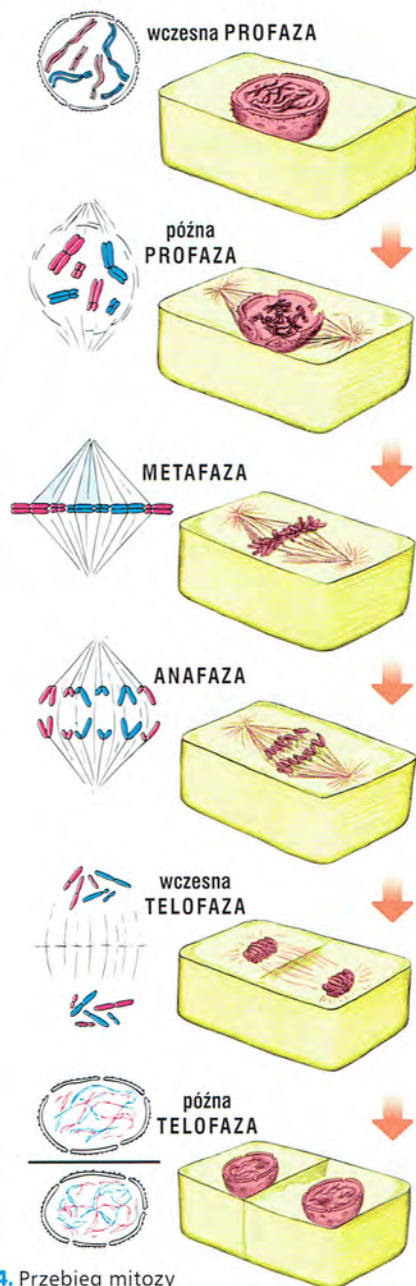
- profaza – spiralizacja chromatyny, rozchodzenie się centrioli do biegunów komórki i formowanie wrzeciona podziałowego, zanik błony jądrowej i jąderka (prometafaza);
- metafaza – połączenie wrzeciona podziałowego z centromerem chromosomu, ustawienie się chromosomów w płaszczyźnie równikowej komórki;
- anafaza – skracanie wrzeciona podziałowego, pęknięcie centromerów i wędrowka chromatyd (chromosomów potomnych) do przeciwnych biegunów komórki, rozdzielanie organelli;
- telofaza – powstanie błony jądrowej i jąderka, despiralizacja chromosomów.

Cytokineza:

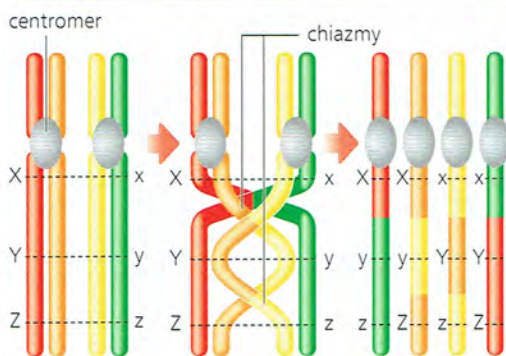
- podział cytoplazmy i organelli, powstanie dwóch komórek potomnych (rozpoczyna się w telofazie).

Czas trwania cyklu komórkowego wybranych komórek eukariotycznych

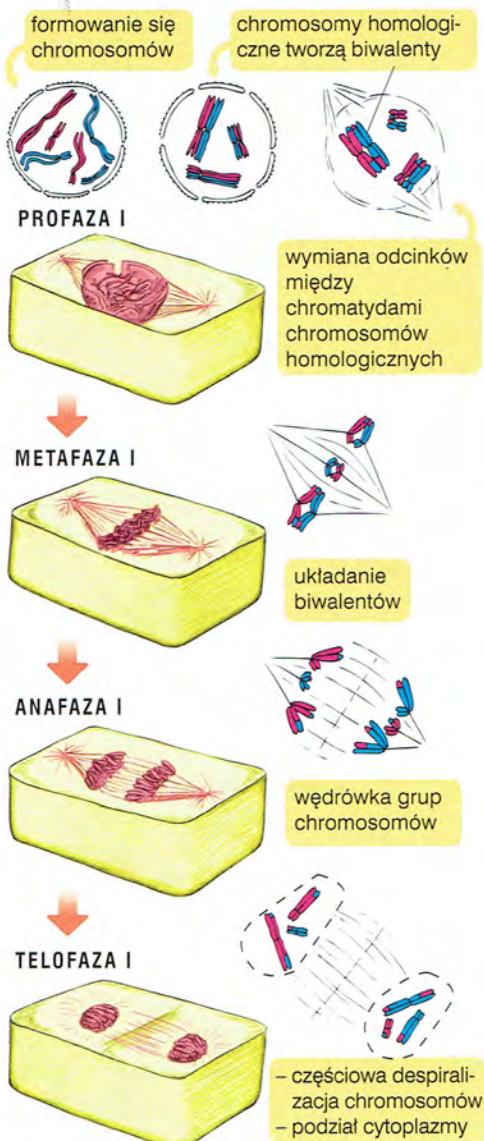
Typ komórki	Czas trwania cyklu
komórki embrionalne żaby	30 min
komórki drożdży	1,5 h
komórki nabłonka jelita	mniej niż 12 h
komórki macierzyste krwinek	mniej niż 12 h
komórki wątroby	ok. 1 roku



6.4. Przebieg mitozy



6.5. Proces *crossing-over* (literami oznaczono wybrane geny na chromosomach homologicznych)



6.6. Przebieg pierwszego podziału meiotycznego

Mejoza zachodzi w komórkach diploidalnych. Podział ten prowadzi do redukcji liczby chromosomów – z jednej komórki diploidalnej powstają cztery komórki haploidalne. Mejoza poprzedza wytwarzanie gamet u zwierząt oraz wytwarzanie zarodników u roślin i niektórych grzybów. To między innymi dzięki mejozie możliwa jest zmienność genetyczna organizmów. Ponadto w profazie pierwszego podziału tworzą się bivalenty (pary chromosomów homologicznych). W obrębie bivalentów zachodzi proces ***crossing-over*** **16.5.1** – wymiana odcinków chromatyd między chromosomami homologicznymi. Powstają zrekombinowane (zmienione) chromosomy.

Mejoza składa się z dwóch podziałów. Pierwszy zwany jest redukcyjnym. **16.6.1** W komórce diploidalnej (2C) przed mejozą zachodzi replikacja, w wyniku której liczba cząsteczek DNA zwiększa się do 4C. Po pierwszym podziale liczba chromosomów maleje o połowę (do 2C). Drugi podział meiotyczny ma przebieg podobny do podziału mitotycznego: dochodzi do podziału chromosomów na pojedyncze chromatydy, które trafiają do komórek potomnych. **16.7.1**

Przebieg pierwszego podziału meiotycznego

Kariokineza:

- profaza I – spiralizacja chromatyny, centriole rozchodzą się do biegunów komórki, chromosomy homologiczne tworzą bivalenty, zachodzi proces *crossing-over*, zanik błony jądrowej i jąderka (prometafaza);
- metafaza I – tworzenie się wrzeciona podziałowego, które łączy się z centromerami, bivalenty układają się w płaszczyźnie równikowej komórki;
- anafaza I – skracanie włókien wrzeciona podziałowego, grupy chromosomów wędrują do biegunów komórki;
- telofaza I – zanik wrzeciona podziałowego, powstanie otoczki jądrowej i jąderka, despiralizacja chromosomów, powstanie jąder potomnych o zredukowanej o połowę liczbie chromosomów.

Cytokineza:

- podział cytoplazmy i organelli, czasem powstanie dwóch komórek potomnych.

Przebieg drugiego podziału meiotycznego

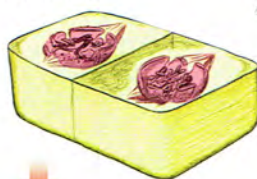
Kariokineza:

- profaza II – formowanie się chromosomów, rozejście się centrioli do biegunów komórki, zanik błony jądrowej i jąderka (prometafaza);
- metafaza II – powstanie wrzeciona podziałowego, układanie chromosomów na płaszczyźnie równikowej komórki;
- anafaza II – skracanie wrzeciona podziałowego, chromatydy wędrują do biegunów komórki;
- telofaza II – każda z chromatyd staje się chromosomem jednego z czterech powstałych jąder potomnych, despiralizacja chromosomów i odtworzenie błony jądrowej i jąder.

Cytokineza:

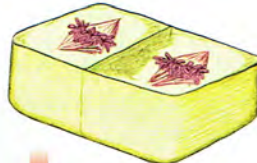
- podział cytoplazmy i organelli, powstanie czterech komórek potomnych.

PROFAZA II



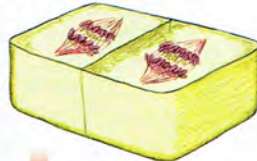
formowanie się chromosomów

METAFAZA II



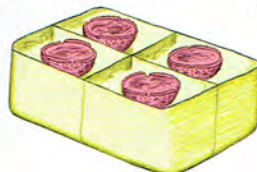
układanie chromosomów

ANAFAZA II



wędrowka grup chromosomów potomnych

TELOFAZA II



– despiralizacja chromosomów
– podział cytoplazmy

6.7. Przebieg drugiego podziału meiotycznego

PODSUMOWANIE



- Jądro występuje tylko w komórkach eukariotycznych.
- Większość komórek ma jedno jądro, istnieją jednak komórki wielojądrowe lub pozbawione wtórnie jądra.
- Materiał genetyczny jądra w stanie spoczynku występuje w postaci chromatyny, podczas podziału jądra – w postaci chromosomów.
- Jądro steruje pracą komórki, odpowiada za jej metabolizm, wzrost i podziały.
- Mitoza zachodzi w komórkach somatycznych. W wyniku mitozy powstają dwie komórki potomne o tej samej liczbie chromosomów co komórka macierzysta i tej samej informacji genetycznej.
- Mejoza jest podziałem prowadzącym do powstania komórek o liczbie chromosomów zredukowanej o połowę.

ZADANIA



1. Omów budowę jądra komórkowego.
2. Znajdź w dostępnych źródłach przykłady komórek mających wiele jąder oraz takich, które wtórnie utraciły jądro.
3. Zastanów się, jakie konsekwencje dla komórki może mieć wtórna utrata jądra.
4. Stwórz tabelę porównującą etapy mitozy i pierwszego podziału meiotycznego.
5. Gamety pewnego organizmu mają 16 chromosomów. Określ:
 - a) jaka jest diploidalna liczba chromosomów tego organizmu;
 - b) ile par chromosomów homologicznych utworzy się w profazie pierwszego podziału meiotycznego;
 - c) ile chromatyd będzie widocznych podczas metafazy mitozy;
 - d) ile białentów ustawi się w płaszczyźnie równikowej komórki podczas metafazy pierwszego podziału meiotycznego.

BIBLIOGRAFIA



Alberts B., Bray D., Hopkin K., Johnson A., Lewis J., Raff M., Roberts K., Walter P., Podstawy biologii komórki, Warszawa 2007.

Zadanie 1. (3 pkt)

W komórkach roślin, grzybów i niektórych protistów może występować jedna duża wakuola lub kilka mniejszych.

Podaj przykłady trzech funkcji, jakie wakuola może pełnić w komórce.

- 1.
- 2.
- 3.

Zadanie 2. (3 pkt)

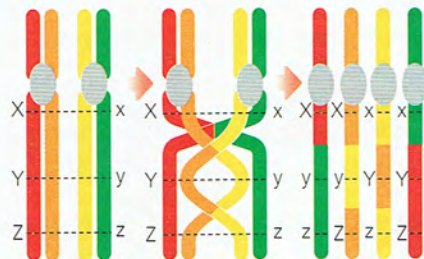
Podaj trzy cechy mitochondriów i plastydów świadczące o ich endosymbiotycznym pochodzeniu.

- 1.
- 2.
- 3.

Zadanie 3. (3 pkt)

Rysunek przedstawia pewien proces zachodzący podczas podziału mejotycznego komórki.

Nazwij ten proces. W której fazie podziału komórki zachodzi? Określ znaczenie tego procesu dla organizmów.

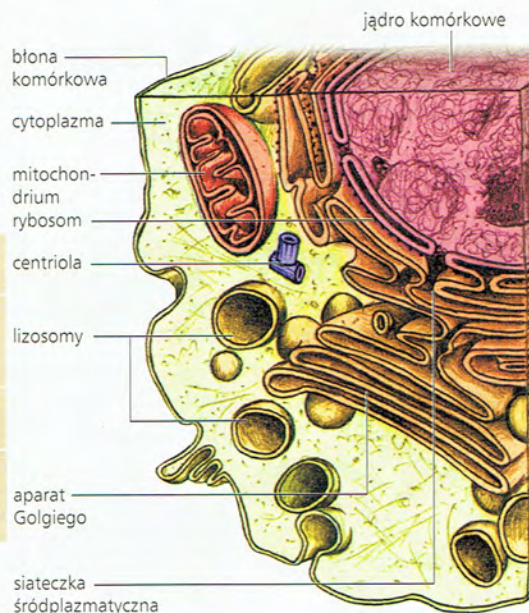


Zadanie 4. (2 pkt)

Rysunek przedstawia budowę komórki zwierzęcej.

Uzupełnij tabelę, dopasowując do zamieszczonego opisu właściwą nazwę organelli.

1. Uczestniczy w procesie trawienia wewnątrzkomórkowego.	
2. Odgrywają rolę w procesie cytokinezy i w syntezie wrzeciona podziałowego.	
3. Bierze udział w modyfikowaniu białek.	
4. Wytworzona w tej organelli energia jest gromadzona w ATP.	

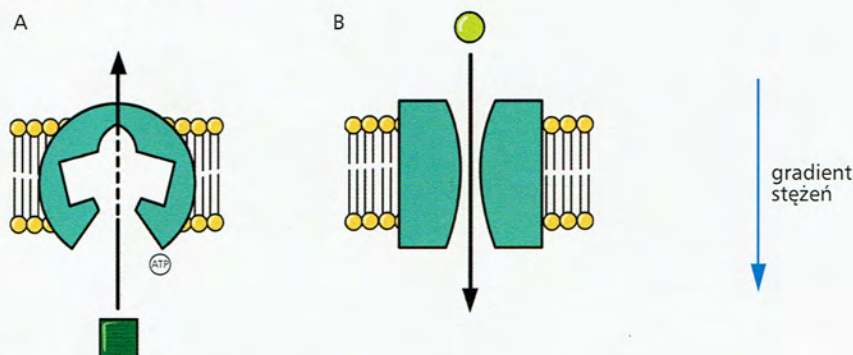


Zadanie 5. (2 pkt)

Rysunek przedstawia model budowy aparatu Golgiego.

Wymień trzy jego funkcje w komórce.

- 1.
- 2.
- 3.

Zadanie 6. (2 pkt)

Rysunki przedstawiają dwa rodzaje transportu substancji przez błonę.

Podpisz rysunki, wstawiając nazwy procesów transportu. Podaj jedną zasadniczą różnicę pomiędzy pokazanymi rodzajami transportu.

Zadanie 7. (3 pkt)

Komórka prokariotyczna różni się budową od komórki eukariotycznej.

Napisz, na czym polegają te różnice w następujących strukturach:

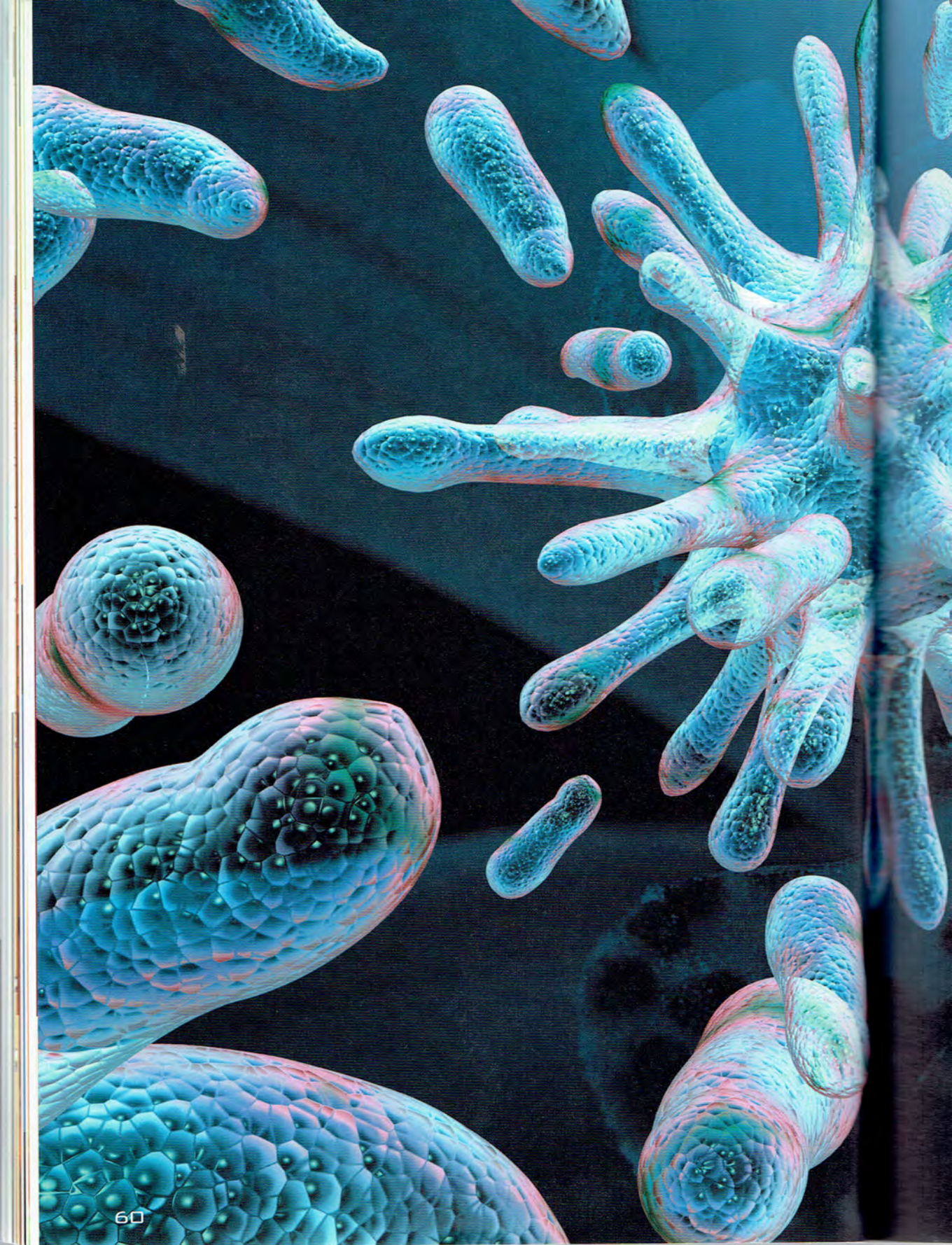
- A. rybosomy
- B. mitochondrium
- C. błona komórkowa
- D. ściana komórkowa

Zadanie 8. (2 pkt)

Ściana wtórna może ulegać modyfikacji za pomocą inkrustacji lub adkrustacji.

Podaj zasadniczą różnicę pomiędzy wymienionymi procesami. Poniższe nazwy substancji podziel na takie, które biorą udział w adkrustacji, i na takie, które uczestniczą w inkrustacji.

lignina (drzewnik), suberyna, kutyna, krzemionka (SiO_2), woski, węglan wapnia (CaCO_3)



PRZEGLĄD
RÓŻNORODNOŚCI
ORGANICZNYCH
FORM
BEZKOMÓRKOWYCH
I PROSTYCH FORM
KOMÓRKOWYCH

- 7|Budowa wirusów
- 8|Namnażanie się wirusów. Wybrane choroby wirusowe
- 9|Budowa komórki bakteryjnej
- 10|Funkcje życiowe bakterii. Wybrane choroby bakteryjne
- 11|Budowa i procesy życiowe protistów
- 12|Podział i charakterystyka poszczególnych grup glonów
- 13|Protisty chorobotwórcze

7. Budowa wirusów

Wirusy określane są jako **bezwzględne pasożyty wewnątrzkomórkowe**, cechą ich jest bowiem zdolność do wykorzystywania mechanizmów biochemicznych komórek gospodarza. W planie budowy wirusów brak struktur charakterystycznych dla komórek prokariotycznych i eukariotycznych, nie zachodzą w nich również procesy metaboliczne. Pod względem biologicznym nie można zaklasyfikować wirusów do organizmów żywych, dlatego że poza komórką żywiciela nie wykazują one żadnych cech materii ożywionej i nie są zdolne do replikacji. Ponieważ jednak ich szkodliwy wpływ na organizmy żywe jest trudny do pominięcia, wirusologia jest intensywnie rozwijającą się dziedziną biologii i medycyny.

Bezkomórkowe formy życia

Pod względem biochemicznym wirusy zbudowane są jedynie z kwasów nukleinowych oraz białka, a ich wielkość waha się od 15 do 600 nanometrów. Są one zatem niewiele większe niż materiał genetyczny, który w sobie niosą. Niewielkie rozmiary oraz złożona budowa DNA i RNA przez długie lata hamowały rozwój wirusologii. Przełom nastąpił dopiero w XX wieku wraz z wynalezieniem **mikroskopii elektronowej** oraz wprowadzeniem penicyliny do praktyki medycznej. Antybiotyki wykazujące działanie bakteriobójcze pozostawały nieskuteczne w odniesieniu do wirusów. Otworzyło to drogę dla nowych pomysłów dotyczących charakteru i budowy tych wewnątrzkomórkowych pasożytów.

Sformułowano wiele teorii dotyczących powstania wirusów. Jedną z nich zakłada, iż wirusy są cząstkami organicznymi, które wymknęły się spod kontroli komórki. Zbędne fragmenty materiału genetycznego stopniowo się różnicowały, podlegały mutacjom oraz procesom selekcji



naturalnej, by w końcu całkowicie uniezależnić się od komórki macierzystej. Inna teoria, mająca odniesienie głównie do dużych wirusów o złożonej budowie (jak np. wirus ospy), proponuje, aby wirusy traktować jako uproszczone organizmy pasożytnicze, które zdobywały energię potrzebną do życia bezpośrednio od żywiciela. Dzięki takiemu układowi mogły pozwolić sobie na utratę większości enzymów, szlaków metabolicznych i struktur komórkowych, a pozostawiały jedynie maksymalnie zredukowany materiał genetyczny, zapewniający ciągłość gatunku.

Porównanie wielkości wirusów i bakterii



Struktura wirionu

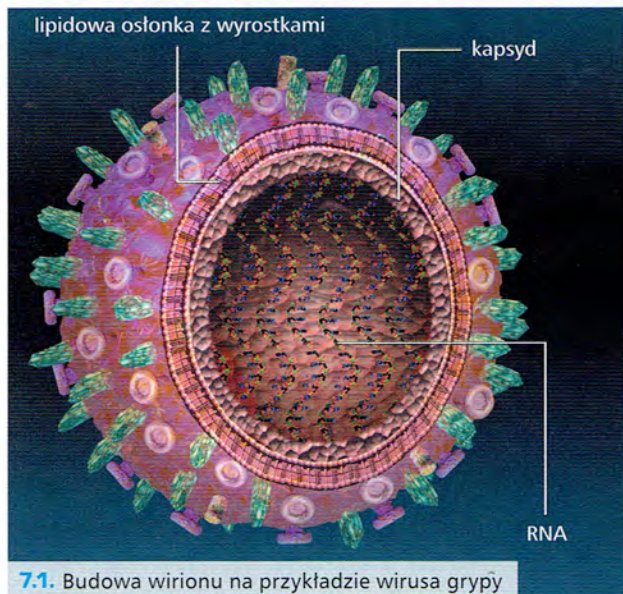
Słowo *virus* w języku łacińskim oznacza po prostu „jad”. Przez setki lat określenie to oznaczało niezakaźne czynniki szkodliwe dla organizmów żywych (tzn. toksyny bakteryjne, jad węży oraz trucizny roślinne). Od czasu badań prowadzonych przez Ludwika Pasteura słowo „wirus” odnosi się głównie do czynnika zakaźnego rozumianego jako patogen działający w danym środowisku. Pojedyncza, odrębna cząstka wirusa nosi nazwę **wirionu**. [7.1.] Wirion składa się z materiału genetycznego zamkniętego w **kapsydzie** zbudowanym z jednostek białkowych (**kapsomerów**). Kwas nukleinowy wraz z otaczającym go kapsydem to **nukleokapsyd**. Kapsomery tworzące kapsyd mogą składać się z identycznych polipeptydów lub być zróżnicowane pod względem ich składu, co jest typowe dla dużych wirusów.

Charakterystyczną cechą wirusów jest homogenność ich materiału genetycznego. Znaczy to, że występuje w nim tylko DNA lub RNA (nigdy oba kwasy nukleinowe jednocześnie). Jest to jedno z podstawowych kryteriów klasyfikacji wirusów.

Nukleokapsyd z zewnątrz może być otoczony osłonką lub pozostawać nagi. Osłonka zewnętrzna ma charakter dwuwarstwowej błony białkowo-lipidowej pochodzącej z błony komórkowej komórki gospodarza. Wirus „wypasa” w otoczkę każdą kopię wirionu w trakcie uwalniania z komórki. Osłonka wirusowa może być dodatkowo wyposażona w liczne glikoproteiny kodowane przez



Omów budowę wirionu i wykaż, że jest ona przystosowaniem do skrajnego pasożytnictwa.

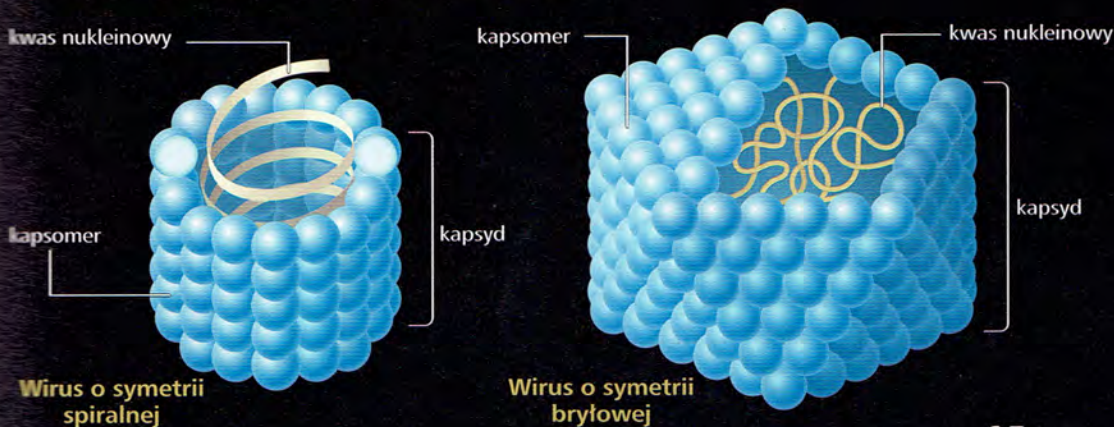


7.1. Budowa wirionu na przykładzie wirusa grypy

genom wirusowy, odgrywające znaczącą rolę w rozpoznawaniu komórki gospodarza, adhezji, wnikanii oraz uwalnianiu z komórki.

W zależności od kształtu kapsydu większość znanych wirusów możemy podzielić na dwie grupy: wirusy o symetrii bryłowej lub spiralnej (pałeczkowatej). Wirusy o symetrii bryłowej najczęściej mają postać dwudziestościanu foremego złożonego z trójkątnych płaszczyzn. Wirusy o symetrii spiralnej (np. wirus mozaiki tytoniu) budową przypominają klatkę schodową, w której rolę schodów odgrywają białka kapsydu, a wewnętrzny rdzeń jest tworzony przez kwas nukleinowy obecny w wirusie.

Symetryczna budowa wirusów



Klasyfikacja wirusów

Pomimo niejasnego pochodzenia wirusów udało się stworzyć w miarę przejrzysty system ich klasyfikowania, opierający się na kilku podstawowych kryteriach:

- 1) rodzaju posiadanego kwasu nukleinowego (podział na wirusy DNA lub RNA),
- 2) ilości nici kwasu nukleinowego występujących w pojedynczej cząstce wirionu (każdy z rodzajów kwasu nukleinowego może występować zarówno w formie jedno-, jak i dwuniciowej),
- 3) strukturze nukleokapsydu (bryłowa lub spiralna),
- 4) obecności zewnętrznej osłonki lipidowej lub jej braku,
- 5) docelowej grupie organizmów zakażanych przez wirusa (podział na wirusy zwierzęce, roślinne i bakteriofagi).

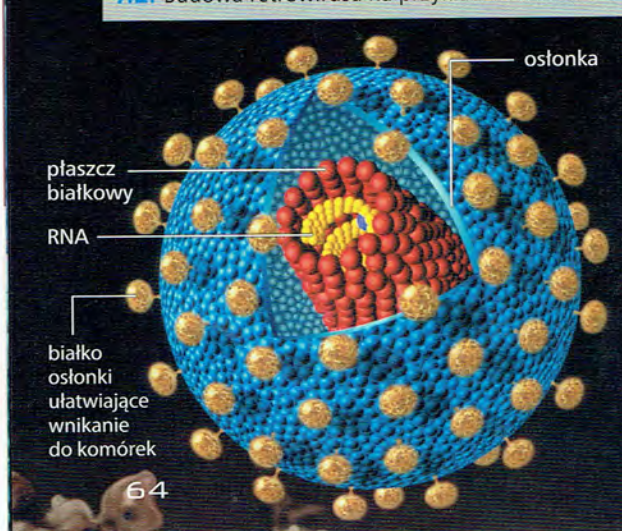
Wirusy zwierzęce są grupą najbardziej zróżnicowaną pod względem kształtu i rozmiaru. Materiał genetyczny stanowią w równym stopniu RNA (wirus polio, różyczki, grypy, odry, wścieklizny, HIV, Ebola, marburgski, rotawirus), jak i DNA (wirus brodawczaka ludzkiego, opryszczki, krowianki, wirusowego zapalenia wątroby typu B, adenowirusy). Wiele z nich ma białkowo-lipidową osłonkę wspomagającą rozpoznawanie receptorów błonowych komórek gospodarza. Zakażenie wirusem zwierzęcym najczęściej występuje w wyniku kontaktu z zakażonym osobnikiem. Istotne znaczenie mają tu okres ekspozycji, dawka wirusa, jak również jego zjadliwość. Wirusy zwierzęce rozprzestrzeniają się najczęściej drogą kropelkową (grypa, odra,

ospa wietrzna), pokarmową (polio), poprzez kontakt seksualny (HIV, opryszczka narządów rodnych), drogą transfuzji krwi (HIV, WZW B) lub w wyniku przerywania powłok skórnych (wirus wścieklizny). Nierzadko wirusy wykorzystują również do rozprzestrzeniania **wektory** zwierzęce, takie jak owady pijące krew (komary, pchły) czy pajęczaki (kleszcze). W trakcie wnikiwania do komórki żywiciela osłonka wirusowa ulega złaniu z błoną komórkową gospodarza, a kapsyd wnika do wnętrza komórki.

Retrowirusy (*Retroviridae*) są to wirusy zwierzęce wyposażone w jednoniciowe RNA. **17.2.1** Charakterystyczną cechą tego typu wirusów jest obecność aktywnego enzymu **odwrotnej transkryptazy** (rewertazy). Enzym ten potrafi dokonać transkrypcji RNA na DNA! Do czasu odkrycia tego enzymu uważano, że jedynym kierunkiem przepływu informacji genetycznej jest przepisanie jej z DNA na RNA. Z jednoniciowej cząsteczki RNA polimeraza tworzy dwuniciową cząsteczkę DNA. Po włączeniu w genom gospodarza, na skutek czynnika fizykochemicznego pochodzącego z zewnątrz, po pewnym czasie następuje ekspresja materiału wirusowego, jego dojrzewanie, składanie, a na końcu – uwalnianie z komórki. Przykładem retrowirusa jest wirus HIV, który atakuje głównie komórki limfocytów, co prowadzi do poważnych uszkodzeń układu immunologicznego.

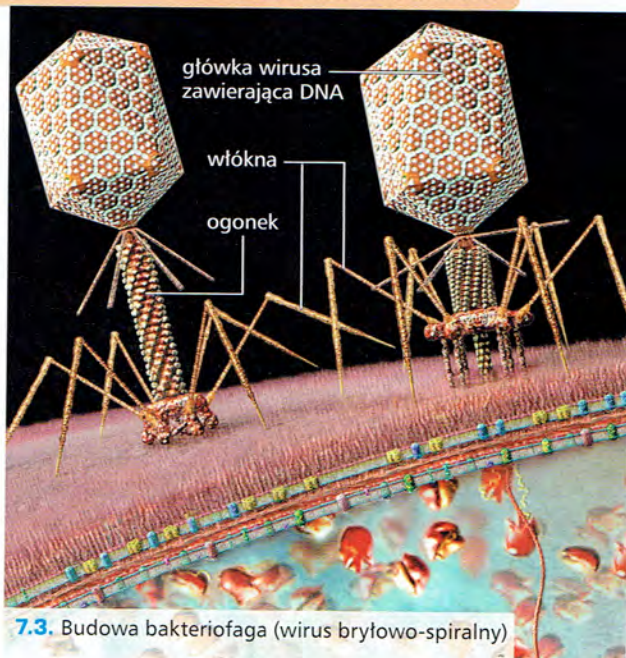
Wirusy roślinne w zdecydowanej większości mają wydłużony nukleokapsyd o symetrii helikalnej, a ich materiał genetyczny stanowi RNA. W przeciwieństwie do zwierzęcych, wirusy roślinne nie są zdolne do samodzielnej penetracji komórek zakażanej rośliny ze względu na obecność w niej sztywnej ściany komórkowej zbudowanej z celulozy. Wnikanie do komórek może zostać zapoczątkowane jedynie, gdy ściana komórkowa zostanie uszkodzona mechanicznie (np. przez żerujące owady). Przenikanie wirusów do sąsiednich komórek odbywa się przez plazmodesmy. Objawem infekcji są najczęściej przebarwienia na liściach (tzw. mozaikowość), choć czasami infekcja wirusowa może prowadzić do uschnięcia całych pędów rośliny. Nazewnictwo wirusów roślinnych jest uzależnione

7.2. Budowa retrowirusa na przykładzie wirusa HIV



od rodzaju obserwowanych zmian (np. wirus mozaiki ogórka, wirus pstrzości tulipana, wirus mozaiki tytoniu, wirus żółtej karłowatości cebuli, wirus kędzierzawki ziemniaka).

Bakteriofagi (zwane również fagami) [7.3.1] są szczególnym typem wirusów infekujących komórki bakterii, przy czym dany gatunek bakterii jest zarażany przez swoiste dla niego bakteriofagi (przykładem może być bakteriofag T4 infekujący komórki pałeczki okrężnicy – *Escherichia coli*). Podobnie jak u wirusów zwierzęcych także fagowy materiał genetyczny może stanowić DNA lub RNA (jedno- lub dwuniciowy). W przeciwieństwie do wirusów roślinnych fagi potrafią samodzielnie uszkadzać ścianę komórkową bakterii. Inaczej niż u wirusów zakażających organizmy eukariotyczne kapsyd wirusowy pozostaje na zewnątrz komórki, a do wnętrza bakterii wnika jedynie materiał genetyczny wirusa.



7.3. Budowa bakteriofaga (wirus bryłowo-spiralny)

PODSUMOWANIE

- Wiriony to cząstki wirusowe, które składają się z kwasu nukleinowego (DNA lub RNA) otoczonego kapsydem złożonym z białkowych podjednostek – kapsomerów.
- Niektóre gatunki wirusów mają na zewnątrz kapsydu białkowo-lipidową osłonkę pochodzącą z błony komórkowej zainfekowanej komórki.
- Wirusy nie mogą być traktowane jako organizmy żywe, ponieważ nie wykazują większości cech typowych dla materii ożywionej: nie przeprowadzają procesów metabolicznych, nie odżywiają się, nie rosną, nie wykazują zdolności do aktywnego ruchu. Jediną cechą łączącą je ze światem organizmów żywych jest zdolność do powielania się (namnażania), która zachodzi wyłącznie w żywej komórce gospodarza.
- Klasyfikacja wirusów najczęściej opiera się na kilku kryteriach, jakimi są: rodzaj kwasu nukleinowego wirusa i jego polarność, symetria kapsydu, obecność osłonki oraz docelowa grupa organizmów atakowana przez wirusa (wirusy bakteryjne, zwierzęce, roślinne).

ZADANIA

1. Omów i porównaj dwie hipotezy starające się wyjaśnić pochodzenie wirusów.
2. Oceń, jakie znaczenie dla zdolności rozprzestrzeniania się wirusów ma ich wyposażenie w zewnętrzną osłonkę pochodzącą z błony komórki gospodarza.
3. W trakcie badań nad strukturą wirusa HIV odkryto enzym zwany odwrotną transkryptazą. Jakie znaczenie dla rozwoju nauk biologicznych miało odkrycie tego enzymu?
4. Ze względu na rodzaj zarażanych organizmów wirusy dzielimy na: zwierzęce, roślinne oraz bakteriofagi. W której z tych grup wirusy napotykać największe problemy z penetracją do wnętrza komórek i czym to jest spowodowane?
5. Na podstawie dostępnych źródeł oceń zasadność przyjmowania antybiotyków w trakcie infekcji wirusowej (np. podczas grypy) i wyszczególnij konsekwencje takiego działania.

W INTERNECIE

<http://www.johnkyrk.com/virus.html>



8. Namnażanie się wirusów. Wybrane choroby wirusowe

Wirusy zwierzęce. niezależnie od ich zjadliwości oraz tempa rozwoju choroby, charakteryzuje zbliżony schemat cyklu rozwojowego. Można w nim wyróżnić kilka etapów.

Etapy namnażania się wirusów

1. **Adsorpcja** (przyłączanie). **18.1.1** Wirus jest zdolny zainfekować wyłącznie komórki mające na powierzchni swoiste receptory pasujące do danego gatunku wirusa. Kiedy wirus napotka taką komórkę, przyłącza się do niej (adsorbuje), co jest warunkiem zajścia kolejnych etapów jego replikacji.

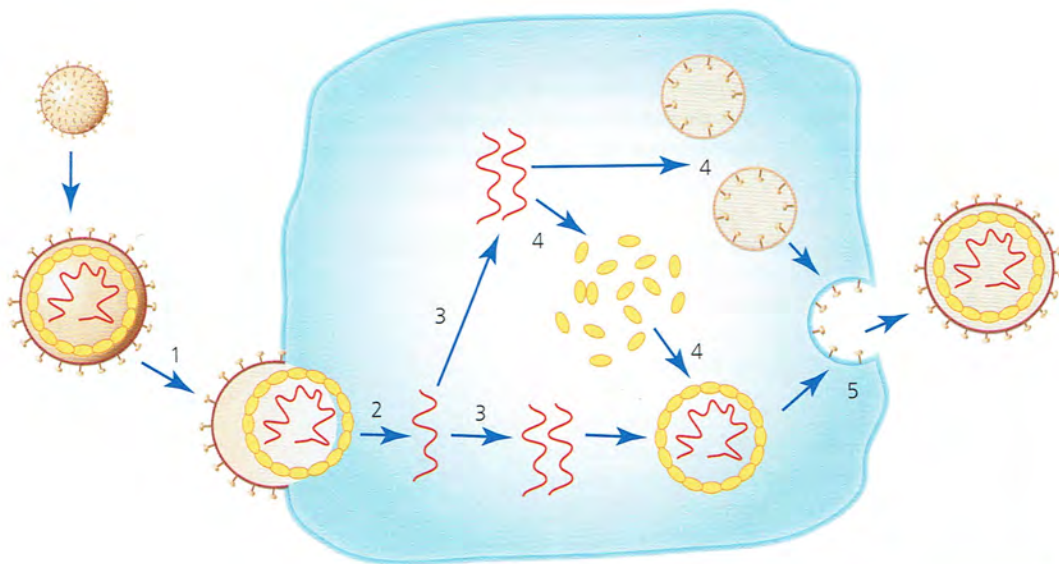
2. **Penetracja** (wnikanie). Kiedy cząstki wirusowe ulegną adsorpcji na powierzchni komórki, zostają wchłonięte do jej wnętrza na drodze pinocytozy. Zaraz po wnikięciu wirusa do komórki następuje usunięcie białkowego kapsydu otaczającego materiał genetyczny wirusa.

3. **Replikacja** (powielanie) elementów składowych wirusa. Na tym etapie wirus przejmuje całkowitą kontrolę nad aparatem metabolicz-

nym komórki gospodarza: uruchamia syntezę białek kapsydu i replikację swego materiału genetycznego.

4. **Składanie** dojrzałych form wirusa. Na tym etapie wszystkie białka tworzące kapsyd wirusa oraz jego materiał genetyczny (powielony w wielu egzemplarzach w drodze replikacji) są wykorzystywane do skonstruowania nowych zakaźnych cząstek wirusa.

5. **Uwalnianie**. Dojrzałe cząstki wirusowe (wiriony) opuszczają zakażoną komórkę, niszcząc jej błonę komórkową, w drodze pączkowania lub egzocytozy. W tym ostatnim wypadku dojrzałe cząstki wirusowe są uwalniane na zewnątrz bez lizy (zniszczenia) komórki (przykładem takiego wirusa jest wirus ospy wietrznej i półpaśca).



8.1. Schemat namnażania wirusa



Przeanalizuj ilustrację przedstawiającą namnażanie wirusa.

Fazy replikacji bakteriofagów są takie same jak wirusów zwierzęcych, jednak ich cykl replikacyjny jest zazwyczaj znacznie krótszy. Może on przebiegać szlakiem lizogenicznym lub litycznym. **18.2.1** Proces zwany **lizogenią** polega na tym, że kwas nukleinowy faga wbudowuje się do genomu bakterii. Wirus w takiej postaci nosi nazwę **profaga** i przez wiele pokoleń może być przenoszony w obrębie danej grupy bakterii, nie powodując przy tym zniszczenia komórki gospodarza. Pewne czynniki fizyczne lub chemiczne (promieniowanie UV, nadtlenek wodoru) mogą przerwać stan lizogenii, czyli uruchomić proces replikacji, składania i uwalniania cząstek wirusowych. Bakteriofag przechodzi wówczas w cykl **lityczny**, kończący się śmiercią zainfekowanej komórki.

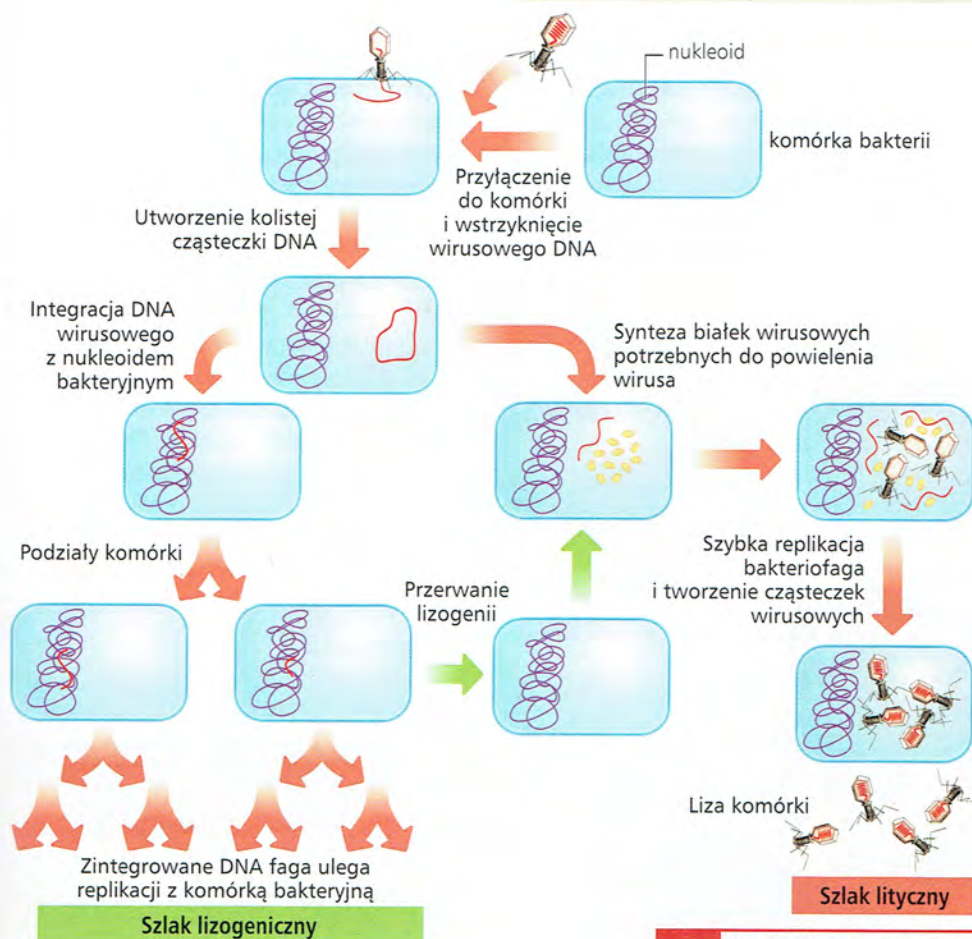
:: Ciekawostka

Komórki mogą reagować na działanie patogenu (w tym na zarażenie wirusem) w różny sposób: **Nekroza** (martwica) – komórka ulega zniszczeniu; w infekcjach wirusowych dochodzi do tego w wyniku uwolnienia wirusa.

Apoptoza – samobójcza, zaprogramowana śmierć komórki. Komórka ginie, zanim dojdzie do pełnego złożenia cząstek wirusa. Proces ten przerywa cykl replikacyjny wirusa.

Infekcja latentna (utajona) – brak objawów działania patogenu mimo jego obecności w organizmie. W infekcjach wirusowych wirus pozostaje związany z genomem komórki, nie uwalniając się ani nie niszcząc jej.

Transformacja nowotworowa – komórka ulega przekształceniu w komórkę nowotworową.



8.2. Porównanie cyklu lizogenicznego faga i litycznego faga T4



Przeanalizuj i porównaj cykle lizogiczny i lityczny.

Choroby wirusowe

Wirusowe zapalenie wątroby typu A (WZW A)

18.3.1

Do zakażenia dochodzi w wyniku przedostania się wirusów obecnych w kale do układu pokarmowego. Czas wylegania choroby waha się od 2 do 6 tygodni. Objawy zakażenia to gorączka, złe samopoczucie i brak apetytu. Czasem choroba przebiega bezobjawowo. Dopiero później pojawia się żółtaczka. Pierwotne objawy mijają po tygodniu, a żółtaczka zanika po miesiącu. Zapobieganie rozprzestrzenianiu się choroby polega głównie na dbałości o higienę osobistą.

Wirusowe zapalenie wątroby typu B (WZW B)

18.4.1

Zakażenie WZW B następuje wyłącznie poprzez płyny ustrojowe i krew. Chorobę cechuje duża zakaźność. Rozwój choroby trwa od 2 do 3 miesięcy, po czym pojawiają się pierwotne objawy zbliżone do WZW typu A, a następnie żółtaczka (ustępująca po miesiącu). W przypadku około 10% zakażonych choroba przechodzi w fazę nosicielstwa, która przyczynia się do rozwoju marskości wątroby lub raka wątroby. Na całym świecie rocznie z powodu tej choroby umiera 250 000 osób. W profilaktyce stosuje się szczepienia ochronne.



8.3. Wirus WZW A



8.6. Wirus grypy



8.4. Wirus WZW B



8.5. Wirus WZW C

Wirusowe zapalenie wątroby typu C (WZW C)

18.5.1

Chorobę wywołuje wirus HCV (*Hepatitis C Virus*). Ostre objawowe zapalenie wątroby typu C rozpoznawane jest tylko u około 60% zakażonych. Do zakażenia dochodzi najczęściej poprzez krew (transfuzje, zabiegi chirurgiczne), przez kontakt płciowy (rzadko) oraz w czasie porodu (matka może zakażyć dziecko). Czas inkubacji choroby wynosi od 6 do 8 tygodni. U 50% zakażonych dochodzi do utajenia objawów i przejścia choroby w stan przewlekły. Może to prowadzić do marskości wątroby, a w późniejszym stadium – do raka wątroby. Ważna jest profilaktyka, czyli okresowe badanie krwi i zachowanie warunków ścisłej higieny w oddziałach szpitalnych.

Grypa (influenza) 18.6.1

Istnieją trzy odmiany wirusów grypy: A, B oraz C, przy czym w zakażeniach ludzi najważniejszą rolę odgrywają wirusy A i B. Wirus rozprzestrzenia się drogą kropelkową. Po trwającym trzy dni okresie inkubacji choroba objawia się gorączką, dreszczami, bólem głowy i mięśni. Trwa zwykle około 3 dni, chociaż u osób starszych okres ten może ulec znacznemu wydłużeniu. Cechą charakterystyczną wirusa grypy jest jego zmienność. Jeśli jedna komórka zostanie zarażona dwoma różnymi wirusami grypy, może dojść do wymiany odcinków RNA pomiędzy nimi, co może prowadzić do powstania nowej odmiany wirusa. W profilaktyce zaleca się szczepienia ochronne i unikanie kontaktu z chorymi.

:: Ciekawostka

Przykłady największych pandemii grypy w XX wieku:

Lata	Szczep wirusa	Nazwa potoczna	Liczba ofiar
1918–1919	A / H1N1	grypa hiszpanka	od 20 do 50 mln
1957–1958	A / H2N2	grypa azjatycka	ok. 1,5 mln
1968–1970	A / H3N2	grypa Hongkong	ok. 1 mln
1977–1978	A / H1N1	grypa rosyjska	brak danych

Zakażenie wirusem brodawczaka ludzkiego (*Human Papilloma Virus*, HPV)

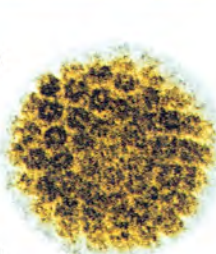
Ocenia się, że blisko 50% ludzkiej populacji przeszło zakażenie wirusem HPV. **[8.7.1]** Drogą zakażenia jest kontakt seksualny lub kontakt z naskórkiem. Objawem choroby jest między innymi powstawanie brodawek skórnych zwanych potocznie kurczakami. Mogą one się tworzyć na całej powierzchni ciała. Często są łagodne zmiany w okolicy narządów rodnych oraz rzadziej zmiany o charakterze nowotworów złośliwych (rak szyjki macicy). Od roku 2006 w Polsce jest dostępna szczepionka przeciwko najczęstszym odmianom wirusa mogącym powodować raka szyjki macicy. Największą skuteczność uzyskuje ona u dziewczyn, które nie miały jeszcze kontaktu z wirusem HPV.

Różyczka

Choroba najczęściej występuje u dzieci w wieku szkolnym. Okres inkubacji wynosi od 2 do 3 tygodni. Przebieg choroby jest zazwyczaj łagodny, z niewielką gorączką i wysypką, która znika po około 3 dniach. Różyczka **[8.8.1]** najbardziej niebezpieczna jest dla płodów, zwłaszcza w pierwszym trymestrze ciąży. Jeśli matka nie miała wcześniej kontaktu z wirusem (nie ma w surowicy przeciwciał), może dojść do poronienia lub urodzenia dziecka z licznymi wadami rozwojowymi. Należą do nich: uszkodzenie słuchu, uszkodzenie wzroku (zaćma, jaskra), uszkodzenie wątroby oraz serca. Szczepienie przeciwko różyczce jest obowiązkowe około 14 miesiąca życia oraz w wieku 10 lat (jako dawka przypominająca).

Wścieklizna

Wirus wścieklizny **[8.9.1]** (*Lyssavirus sp.*) rozprzestrzenia się poprzez ślinę zarażonego zwierzęcia. Wirus przedostaje się do mózgu poprzez nerwy obwodowe. Okres wylegania wynosi od 10 dni



8.7. Wirus HPV



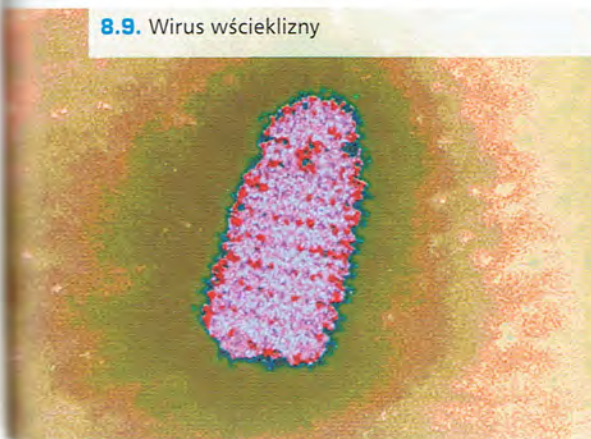
8.8. Wirus różyczki

do ponad roku. Pierwsze objawy zakażenia to wysoka gorączka i rozdrażnienie. Następnie choroba przyjmuje jedną z dwóch postaci. W 80% przypadków jest to tzw. wścieklizna pobudzeniowa, w której u chorego występują stany lękowe, gorączka i wodowstręt. U 20% przypadków rozwija się wścieklizna porażenna, objawiająca się paraliżem na skutek zajęcia rdzenia kręgowego. Osobom, u których nie pojawiły się jeszcze objawy choroby, podaje się serię szczepionek w mięsień ramienny. Jeśli wystąpią właściwe objawy, rokowanie jest zazwyczaj bardzo złe. Wśród działań profilaktycznych bardzo ważne są obowiązkowe szczepienia psów i dzikich zwierząt, szczepieniom poddają się również osoby z grupy wysokiego ryzyka (np. weterynarze, leśnicy).

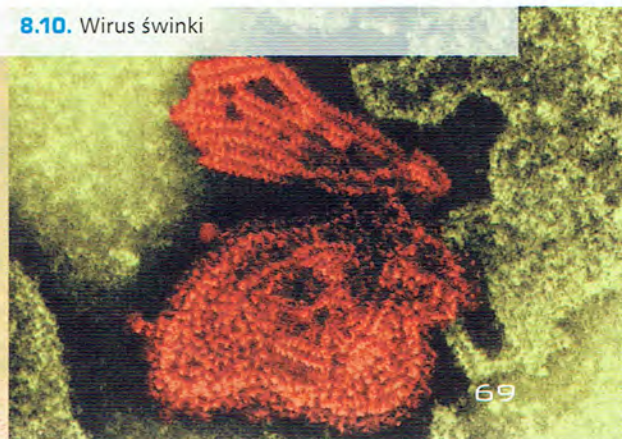
Świnka (nagminne zapalenie ślinianek) **[8.10.1]**

Wirus należy do tej samej rodziny, co wirus odry. Świnka jest bardzo zakaźna. Szerzy się drogą kropelkową. Okres inkubacji wirusa wynosi około 3 tygodni. Pierwsze objawy choroby to złe samopoczucie i gorączka. Wkrótce potem dołączają do nich powiększenie jednej lub obu ślinianek przyusznych. U 20% mężczyzn rozwija się również zapalenie jąder, które może w pewnych wypadkach prowadzić do częściowego ich zaniku lub bezpłodności. W profilaktyce stosuje się szczepienia ochronne i unikanie kontaktu z chorymi.

8.9. Wirus wścieklizny



8.10. Wirus świnki





8.11. Wirus ospy wietrznej



8.13. Wirus odrzy

Ospa wietrzna

Ospa jest najczęstszą chorobą wieku dziecięcego. **18.11.1** Przenosi się drogą kropelkową. Okres wylegania wynosi około dwóch tygodni. U dzieci wysypkę poprzedza stan podgorączkowy. Objawy choroby u osób dorosłych są z reguły znacznie cięższe. Wysypka ma postać płaskich plam rozsianych na całej powierzchni ciała. Ulegają one następnie przekształceniu w pęcherzyki. U niektórych pacjentów wirus przechodzi w formę utajoną: umiejscawia się w nerwach czuciowych. U osób dorosłych, które przebyły ospę wietrzną w dzieciństwie, może w późniejszym wieku dojść do nawrotu choroby w postaci półpaśca. Istnieje szczepionka przeciwko ospie wietrznej, nie należy ona jednak do obowiązkowych.

Choroba Heinego–Medina

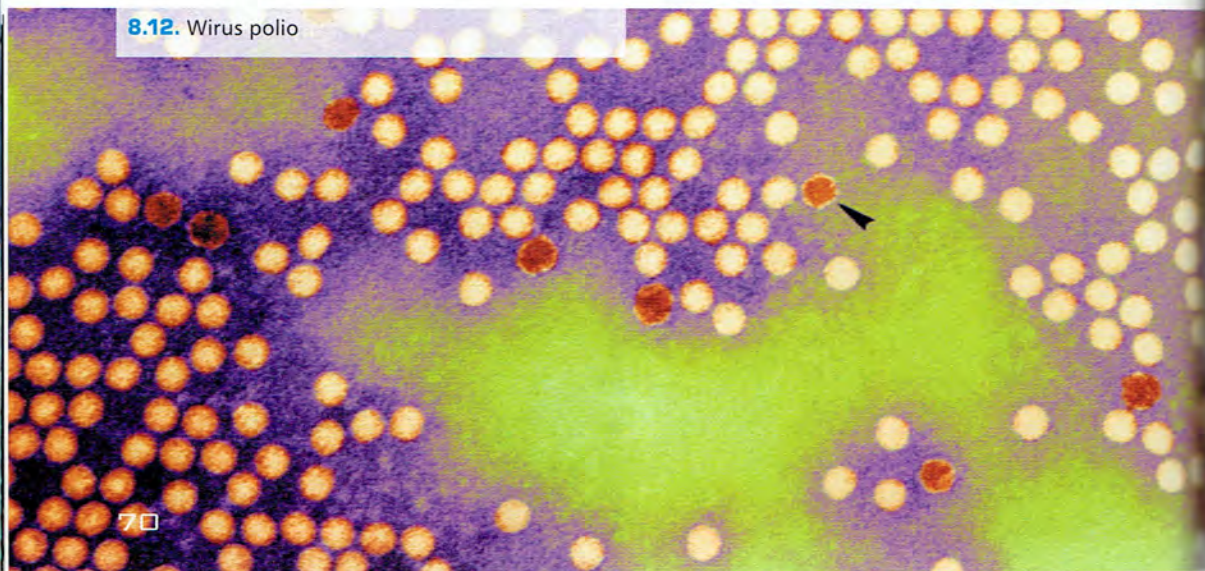
Chorobę wywołuje wirus polio (*Poliovirus*). **18.12.1** Do zakażenia dochodzi przez przedostanie się wirusów obecnych w kale do układu pokarmowego. Czas inkubacji wynosi zwykle od 7 do 14 dni. Infekcja w 90–95% przebiega bez-

objawowo. Pełnoobjawowa postać objawia się wysoką gorączką, sztywnością karku, niepokojem i trwa około tygodnia. W około 1% przypadków rozwija się postać porażenna, obejmującą mięśnie kończyn. Zaatakowaniu ulegają neurony ruchowe. Wprowadzenie obowiązkowych szczepień ochronnych spowodowało, iż w roku 1994 ogłoszono całkowitą eliminację wirusa w Ameryce Północnej, a w 2004 roku – w Europie.

Odra

Wirus **18.13.1** rozprzestrzenia się drogą kropelkową. Po około 2 tygodniach od zakażenia na twarzy, tułowi i kończynach pojawia się wysypka. Na błonie śluzowej policzków pojawiają się białe przebarwienia (plamki Koplika). Oprócz nich występują wysoka gorączka (ok. 40°C) i objawy charakterystyczne dla zapalenia płuc i oskrzeli. Po kilku dniach gorączka ustępuje, podobnie jak objawy zapalenia płuc. Naskórek w miejscu wystąpienia wysypki ulega złuszczeniu. Infekcja wirusem odrzy daje odporność na całe życie. Obecnie małe dzieci podlegają obowiązkowym szczepieniom przeciwko odrze.

8.12. Wirus polio

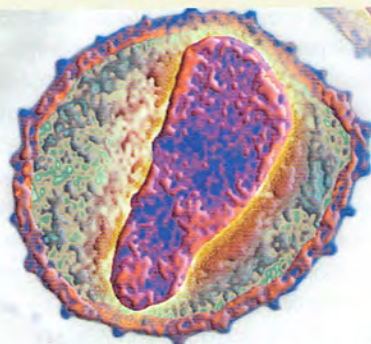


AIDS

Chorobę wywołuje wirus HIV. **18.14.1** Do zakażenia dochodzi poprzez krew i płyny ustrojowe (np. sperma). Początkowo, w ciągu kilku pierwszych dni po zakażeniu, często dochodzi do rozwoju ostrej choroby retrowirusowej. Jej objawy przypominają grypę (powiększenie węzłów chłonnych, gorączka, bóle mięśni). Następnie choroba wchodzi w fazę bezobjawową mogącą trwać nawet kilka lat. W tym czasie wirus atakuje komórki układu odpornościowego – limfocyty. Po pewnym czasie populacja limfocytów spada do poziomu tak niskiego, że układ immunologiczny nie jest w stanie chronić organizmu przed drobnoustrojami. Stan taki nazywamy AIDS (ang. *Acquired Immunodeficiency Syndrome*). Chory umiera na skutek rozwijających się w organizmie procesów nowotworowych i nawracających infekcji układu oddechowego. Aktualnie nie ma opracowanej metody całkowitego pozbycia się wirusa. Najczęściej stosowaną metodą leczenia jest terapia antyretrowirusowa (HAART). Polega ona na podawaniu mieszanki leków działających na różne etapy cyklu rozwojowego wirusa. Pozwala to na stopniową odbudowę układu odpornościowego. Terapia HAART jest bardzo kosztowna, ale w większości krajów europejskich (w tym i w Polsce) podlega refundacji.

:: Ciekawostka

Znany jest przypadek całkowitego usunięcia wirusa HIV z organizmu. Lekarze Thomas Schneider oraz Gero Hütter z berlińskiej Akademii Medycznej Charite poddali leczeniu pacjenta cierpiącego na białaczkę, będącego jednocześnie nosicielem wirusa HIV. Dawca szpiku kostnego był genetycznie odporny na HIV (tę cechę wykazuje 3% populacji europejskiej). Dwadzieścia miesięcy po transplantacji szpiku najbardziej czułe testy nie wykazały obecności wirusa w organizmie pacjenta.



8.14. Wirus HIV

PODSUMOWANIE

- W cyklu życiowym wirusa zwierzęcego wyróżniamy etapy: adsorpcji, penetracji, replikacji, składania, uwalniania.
- U bakteriofagów występuje cykl lizogeniczny, który nie powoduje śmierci komórki bakteryjnej, lub cykl lityczny, w którym następuje śmierć komórki gospodarza.
- Do zakażenia wirusem może dochodzić drogą kropelkową, pokarmową lub płciową.
- W profilaktyce chorób wirusowych bardzo ważne jest przestrzeganie kalendarza szczepień.

ZADANIA

1. Scharakteryzuj objawy kliniczne trzech chorób wirusowych, do zakażenia którymi może dojść drogą kontaktu seksualnego.
2. Która z chorób wirusowych powszechnie występujących u człowieka może być przyczyną bezpłodności u mężczyzn?
3. Który z wirusów powodujących wirusowe zakażenie wątroby jest twoim zdaniem najgroźniejszy dla człowieka? Podaj stosowne argumenty na poparcie swojej opinii.

W INTERNECIE

<http://www.biotechnolog.pl/wirusologia-hiv-aids.html>

9. Budowa komórki bakteryjnej

Ziemia jest planetą tętniącą życiem. Jego przejawy możemy odnaleźć niemal wszędzie, nawet w miejscach wydających się na pierwszy rzut oka jałową pustynią. Jednak nasza planeta nie zawsze tak wyglądała.

Najmniejsze żywe organizmy

Od momentu powstania Ziemi około 4,5 miliarda lat temu przez długi czas w oceanach zachodziła jedynie ewolucja w skali chemicznej. Z podstawowych związków nieorganicznych zaczęły tworzyć się proste związki organiczne, które dały początek **protobiontom**, czyli samoreplikującym (samopowielającym) się zespołom kwasów nukleinowych i białek. Z nich to dopiero 3,8 miliarda lat temu wyewoluowały pierwsze jednokomórkowe organizmy mające wiele cech wspólnych z dzisiejszymi bakteriami (m.in. prostą budowę i niewielkie rozmiary). Podobnie jak one nie miały jądra komórkowego, choć miały już materiał genetyczny w postaci DNA. Dzięki niemu mogły replikować się, przekazując komórkom potomnym cechy stanowiące wyraz adaptacji do warunków środowiska. Najbardziej pierwotna grupa organizmów prokariotycznych uległa rozdzieleniu na dwie główne linie. Pierwszą z nich stanowią bakterie właściwe (*Eubacteria*), do których zaliczamy większość typowych dziś form morfologicznych bakterii. Są wśród nich także sinice, zdolne do fotosyntezy. Drugą grupą są natomiast archeany



:: Ciekawostka

Filogeneza to termin określający ewolucyjną drogę rozwoju gatunku lub grupy systematycznej. Obejmuje czas od momentu pojawienia się organizmów do czasów współczesnych lub do momentu wymarcia. **Takson** to grupa organizmów filogenetycznie spokrewnionych, na tyle odmiennych od pozostałych grup, że można je wyróżnić poprzez nadanie im odrębnej nazwy. W zależności od rangi taksonu wyróżniamy **nazwy gatunkowe** jednoczłonowe (uninominalne), opisujące taksony rangi powyżej gatunku, i nazwy dwuczłonowe (binominalne), określające łacińską nazwę gatunku. Nazwa gatunku składa się z dwóch członów: nazwy rodzajowej i gatunkowej (*Homo sapiens*).

Formy morfologiczne bakterii

Formy kuliste

Dwoinki | dwoinka zapalenia płuc (*Diplococcus pneumoniae*)

Gronkowce | gronkowiec złocisty (*Staphylococcus aureus*)

Paciorkowce | paciorkowiec zieleniający (*Streptococcus viridans*)

Pakietowce | pakietowiec żółty (*Micrococcus luteus*)



Przedstaw różnice między formami morfologicznymi bakterii.

Formy spiralne

Śrubowce | śrubowiec mniejszy (*Spirillum minus*)

Krętki | krętek błądy (*Treponema pallidum*)

(*Archaeobacteria*), które zachowały wiele cech prymitywnych, jak na przykład zdolność do życia w ekstremalnych środowiskach. Archeany nie mają również ściany komórkowej charakterystycznej dla pozostałych bakterii. Przypuszcza się, że to właśnie

one mogły stać się punktem wyjścia do rozwoju komórek eukariotycznych. Jednym z argumentów przemawiających za tą teorią jest fakt, że materiał genetyczny archeanów ma budowę podobną do spotykanej u organizmów jądrowych.

Budowa komórki bakteryjnej

Komórki bakterii są z reguły znacznie mniejsze niż komórki eukariotyczne – większość ma kształt wydłużony o średnicy nieprzekraczającej $0,5\ \mu\text{m}$, przy długości sięgającej $10\ \mu\text{m}$, a więc na granicy rozdzielczości mikroskopu świetlnego. Pod względem morfologicznym bakterie są bardzo zróżnicowaną grupą organizmów. Różnią się wielkością, kształtem, budową ściany komórkowej, obecnością rzęsek czy zdolnością do wytwarzania endospor. Budowa wewnętrzna bakterii jest prostsza w porównaniu z eukariontami. W komórce prokariotycznej brak jądra komórkowego, retikulum endoplazmatycznego, aparatów Golgiego, wakuol, mitochondriów czy chloroplastów. W centralnej części komórki zlokalizowany jest **genofor**, czyli kuliście zamknięta cząsteczka DNA stanowiąca swoisty „**chromosom**” bakteryjny. Wraz z cytoplazmą, w której jest zanurzony, tworzy on **nukleoid**. **19.1.1** Poza nukleoidem niektóre bakterie mają mniejsze, kolistą cząsteczki DNA zwane **plazmidami**. Ulegają one autonomicznemu powielaniu i odpowiadają za wytwarzanie otoczki bakteryjnej oraz oporność na antybiotyki. Materiałem zapasowym u bak-

terii jest glikogen i wolutyna, a u sinic – skrobia sinicowa. Centralny obszar cytoplazmy, w którym zlokalizowany jest nukleoid, jest również skupiskiem dużej liczby **rybosomów** bakteryjnych, zawierających RNA i odpowiadających za syntezę białek. Cytoplazma bakterii z zewnątrz otoczona jest przez podwójną błonę białkowo-lipidową, której budowa jest bardzo zbliżona pod względem składu i funkcji do błony komórkowej eukariontów. Po zewnętrznej stronie błony komórkowej większość bakterii wytwarza **ściannę komórkową** zbudowaną z peptydoglikanu zwanego **mureiną**. Mureina pełni głównie funkcje mechaniczne – chroni komórkę bakterii przed urazami oraz skutkami zmian osmotycznych. Znaczne różnice w budowie i grubości ściany komórkowej stały się podstawą do podziału bakterii na **Gram-dodatnie** i **Gram-ujemne**. Ściana komórkowa bakterii Gram-dodatnich jest zdecydowanie grubsza, natomiast u bakterii Gram-ujemnych ma bardziej skomplikowaną budowę (bakterie te wytwarzają dodatkową błonę zewnętrzną, składającą się z pojedynczej warstwy fosfolipidów oraz lipopolisacharydu).

Formy wydłużone

Pałeczki | pałeczka okrężnicy (*Escherichia coli*)

Przecinkowce | przecinkowiec cholery (*Vibrio cholerae*)

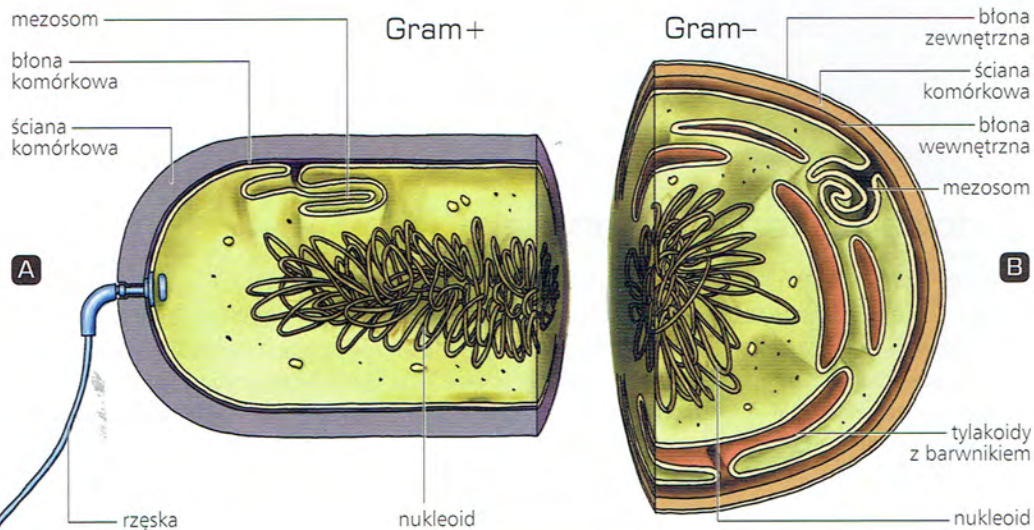
Laseczki | laseczka wąglika (*Bacillus anthracis*), laseczka tężca (*Clostridium tetani*)

Maczugowce | maczugowiec błonicy (*Corynebacterium diphtheriae*)

Formy rozgałęzione

Prątki | prątek gruźlicy (*Mycobacterium tuberculosis*)

Promieniowce | promieniowiec promienicy (*Actinomyces bovis*)



9.1. Budowa komórki bakteryjnej:
A) cudzożywnej, B) samożywnej



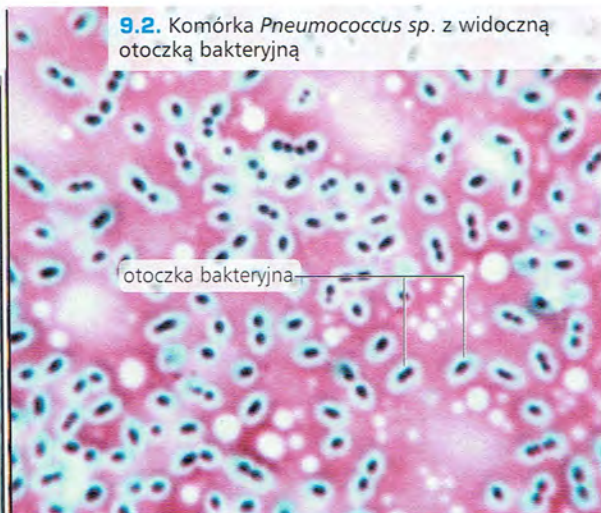
Jakie różnice w budowie komórki bakterii cudzożywnej i samożywnej można zaobserwować na ilustracji?

Otoczka bakteryjna

Wiele gatunków bakterii potrafi syntetyzować na zewnętrznej stronie komórki **otoczkę bakteryjną**.

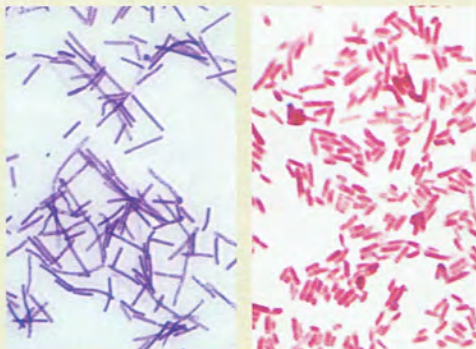
9.2.1 Zbudowana jest ona w większości z polisacharydów, a jej rola polega głównie na ochronie bakterii przed niekorzystnymi warunkami środowiska lub pochłonięciem w drodze fagocytozy przez komórki żerne układu immunologicznego. Pełni również znaczącą rolę w wykształceniu mechanizmów oporności na antybiotyki.

9.2. Komórka *Pneumococcus sp.* z widoczną otoczką bakteryjną



:: Ciekawostka

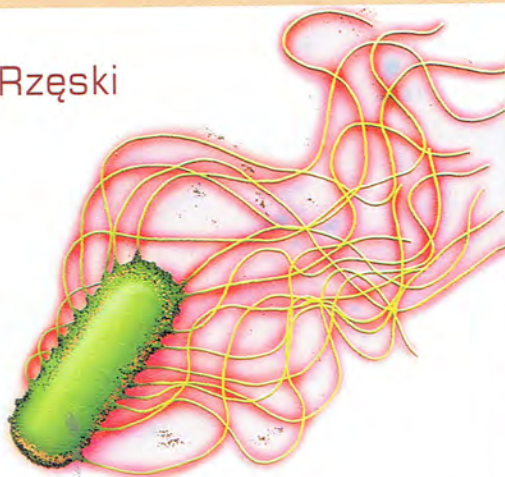
Duński bakteriolog **Hans Gram** zaproponował w 1884 roku metodę różnicowania bakterii za pomocą zestawu barwników (fioletu krystalicznego, fuksyny zasadowej). Metoda ta pozwala na rozpoznanie bakterii o grubej ścianie komórkowej (Gram-dodatnich), które barwią się na fioletowo, i bakterii o cienkiej ścianie komórkowej (Gram-ujemnych), które barwią się na czerwono. Oprócz wymienionych istnieje grupa bakterii (np. prątki), która nie ulega barwieniu metodą Grama.



Gram+

Gram-

Rzęski



9.3. Komórka bakterii wyposażona w rzęski

Większość bakterii o kształcie wydłużonym (pałeczki i laseczki) posiada zdolność do ruchu, co jest możliwe dzięki rzęskom. **19.3.1** Rzęska bakteryjna różni się zasadniczo od wici spotykanych u eukariontów. Jest zbudowana ze spiralnie skręconego białka zwanego **flageliną**, które tworzy długie włókna. Jest też zazwyczaj wielokrotnie dłuższa niż komórka bakterii. Rzęski zakotwiczone są w ścianie oraz (częściowo) w błonie komórkowej. Cała struktura kotwicząca może obracać się wokół własnej osi, wprowadzając rzęskę w ruch śrubowy.

:: Ciekawostka

Dzięki badaniom prowadzonym na bakterii *E. coli* przez francuskiego biologa François Jacoba (ur. w 1920 r.) udało się dokonać bardzo ważnego odkrycia w dziedzinie biologii molekularnej, za które w 1965 roku Jacob wraz z dwoma innymi naukowcami: Jakiem Monodem i André Lwoffem otrzymali Nagrodę Nobla. Badacze odkryli operon, czyli mechanizm regulacji genów. Operon to grupa genów położonych obok siebie na nici DNA, która występuje tylko u organizmów prokariotycznych. Geny tworzące operon stanowią pewną całość, wyrażoną w postaci wspólnej transkrypcji i systemu regulującego ten proces. W skład operonu wchodzi dwie grupy genów: geny strukturalne (kodujące część



steczki białek, w tym również enzymów) oraz geny niekodujące (pełniące funkcję regulatorową). Operon odgrywa istotną rolę w metabolizmie komórek – reguluje czasową produkcję enzymów.

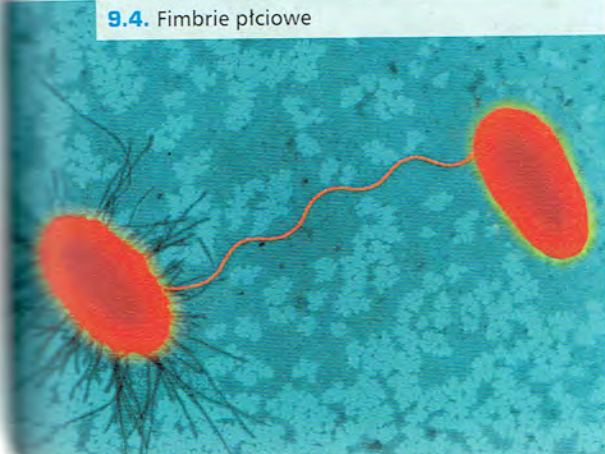
Fimbrie

Fimbrie (inaczej pile) są dodatkowymi, sztywnymi (w przeciwieństwie do rzęsek) tworami, zbudowanymi z **piliny**, występującymi głównie u bakterii Gram-ujemnych. Znaną są dwa rodzaje fimbrii – **fimbrie płciowe** **19.4.1** oraz **zwykłe**.

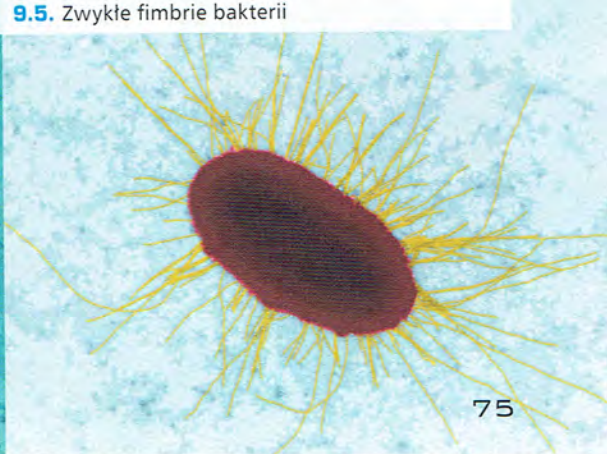
19.5.1 Fimbrie płciowe są charakterystyczne

jedynie dla gatunków wykazujących zdolność koniugacji (omówioną w dalszej części rozdziału) i są kodowane przez geny plazmidowe. Fimbrie zwykłe są z reguły krótsze, ale za to znacznie liczniejsze. Są odpowiedzialne za zdolność przylegania bakterii do powierzchni.

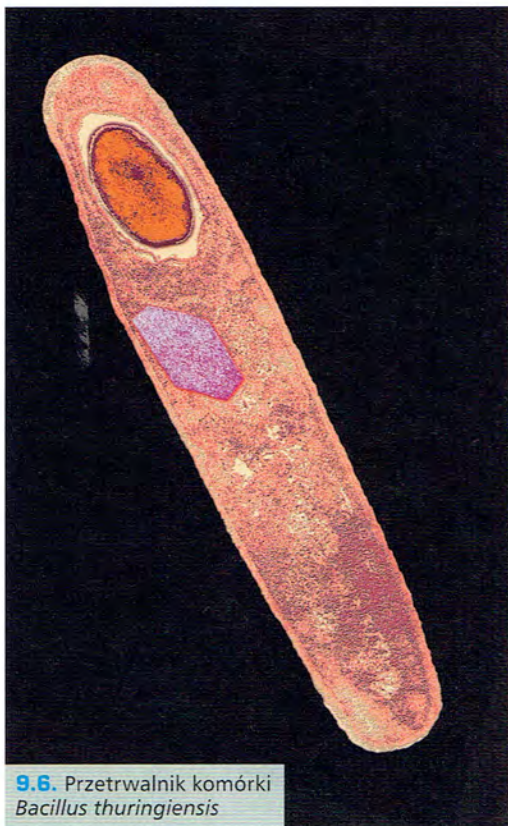
9.4. Fimbrie płciowe



9.5. Zwykłe fimbrie bakterii



Endospory



9.6. Przetrwalik komórki *Bacillus thuringiensis*

Pewna grupa bakterii (przede wszystkim formy wydłużone, np. laseczki) posiada zdolność wytwarzania **endospor**, czyli **przetrwalików**.

19.6.1 Jest to bardzo istotne przystosowanie pozwalające przetrwać niekorzystne warunki środowiska (jak np.: wysoka i niska temperatura, wysuszenie, zmiany pH czy brak pokarmu). Przetrwalików nie należy mylić z zarodnikami (sporami) spotykanymi u grzybów i roślin, u których służą do rozmnażania. Przetrwalniki bakteryjne powstają wewnątrz komórki poprzez obudowywanie genoforu i rybosomów wielowarstwową ścianą złożoną głównie z białek oraz cukrów. Przetrwalik nie wykazuje praktycznie żadnej aktywności metabolicznej, przechodzi w stan życia utajonego (anabiozy). W momencie poprawy warunków środowiska endospora staje się aktywną komórką bakteryjną. Przetrwalików nie wytwarzają przecinkowce i pałeczki.

PODSUMOWANIE



- Bakterie dzielą się na bakterie właściwe (*Eubacteria*) i archeany (*Archaeobacteria*).
- Bakterie to organizmy jednokomórkowe, pozbawione wykształconego jądra komórkowego. Ich DNA zlokalizowane jest w centralnym obszarze i zwany jest nukleoidem.
- Bakterie nie mają organelli komórkowych typowych dla eukariontów (m.in. mitochondriów, siateczki wewnątrzplazmatycznej), a ich ściana komórkowa zbudowana jest z peptydoglikanu (mureiny).
- Wśród form morfologicznych bakterii wyróżnia się formy kuliste, wydłużone, rozgałęzione i spiralne.
- Podział na bakterie Gram-dodatnie i Gram-ujemne to jeden z podstawowych sposobów różnicowania bakterii.
- W zależności od szczepu bakterie mają zdolność do wytwarzania otoczki śluzowej na zewnątrz komórki, do poruszania się za pomocą rzęsek, a także do tworzenia endospor (przetrwalików).

ZADANIA



1. Dokonaj charakterystyki bakterii pod względem zróżnicowania przyjmowanych przez nie form morfologicznych.
2. W doświadczeniu wykorzystano dwa szczepy dwoinek zapalenia płuc: łagodny (tzw. bezotoczkowy) i zjadliwy (wytwarzający otoczkę). Okazało się, że myszy, którym wraz z bakteriami łagodnymi podano zabite bakterie szczepu zjadliwego, padły. Jaką rolę w tym procesie odegrały otoczki bakteryjne?
3. Omów rolę endospor bakteryjnych i podaj warunki, w jakich następuje ich wytwarzanie.

BIBLIOGRAFIA

Schlegel H. G., *Mikrobiologia ogólna*, Warszawa 2005.



W INTERNECIE



- <http://www.microbiology.pl/>
- <http://www.forum.mikrobiolodzy.pl/>

10. Funkcje życiowe bakterii.

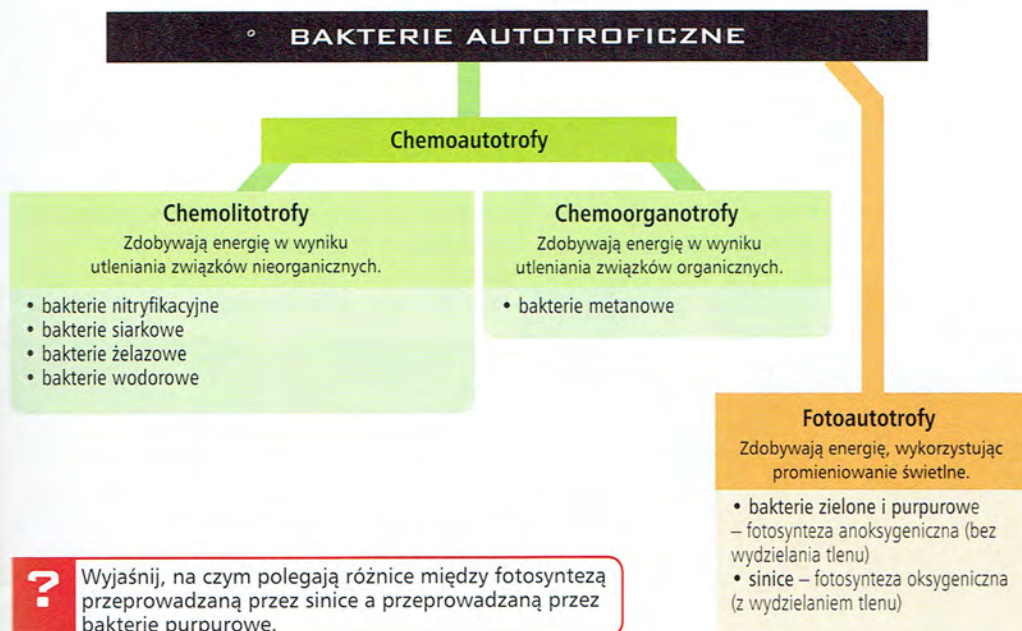
Wybrane choroby bakteryjne

Bakterie są zróżnicowane nie tylko pod względem morfologicznym. Cechuje je również różnorodność co do sposobu życia, w tym pozyskiwania energii czy rozmnażania się. Przyjęte strategie życiowe uwarunkowane są koniecznością przystosowania się do warunków środowiska zasiedlanego przez bakterie.

Odżywianie się

Pierwsze żywe komórki były najprawdopodobniej **heterotroficzne** (cudzożywne). Rozwijały się w środowisku bogatym w proste związki organiczne (tzw. praocean) i wszystkie niezbędne składniki pobierały na drodze wchłaniania lub pinocytozy bezpośrednio przez błonę komórkową. Wykorzystanie bardziej złożonych związków chemicznych stało się możliwe wraz z momentem ewolucyjnego wykształcenia enzymów egzokomórkowych (wydzielanych poza obręb komórki). Złożone związki ulegały rozpadowi poza komórką, a następnie wchłaniane były jako mniejsze cząsteczki. Ponieważ za sprawą działalności heterotrofów ilość substancji rozpuszczonych

w środowisku znacząco spadła, w toku ewolucji wykształciły się prokariotyczne **autotrofy**. Wykorzystanie przez nie mechanizmów pozwalających na asymilację dwutlenku węgla z atmosfery i wbudowywanie go przy udziale energii pochodzącej z zewnątrz do związków organicznych stanowiło poważny krok w ewolucji życia na Ziemi. Dziś, mówiąc o autotrofizmie, mamy na myśli przede wszystkim fotosyntezę. Zanim jednak pierwsi producenci zaczęli korzystać z energii słonecznej, wykorzystywali energię pochodzącą z utleniania związków chemicznych. W toku ewolucji pewne grupy bakterii wykształciły zdolność do asymilacji o wiele bardziej dostępnej ener-



gii słonecznej. Prawdopodobnie pierwszym barwnikiem asymilacyjnym (występującym m.in. u bakterii purpurowych) był **bakteriochlorofil**, związek funkcjonalnie zbliżony do chlorofilu. W procesie asymilacji przeprowadzanej z udziałem bakteriochlorofilu nie dochodziło do wydzielania tlenu (to tzw. **fotosynteza anoksygeniczna**). Dopiero około 2,7 miliarda lat temu pojawiły się na Ziemi pierwsze mikroorganizmy (**sinice**), u których

obecny był inny barwnik – **chlorofil a**. Proces fotosyntezy oparty na chlorofilu był o wiele bardziej wydajny, a poza tym miał inną nie mniej ważną cechę – jako produkt uboczny wydzielany był tlen (**fotosynteza oksygeniczna**). Przypuszcza się, że pojawienie się chlorofilu u pierwotnych sinic miało kluczowe znaczenie dla wzbogacenia atmosfery Ziemi w tlen, a co za tym idzie – umożliwiło powstanie organizmów tlenowych.

Oddychanie

Oddychanie tlenowe, polegające na utlenianiu cukrów do dwutlenku węgla i wody, jest procesem wydajnym energetycznie, stąd większość bakterii to **aeroby** (tlenowce). Wytworzenie mechanizmów oddychania tlenowego stało się możliwe dopiero w momencie wystarczającego wysycenia atmosfery tlenem, co nastąpiło około 2 miliardów lat temu dzięki działalności fotosyn-

tetycznej sinic. Do tego czasu prokariotyczne **anaeroby (beztlenowce)** opierały oddychanie wewnątrzkomórkowe na procesie **fermentacji**, czyli dokonywały niepełnego rozkładu (utlenienia) glukozy w warunkach beztlenowych. W procesie tym wydzielana była niewielka ilość energii, a jako produkty uboczne powstawały na przykład etanol, kwas mlekowy lub kwas octowy.

Sinice i asymilacja azotu atmosferycznego

Azot jest jednym z pierwiastków najbardziej pożądanych przez organizmy żywe, gdyż wchodzi w skład większości istotnych dla życia struktur i związków chemicznych (m.in. kwasów nukleinowych i białek). Pomimo że azot stanowi 78% objętości powietrza, to pozostaje on praktycznie niedostępny dla organizmów żywych. Tylko nieliczne bakterie azotowe posiadły zdolność wiązania azotu atmosferycznego, czym przyczyniają się do krążenia tego pierwiastka w przyrodzie. Należą tutaj tlenowe bakterie z rodzaju *Azotobacter* sp., beztlenowce z rodzaju *Clostridium* sp.

i żyjące w symbiozie z korzeniami roślin motylkowych **10.1.1** bakterie z rodzaju *Rhizobium* sp., jak również liczne sinice.

Sinice wiążą wolny azot za pomocą wyspecjalizowanych komórek zwanych heterocystami zawierających nitrogenazę (enzym asymilujący azot). Dzięki zdolności do wiązania wolnego azotu sinice mogą być organizmami pionierskimi i żyć w środowiskach ubogich w łatwo przyswajalne związki azotowe. Gdy giną, same stają się źródłem biologicznie użytecznego azotu dla pozostałych organizmów.

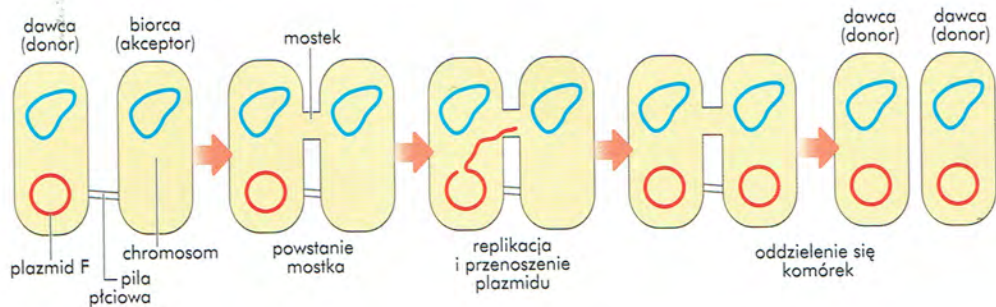


10.1. Brodawki na korzeniu rośliny motylkowej

Rozmnażanie bakterii

Najbardziej typowym dla bakterii sposobem rozmnażania bezpłciowego jest podział komórki. Mimo iż często bywa nazywany podziałem mitotycznym, to jednak znacząco odbiega od tego modelu. Gdy bakteryjny nukleoid ulegnie replikacji, komórka wydłuża się, po czym w środkowej części zaczyna budować się poprzeczna przegroda oddzielająca obie komórki. W wyniku podziału powstaje kopia komórki macierzystej, a zatem nie

zachodzi tu zmienność genetyczna. U bakterii kolonijnych (takich jak promieniowce, niektóre sinice) zachodzi fragmentacja polegająca na rozdzieleniu kolonii na mniejsze części. U niektórych bakterii obserwuje się koniugację **10.2.1**, czyli proces przypominający rozmnażanie płciowe (jednak nim nie jest), w którym dochodzi do wymiany materiału genetycznego. Wymianie ulega jedna nić DNA stanowiąca część genoformy lub plazmid.



10.2. Proces koniugacji u bakterii



Przeanalizuj przebieg koniugacji u bakterii.

:: Ciekawostka

Środowisko, w którym jeden lub kilka niezbędnych do życia czynników osiąga skrajne wartości, nazywamy środowiskiem ekstremalnym, a organizmy przystosowane do życia w takim środowisku to **ekstremofile**. Wśród nich wyróżniamy na przykład termofile. Są to organizmy, dla których optymalna temperatura wzrostu wynosi 45°C, choć rosną także w 80°C. Hipertermofile tolerują temperatury przekraczające 80°C, a do przeżycia potrzebują przynajmniej 60°C. Do niedawna rekordzistą był *Pyrolobus fumarii*, czyli bakteria redukująca kwas azotowy(V). Mogła bowiem wzrastać nawet przy 113°C, natomiast nie rozwijała się w temperaturze 90°C. Obecnie bardziej wytrzymałym na wysoką temperaturę drobnoustrojem jest nienazwana jeszcze bakteria, określana symbolem Strain-121. Rośnie i rozmnaża się w 121°C, czyli w temperaturze pracy autoklawu (urządzenie służące do wyjaławiania)!



Choroby bakteryjne

Przykładem niekorzystnego oddziaływania bakterii są wywoływane przez nie choroby roślin i zwierząt, które przyczyniają się do, często olbrzymich, strat gospodarczych. Jednak najdotkliwsze i najpoważniejsze konsekwencje mają choroby, jakie bakterie wywołują u ludzi (w tym także choroby odzwierzęce). Pomimo postępów w antybiotykoterapii nadal wiele bakterii stanowi poważne zagrożenie dla człowieka.

Czerwonka bakteryjna

Choroba nazywana jest również dyzenterią lub krwawą biegunką. Objawia się gorączką, bólami brzucha i rozwolnieniem. Jest niebezpieczną szczególnie dla małych dzieci i osób starszych. W profilaktyce są ważne szczepienia ochronne, mycie rąk i produktów spożywczych przed jedzeniem.

Gruźlica

Choroba w większości przypadków dotyczy układu oddechowego. Czasami może również rozprzestrzeniać się na mózg, nerki i układ kostny. Objawia się najczęściej gorączką, kaszlem oraz chudnięciem. W leczeniu cięższych przypadków poza antybiotykoterapią, często stosuje się chirurgiczne usunięcie tkanki zaatakowanej przez prątki. W celu zapobiegania choroby stosuje się szczepienia ochronne.

Wąglik

Choroba najczęściej występuje u bydła, owiec i kóz. U człowieka występuje w trzech postaciach: płucnej, skórnej i jelitowej. Najcięższa jest postać płucna, charakteryzująca się wysoką gorączką, dreszczami, kaszlem oraz dusznościami. W wielu wypadkach do zgonu dochodzi w ciągu 36 godzin od momentu wystąpienia objawów. W leczeniu stosuje się duże dawki antybiotyków. Profilaktyka opiera się na regularnej kontroli weterynaryjnej zwierząt hodowlanych i szczepieniach osób wysokiego ryzyka (hodowcy, weterynarze).

Tężec

Ciężka choroba przyrzanna u ludzi. Jest niezaraźliwa, ponieważ za objawy odpowiadają nie bakterie, lecz wydzielane przez nie toksyny (tetanospazmina, tetanolizyna). Atakują one komórki nerwowe i działają niszcząco na krwinki czerwone. Prowadzą do stałego, nadmiernego pobudzenia neuronów ruchowych. Wywołuje to wzmożone napięcie mięśni i napady skurczów mięśni szkieletowych. W profilaktyce stosuje się szczepienia przeciwwężcowe.

Cholera

Zakaźna choroba przewodu pokarmowego o ostrym przebiegu. Ma charakter toksykoinfekcji. Dochodzi do znacznego odwodnienia i hipotermii (32–34°C). Zapobiegawczo stosuje się oczyszczanie wody pitnej, szczepienia ochronne.

Dur brzuszny

Choroba dawniej zwana tyfusem. Objawy to gorączka, bóle brzucha i uczucie wyczerpania. Towarzyszy im także powiększenie wątroby, śledziony oraz węzłów chłonnych szyi. Zapobieganie chorobie polega na stosowaniu szczepień ochronnych i przestrzeganiu zasad higieny osobistej.

Borelioza

Choroba przenoszona przez kleszcze, przebiega w trzech stadiach. W pierwszym pojawia się tak zwany rumień wędrujący, który po kilku tygodniach zanika. W drugiej fazie choroba rozprzestrzenia się na układ kostny i nerwowy. Trzeci etap po wielu miesiącach ujawnić się może jako zapalenie stawów lub nieodwracalne uszkodzenie układu nerwowego. Chorobie można zapobiec, stosując preparaty odstraszające kleszcze i zakładając ubiór odpowiedni na spacer po lesie – spodnie z długimi nogawkami, zakryte obuwie.

Rola bakterii w przyrodzie i życiu człowieka

Większość bakterii żyje w glebie, gdzie pełni rolę **destruentów (reducentów)** rozkładających martwą materię organiczną. Dzięki temu energia zawarta w związkach organicznych zostaje odzyskana, a powstałe w wyniku rozkładu związki nieorganiczne mogą być ponownie wykorzystane przez producentów (rośliny). Procesy prowadzone przez bakteryjnych destruentów są niezbędne do prawidłowego krążenia w przyrodzie pierwiastków (takich jak azot, węgiel, siarka, fosfor) i odnawiania zasobów biosfery.

Bakterie odgrywają istotną rolę również w środowisku wodnym, gdzie wyraźnie zaznacza się działalność sinic pełniących funkcję producentów. W okresach dużego nasłonecznienia zwiększa się aktywność fototroficzna tych bakterii, co może przyczyniać się do tak zwanego zakwitów wód lub prowadzić do zarastania zbiorników wodnych.

Bakterie mają również ogromne znaczenie dla działalności człowieka. Procesy fermentacji prowadzone przez bakterie mlekowe znajdują szerokie zastosowanie w przemyśle mleczarskim do produkcji jogurtów, kefirów, serów. Bakterie są wykorzystywane w oczyszczalniach ścieków do biologicznej degradacji zanieczyszczeń. W przemyśle farmaceutycznym służą do wytwarzania probiotyków, antybiotyków, szczepionek, surowi-

cy i witamin. Możliwe jest również zastosowanie bakterii jako środków ochrony roślin (dobrym przykładem jest bakteria *Bacillus thuringiensis*, czyli laseczka turyńska, wykorzystywana do zwalczania larw motyli, much i stonki ziemniaczanej). Wiele gatunków bakterii bytuje we wnętrzu innych organizmów, oddziałując na nie negatywnie lub pozytywnie. Przykładem bakterii żyjącej w symbiozie z organizmem gospodarza jest pałeczka okrężnicy (*Escherichia coli*), występująca w jelicie grubym przewodu pokarmowego zwierząt stałocieplnych. Bierze udział w produkcji witamin z grupy B i K. Stanowiąc naturalną florę jelitową, chroni organizm przed bakteriami chorobotwórczymi.

❖ Ciekawostka

Wiele gatunków bakterii wchodzi z organizmem gospodarza w tak silny **układ symbiotyczny**, że rzadko jest on w stanie przeżyć bez obecności bakteryjnego symbionta. Dzieje się tak chociażby w przypadku żyjącego w jelicie termitów krętka (*Pillotina calotermitidis*), który produkuje enzymy zdolne rozkładać celulozę.



PODSUMOWANIE

- Bakterie odżywiają się zarówno autotroficznie, jak i heterotroficznie.
- Bakterie oddychają tlenowo lub beztlenowo.
- U bakterii spotykany jest proces zwany koniugacją, w którym dochodzi do wymiany części materiału genetycznego.
- Zdolność do wiązania wolnego azotu atmosferycznego posiadają bakterie azotowe.



ZADANIA

1. Udowodnij, że proces koniugacji zachodzący u bakterii nie może być jednoznacznie uznany za formę rozmnażania płciowego.
2. Porównaj procesy fotosyntezy anoksygeniczej i oksygeniczej, uwzględniając grupy organizmów, w których te zjawiska wystąpiły po raz pierwszy. Oceń, który z rodzajów fotosyntezy odegrał kluczową rolę dla dalszego rozwoju życia na Ziemi.
3. Omów wybraną chorobę bakteryjną człowieka, uwzględniając charakterystyczne objawy, drogę zakażenia oraz działania profilaktyczne.



BIBLIOGRAFIA

Kunicki-Goldfinger W., *Życie bakterii*, Warszawa 2008.



11. Budowa i procesy życiowe protistów

Początek klasyfikacji organizmów żywych wyróżniającej 5 królestw sięga roku 1969. Nowo powstałe **królestwo Protista** obejmowało wówczas wyłącznie jednokomórkowe organizmy mające materiał genetyczny otoczony błonami jądrowymi. Szybko jednak okazało się, że w ramy tego królestwa należy włączyć wszystkich najprostszych w budowie przedstawicieli roślin, zwierząt oraz grzybów. Systematyka protistów nie jest jednoznaczna i w dostępnej literaturze można znaleźć wiele różnych podziałów tej grupy.

Protisty zwierzęcopodobne Pierwotniaki

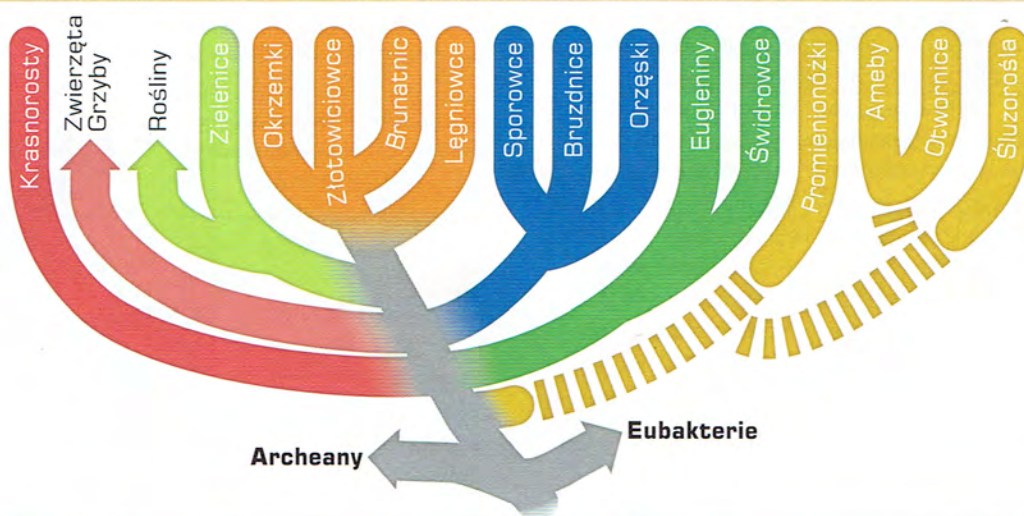
- Ameby *Amebozoa*
- Promienionózki *Actinopoda*
- Sporowce *Sporozoa*
- Orzęski *Ciliata*
- Świdrowce *Trypanosomatidea*
- Otwornice *Foraminifera*

Protisty roślinopodobne Glony

- Krasnorosty *Rhodophyta*
- Zielonice *Chlorophyta*
- Żłotowiciowce *Chrysophyceae*
- Okrzemki *Bacillariophyta*
- Brunatnice *Phaeophyta*
- Eugleniny *Euglenophyta*
- Brzudnice *Pyrrophyta*

Protisty grzybopodobne Pseudomycota

- Śluzowce *Myxomycota*
- Łęgniowce *Oomycota*



Formy morfologiczne protistów

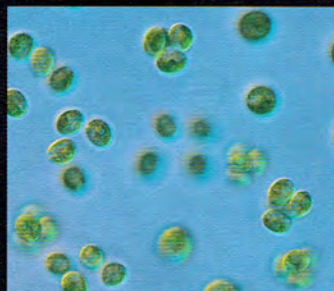
Protisty jednokomórkowe



Pelzak (*Ameba sp.*)



Wiciowiec (*Euglena sp.*)



Forma nieruchoma (*Chlorella sp.*)

Protisty jako zróżnicowana grupa organizmów

Współcześnie protisty są najbardziej zróżnicowaną jednostką taksonomiczną. Obejmuje ona organizmy, które różnią się pochodzeniem, budową oraz funkcjami życiowymi. Odżywiają się zarówno autotroficznie, jak i heterotroficznie. Większość protistów prowadzi wymianę gazową całą powierzchnią ciała, a formy pasożytnicze z reguły oddychają beztlenowo, na drodze fermentacji. To sprawia,

że ich jednolita charakterystyka jest praktycznie niemożliwa. Liczba wszystkich zaliczanych tutaj gatunków sięga 250 tysięcy, a jedyną ich wspólną cechą jest eukariotyczna budowa komórki. Nie jest to unikatowa cecha wyróżniająca je spośród innych organizmów jądrowych, stanowi jedynie pewnik taksonomiczny wyrażone odgraniczający je od królestwa *Prokaryota*.

Budowa protistów

Zróżnicowanie organizmów należących do protistów widać najlepiej, gdy porównuje się je pod względem wielkości, chociaż nie jest to jedyna cecha dowodząca różnorodności tej grupy. Do protistów należą zarówno jednokomórkowe szybko przemieszczające się orzęski (pantofelek), jak i olbrzymie wielokomórkowe osiadłe brunatnice. Komórki protistów zawierają wszystkie organelle obserwowane u eukariontów: jądro komórkowe, mitochondria, plastydy, rybosomy, siateczkę wewnątrzplazmatyczną oraz aparat Golgiego. Powierzchnia komórki niektórych protistów jest pokryta nadającą jej kształt błoną białkowo-lipidową zwaną **pellikulą**. Ponieważ do protistów należą organizmy najprostsze, zdecydowana większość spotykanych form jest jednokomórkowa. Rzadziej występują formy kolonijne lub wielojądrowe. Szczytowym osiągnięciem protistów są formy wielokomórkowe, nie tworzą one jednak tkanek typowych dla roślin czy zwierząt. U form kolonijnych wszystkie komórki peł-

:: Doświadczenie

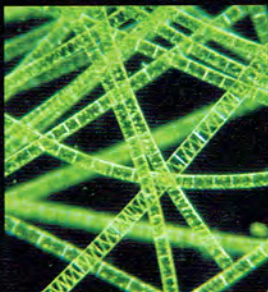
Do założenia hodowli protistów najlepiej wykorzystać około dwulitrowy szklany słoć. Wprowadzamy do niego niewielką ilość słomy lub siana, tak by materiał wypełniał naczynie niemal do poziomu wody. Wodę do hodowli pobieramy ze zbiornika wodnego. Tak przygotowany słoik zakrywamy i zostawiamy w silnie nasłonecznionym miejscu w temperaturze od 20 do 25°C. Po 2–3 tygodniach powstaje zawiesina, którą za pomocą pipety możemy przenieść na szkiełko podstawowe, a następnie przeprowadzić obserwację.

nią podobną funkcję (mogą być jednakowe lub zróżnicowane pod względem morfologicznym). U wielokomórkowców mających **plechy plektenchymatyczne** komórki splatają się wokół siebie, tworząc nibytkankę. Protisty te mogą wykształcać struktury zewnętrznie przypominające liście, łodygi lub korzenie, jednak nie stanowią one w pełni funkcjonalnego odpowiednika tych organów u roślin lądowych.

Protisty wielokomórkowe



Forma kolonijna
(*Pandorina* sp.)



Plecha nitkowata
(skretnica)



Plecha plektenchymatyczna
(salata morską)



Plecha tkankowa
(morszczyzn)

Sposoby poruszania się protistów

Wśród przedstawicieli protistów zdolność do ruchu wykazują głównie formy jednokomórkowe, chociaż zdarzają się obdarzone tą zdolnością formy kolonijne. Ruch protistów ma najczęściej charakter **taksji**, czyli przemieszczania się w kierunku działania jakiegoś czynnika lub ucieczki przed nim. Czynnikiem tym może być substancja pokarmowa rozpuszczona w wodzie (**chemotaksja**) lub światło będące dla form samożywnych podstawą procesu fotosyntezy (**fototaksja**).

U protistów obserwuje się zróżnicowanie, także jeśli chodzi o mechanikę ruchu. Pierwszy i jednocześnie najprymitywniejszy sposób poruszania jest charakterystyczny dla **sarkodowych (zarodziowych)**. Ze względu na elastyczną i ciekłą pellikulę pokrywającą ciało mogą one przyjmować dowolne kształty i przemieszczać się po powierzchniach płaskich, przelewając cytoplazmę do wysuwających się wypustek komórkowych zwanych **pseudopodiami** lub **nibynóżkami**. Ten rodzaj ruchu nazywamy **pseudopodialnym** lub **ameboidalnym** **11.1.1**, a wykorzystujące go protisty to **pełzaki**. Należy tu zaznaczyć, że pseudopodia nie służą jedynie do poruszania się – wiele gatunków wykorzystuje je do chwytania pokarmu. Protisty pozbawione organelli

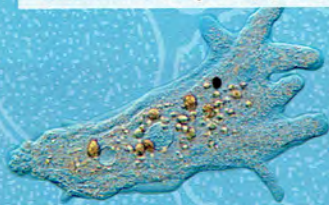
:: Ciekawostka

Gatunki protistów o cienkiej pellikuli (ameby) mogą prowadzić proces endocytozy na całej powierzchni komórki. Gatunki o pellikuli sztywnej i grubej (**pantofelek**) dokonują fagocytozy jedynie w tej części komórki, w której pellikula jest wystarczająco cienka. Miejsce to nosi nazwę cytostomu. Miejsce, w którym wodniczki pokarmowe są opróżniane z niestrawionych resztek pokarmów, jest położone w innej części komórki i nosi nazwę **cytopyge**.

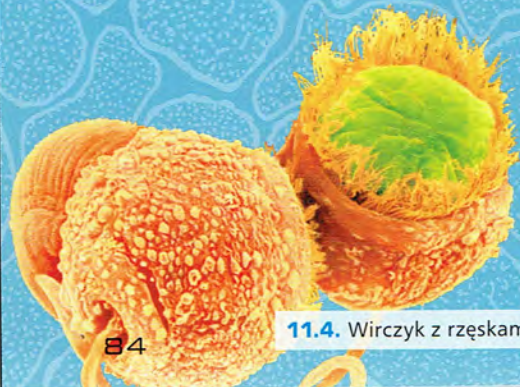
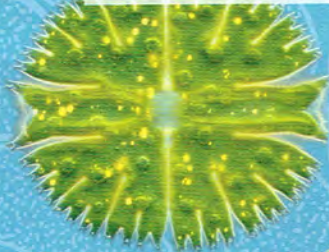


ruchu **11.2.1** mogą przemieszczać się niesione prądem wody. Ruch tego typu jest charakterystyczny dla form jednokomórkowych oraz kolonijnych. Innym sposobem poruszania się występującym u protistów jest ruch postępowy, odbywający się za pomocą **wici** **11.3.1** lub **rzęsek** **11.4.1**. Są one nazywane **undulipodiami**, a ruch odbywający się za ich pośrednictwem to **ruch undulipodialny**.

11.1. Ameba z wysuniętą nibynóżką



11.2. *Micrasterias* sp. jako forma nieruchoma



11.4. Wirczyk z rzęskami

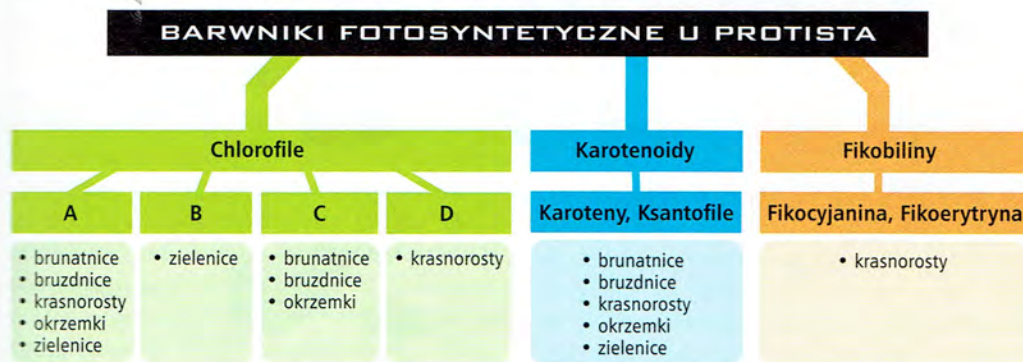
11.3. Euglena z wicią



Odżywianie się protistów

Wśród protistów wyróżnia się zarówno organizmy **heterotroficzne**, jak i **autotroficzne**, a niektóre gatunki cechuje **miksotrofizm** (tzn. że mogą być samożywne lub cudzożywne w zależności od dostępu do światła). Samożywne protisty są fotoautotrofami, a zatem do asymilacji dwutlenku węgla korzystają z energii słonecznej. Fotosynteza zachodzi u nich w chloroplastach, które mogą przyjmować różne kształty (taśmowate, okrągłe lub gwiaździste).

Fotoautotroficzne protisty są wyposażone w całą gamę barwników asymilacyjnych absorbujących światło o odmiennych długościach fali. Wpływa to na pionowe rozmieszczenie przedstawicieli protistów w zbiornikach wodnych. Protisty heterotroficzne zdobywają pokarm na różne sposoby. Zależnie od wielkości i charakteru chemicznego pochlanianych cząstek mamy do czynienia z procesem **endocytozy** (w postaci **pinocytozy** lub **fagocytozy**).



PODSUMOWANIE

- Do królestwa *Protista* należą najprostsze organizmy eukariotyczne.
- Protisty to w większości organizmy jednokomórkowe, lecz mogą one również tworzyć kolonie lub wielokomórkowe plechy. Co charakterystyczne, plechy protistów nie tworzą tkanek.
- Zdecydowana większość protistów to organizmy wodne.
- Wśród protistów spotykane są zarówno organizmy autotroficzne, jak i heterotroficzne. U niektórych gatunków występuje zjawisko miksotrofii, czyli zmienności sposobu odżywiania w zależności od warunków środowiska.
- Protisty mogą się poruszać dzięki obecności wici, rzęsek, pseudopodiów (nibynózek) lub pozostawać nieruchome.
- Protisty wolnożyjące oddychają tlenowo, a gatunki pasożytnicze – beztlenowo.

ZADANIA

1. Postaraj się przekonać kolegów z klasy, że zasadny jest podział protistów na trzy grupy: protisty zwierzęcopodobne, roślinopodobne i grzybopodobne.
2. Scharakteryzuj rodzaje taksji spotykane u protistów. Wyjaśnij, jaką rolę odrywają one w adaptacji do środowiska.
3. Omów różne sposoby lokomocji występujące u protistów oraz przedstaw typy organelli odpowiedzialnych za ruch.
4. Wyjaśnij, jakie znaczenie ma różnorodność barwników asymilacyjnych występujących u protistów autotroficznych i wymień podstawowe typy tych barwników.

BIBLIOGRAFIA

Wilhelmsen U., Schories D., *Poznajemy Wybrzeże Bałtyku*, Multico, Warszawa 2007.

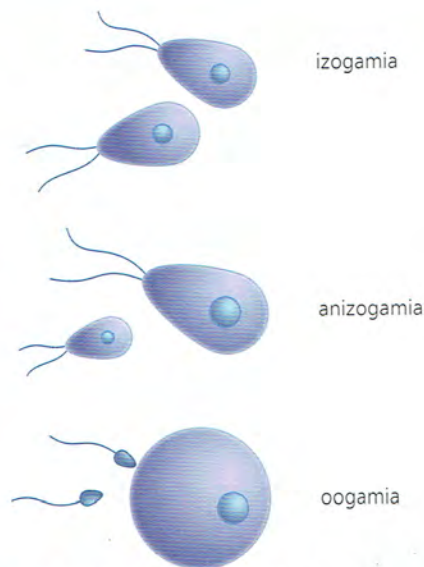
12. Podział i charakterystyka poszczególnych grup glonów

Głony są bardzo zróżnicowaną **grupą ekologiczno-morfologiczną**. To powoduje, że nie są przypisane do odrębnej jednostki taksonomicznej. Łączącymi je cechami są zdolność do fotosyntezy oraz wodne środowisko życia. Głony są jednym z głównych producentów materii organicznej w ekosystemach wodnych. Współczesna klasyfikacja glonów bierze pod uwagę głównie typ występujących w komórce barwników fotosyntetycznych oraz substancji zapasowych. Nie mniej istotny jest fakt występowania lub brak ściany komórkowej oraz jej skład.

Rozmnażanie glonów

Głony mogą rozmnażać się zarówno bezpłciowo, jak i płciowo. Rozmnażanie bezpłciowe następuje poprzez podział komórki (jednocomórkowce), fragmentację plechy (formy wielocomórkowe) lub zarodniki. Zarodniki (spory) powstają w sporangiach. Mogą to być nieruchliwe aplanospory (u chlorelli) lub zaopatrzone w wici zoospory (u taśmy, ulwy). Rozmnażanie płciowe zachodzi przy udziale gamet w procesie **izogamii** (gamety nie różnią się od siebie pod względem wielkości), **anizogamii** (gamety są zróżnicowane pod względem wielkości) i **oogamii** (gamety są wyraźnie zróżnicowane). Oogamia to połączenie nieruchomej komórki jajowej z ruchomym plemnikiem. Gamety powstają w gametangiach. **12.1.1**

W rozwoju występuje przemiana pokoleń: **sporofitu** (pokolenia rozmnażającego się bezpłciowo) i **gametofitu** (pokolenia rozmnażającego się płciowo). Sporofit wytwarza jednocomórkowe lub wielocomórkowe sporangia. Gametofit natomiast – wielocomórkowe gametangia. Zarówno spory, jak i gamety mogą być zaopatrzone w wici. Do zapłodnienia dochodzi poza organizmem macierzystym. U glonów wyróżniamy dwa typy przemiany pokoleń: przemianę **izomorficzną**, w której gametofit



12.1. Rodzaje gamii u protistów: izogamia, anizogamia, oogamia

i sporofit są podobne do siebie pod względem morfologicznym (np. u zielenic), i przemianę **heteromorficzną**, w której gametofit i sporofit różnią się morfologicznie (np. u brunatnic). Przemiana heteromorficzna zachodzi z przewagą gametofitu lub sporofitu, przy czym pokolenie dominujące ma bardziej złożoną budowę, dłużej żyje i jest większe.



Krasnorosty (*Rhodophyta*)

Do krasnorostów zaliczamy blisko 4000 gatunków. Ich ściana komórkowa zawiera celulozę, pektyny oraz węglan wapnia. Występują głównie w morzach i oceanach, gdzie przyczyniają się do tworzenia raf koralowych (gatunki z rodzaju *Corallina* magazynujące duże ilości węglanu wapnia). Krasnorosty są autotroficzne, a zdolność do fotosyntezy zapewnia im obecność barwników asymilacyjnych, takich jak chlorofil a i d, karotenoidy oraz fikobiliny odpowiadające za barwę tych glonów (niebieska **fikocyjanina** i czerwona **fikoerytryna**). Fikoerytryna jest jednym z najważniejszych przystosowań krasnorostów do autotrofizmu. Pochłania ona światło niebieskie i zielone docierające na głębokość do 100 metrów. Wśród krasnorostów występują formy jednokomórkowe, choć zdecydowana większość może się poszczycić dużymi i rozbudowanymi plechami wielokomórkowymi. **112.2., 12.3.1** Materiałem zapasowym jest **skrobia krasnorostowa** o budowie zbliżonej do glikogenu. U krasnorostów zachodzi rozmnażanie płciowe i bezpłciowe. W cyklu życiowym występują wyłącznie nieruchome stadia rozwojowe. Na bazie krasnorostów wytwarzany jest agar, substancja żelująca znajdująca zastosowanie w diagnosty-



12.2. Widlik (*Furcellaria fastigiata*)



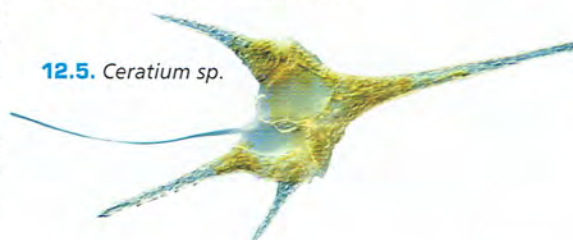
12.3. Krasnorost (*Palmaria palmata*)

ce mikrobiologicznej i przemyśle spożywczym. Wiele gatunków (jak np. szkarłatnicę delikatną – *Porphyra tenera*) w kuchniach Wschodu uważa się za przysmak i dlatego hoduje na przybrzeżnych plantacjach.

Bruzdnice (*Pyrrophyta*)

Do grupy tej należy blisko 2000 gatunków, głównie organizmów jednokomórkowych, rzadko kolonijnych. Zamieszkują zarówno morza, jak i wody słodkie. Ciało bruzdnic często pokryte jest celulozowym pancerzem. **112.5.1** Charakterystyczną cechą ich morfologii jest występowanie dwóch bruzd: poprzecznej – opasującej całą komórkę, oraz podłużnej – krzyżującej się z poprzeczną po brzusznej stronie ciała. Każda bruzda zaopatrzona jest w wić. **112.4.1** Wić z bruzdy poprzecznej odpowiada za ruch rotacyjny, natomiast wić z bruzdy podłużnej zapewnia komórce możliwość ruchu postępowego (do przodu). W cytoplazmie większości gatunków stwierdza się obecność chromatoforów zawierających barwniki fotosyntetyczne, takie jak: chlorofil a i c, ksantofil i fukoksantyna. Nadają one komórkom barwę od żółtozielonej po czerwono-brunatną. Wiele gatunków jest wyposażo-

nych w plamkę oczną (stigmę) zapewniającą zdolność do fototaksji. Materiałem zapasowym są **skrobia** i **tłuszcze**. Gatunki bruzdnic niezdolne do fotosyntezy są najczęściej **12.4.** *Gymnodinium* sp. pasożytnicze. Ze względu na złożoną budowę pancerzyka celulozowego rozmnażanie następuje najczęściej poprzez podział przebiegający wzdłuż asymetrycznych bruzd.



12.5. *Ceratium* sp.

Zielenice (*Chlorophyta*)

Do zielenic zaliczamy około 16 000 gatunków. Grupa ta jest bardzo zróżnicowana pod względem morfologicznym. Zalicza się do niej zarówno formy jednokomórkowe, tworzące kolonie, rurkowate oraz wielojądrowe komórki tworzące plechę. Zielenice są autotrofami. Przeprowadzanie procesu fotosyntezy umożliwia im obecność chlorofilu a i b, karotenów i ksantofili, których proporcje są zbliżone do spotykanych w roślinnych chloroplastach. Materiałem zapasowym zielenic jest **skrobia**. To właśnie obecność chlorofilu b i skrobi jako materiału zapasowego wskazuje na pokrewieństwo z roślinami. Ściana komórkowa zbudowana jest z celulozy z dodatkiem pektyn.

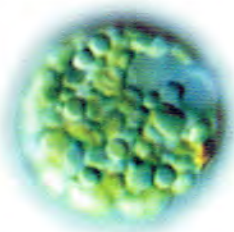
Przypuszcza się, że z glonów tych mogły ewoluować rośliny lądowe. Zielenice rozmnażają się zarówno bezpłciowo, jak i płciowo (na drodze izo-, anizo- lub oogamii). Wśród zielenic dominują trzy podstawowe grupy ewolucyjne. Pierwsza to **gatunki ruchliwe**, których komórki są zaopatrzone w dwie wici. Mogą być one zarówno jednokomórkowe (np. zawłotnia – *Chlamydomonas* sp.) **12.6.1**, jak i kolonijne (np. toczek – *Volvox* sp.) **12.7.1**. Do drugiej grupy należą gatunki wolno żyjące, ale **pozbawione zdolności ruchu** (jak np. chlorella zwyczajna – *Chlorella*

:: Ciekawostka

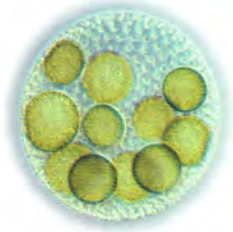
Wspomniana wcześniej **zielenica** – *Chlorella* sp. – cieszy się olbrzymim zainteresowaniem badaczy ze względu na swoje unikatowe właściwości w zakresie fotosyntezy. Przebiega ona u chlorelli ponad 10 razy wydajniej niż u roślin zielonych. Zielenica ta jest w stanie zasymilować ponad 20% docierającej do niej energii słonecznej. Co więcej, plon zbierany w procesie hodowlanym jest ponad 25-krotnie większy niż plon z roślin zielonych z takiego samego areatu. Obliczono, że gdyby rozpocząć hodowlę chlorelli na masową skalę, to wystarczyłby obszar o powierzchni około 17 000 km² (około 5,5% powierzchni Polski), aby pokryć zapotrzebowanie na białko całej ludności Ziemi!

vulgaris **12.8.1**, bytująca w wodach słodkich). Duża liczba gatunków współżyje z innymi organizmami, tworząc układy symbiotyczne (np. ze strzępkami grzybów, tworząc porosty). Trzecią grupę stanowią wielokomórkowe gatunki osiadłe przyczepione do podłoża przez tak zwaną komórkę czepną. Przykładami mogą być tu ulwa sałatowa (*Ulva lactuca*) **12.9.1** lub pełzatka (*Caulerpa prolifera*) **12.10.1**. Innym przykładem gatunku osiadłego jest forma komórkowa.

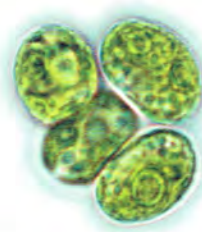
12.6. Zawłotnia (*Chlamydomonas* sp.)



12.7. Toczek (*Volvox* sp.)



12.8. Chlorella zwyczajna (*Chlorella vulgaris*)



12.9. Ulwa sałatowa (*Ulva lactuca*)

12.10. Pełzatka (*Caulerpa* sp.)



:: Ciekawostka**Eugleniny, (Euglenophyta)**

Należy tu około 800 gatunków jednokomórkowych glonów. Charakterystyczną cechą tej grupy jest dostosowanie sposobu odżywiania do warunków środowiska (miksotrofizm). Jeżeli mają dostęp do światła, eugleniny zachowują się jak organizmy autotroficzne, a w środowisku pozbawionym go zachowują się jak typowe heterotroficzne pierwotniaki. Chloroplasty euglenin zawierają chlorofil, natomiast substancją zapasową jest wielocukier – paramylon. Rozmnażanie euglenin zachodzi najczęściej bezpłciowo przez podział komórki. Rzadkie rozmnażanie płciowe ma charakter izogamii.

Euglena zielona (*Euglena viridis*)**Brunatnice (Phaeophyta)**

Do brunatnic **12.11.–12.14.1** zaliczamy obecnie 2000 gatunków osiadłych glonów morskich. Występują one na stosunkowo dużych głębokościach. Brunatnice mogą porastać duże obszary, na których stanowią podstawową grupę producentów materii organicznej. Plecha brunatnic jest zawsze wielokomórkowa. Składają się na nią elementy przypominające liście, todygę oraz chwytaki.

Brunatnice są autotrofami. Za fotosyntezę odpowiadają barwniki: chlorofil a i c oraz karotenoidy (fukoksantyna), które nadają glonom charakterystyczną żółtawobrunatną barwę.

Materiałem zapasowym u brunatnic są: **laminaryna, chryzolaminaryna, mannitol** oraz **tłuszcze**. Ściany komórkowe tych glonów złożone są z dwóch warstw: wewnętrzna zbudowana jest z celulozy, a zewnętrzna – z pektyn. Brunatnice rozmnażają się wegetatywnie i płciowo.

12.11. Wielkomorszcz (*Macrocystis sp.*)**12.12.** Morszczyń (*Fucus sp.*)**12.13.** Listownica (*Laminaria sp.*)**12.14.** Kłosek (*Ectocarpus sp.*)

Okrzemki (*Bacillariophyta*)

Liczą około 12 000 gatunków. Są to w większości glony jednokomórkowe, bardzo rzadko kolonijne. Charakterystyczną cechą morfologii okrzemek jest występowanie twardej ściany komórkowej zbudowanej z pektyn i krzemionki. Ściana ta złożona jest z dwóch elementów (skorupek): większego (wieczka) oraz mniejszego (denka). **12.15.1** Glony zawierają barwniki asymilacyjne, takie jak chlorofil a i c oraz karotenoidy (głównie fukoksantynę). Materiał zapasowy stanowią **tłuszcz** oraz **chryzolaminaryna**. Rozmnażanie zachodzi głównie poprzez podział komórki.

12.15. Różne kształty okrzemek



:: Ciekawostka

U **okrzemek** po podziale każda komórka zatrzymuje jedną część pancerzyka, a następnie dobudowuje do niego denko. Wskutek tego w jednej linii rozwojowej (otrzymującej zawsze denko) następuje ciągłe zmniejszanie się komórek. Powrót do normalnych rozmiarów jest możliwy jedynie w trakcie rozmnażania płciowego. Dochodzi do niego pomiędzy dwiema komórkami, których jądra komórkowe przechodzą podział mejotyczny. Z powstałych 4 jąder przeżywają tylko 2. W wyniku cytokinezy powstają dwie komórki, które opuszczają krzemionkowy pancerzyk i po kopulacji tworzą dwie zygoty. Są one wyposażone jedynie w pektynową ścianę i intensywnie się powiększają. Po osiągnięciu rozmiarów typowych dla gatunku ściana komórkowa ulega przesyleniu krzemionką.



PODSUMOWANIE

- Rozmnażanie protistów ma charakter bezpłciowy (podział komórki, fragmentacja) lub płciowy za pomocą gamet (izogamia, anizogamia i oogamia).
- Niektóre glony są zdolne do odbierania bodźców świetlnych za pomocą fotoreceptorów obecnych w cytoplazmie.
- Glony odgrywają w ekosystemach wodnych rolę producentów materii organicznej.



ZADANIA

1. Zaprojektuj tabelę, w której znajdą się informacje dotyczące ilości gatunków, rodzaju barwników fotosyntetycznych oraz substancji stanowiących materiał zapasowy. Skorzystaj z poniższego wzoru.



	Krasnorosty	Bruzdnice	Zielenice	Brunatnice	Okrzemki
Liczba gatunków					
Barwnik fotosyntetyczny					
Materiał zapasowy					

BIBLIOGRAFIA

Zbigniew Podbielkowski, *Glony*, WSiP, Warszawa 2004.



13. Protisty chorobotwórcze

Niektóre protisty prowadzą **pasożytniczy tryb życia**. Są wśród nich endopasożyty, których środowiskiem życia jest wnętrze organizmu żywiciela. Do grupy tej należy wiele gatunków wywołujących poważne choroby człowieka.

Malaria

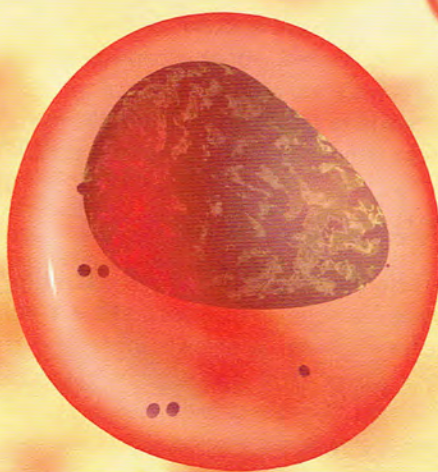
Ta ciężka choroba pasożytnicza ludzi znana jest również pod nazwą **zimnicy** lub (dawniej) **febry**. Wywoływana jest przez różne gatunki **zarodźca** (*Plasmodium* sp.) **13.1.1** przenoszonego przez komary z rodzaju widliszek. Produkty przemiany materii pasożyta powodują zatrucie organizmu żywiciela, co objawia się bólami głowy, zaburzeniami akcji serca, dreszczami i wysoką gorączką (ponad

40°C). Malaria jest chorobą rozpowszechnioną w Afryce, głównie w strefie tropikalnej. Lekiem najczęściej stosowanym w przypadku malarii jest chinina otrzymywana z kory chinowca lub syntetyczne pochodne chininy. Jako środek zapobiegawczy stosuje się moskitiery utrudniające przedostawanie się komarów do wnętrza domów i środki zwalczające te owady.

:: Ciekawostka

Malaria jest jedną z najgroźniejszych chorób zakaźnych. Zarodźce rozwijają się w erytrocytach i po pewnym czasie je niszczą, co powoduje anemię i silną gorączkę. Objawy pojawiają się w regularnych odstępach, typowych dla danego gatunku zarodźca. Dla przykładu *Plasmodium vivax* wywołuje symptomy co 72 godziny, stąd zakażenie nim powoduje tak zwaną czwartaczkę (objawy występują co czwarty dzień). Jest jedną z najczęściej notowanych chorób zakaźnych na świecie. Zaobserwowano, że na terenach występowania malarii są na nią odporni ludzie chorujący na anemię sierpowatą.

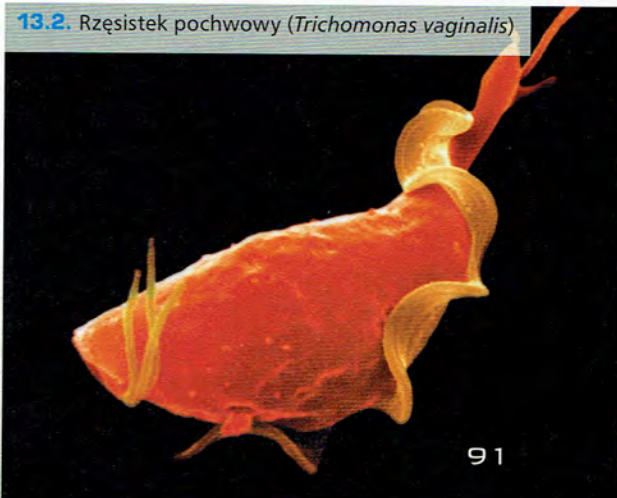
13.1. Zarodziec ruchliwy (*Plasmodium vivax*)



Rzęsistkowica

Wywoływana jest przez **rzęsistka pochwowego** (*Trichomonas vaginalis*). **13.2.1** Choroba objawia się w postaci stanu zapalnego narządów płciowych (głównie u kobiet). Do zarażenia pasożytem dochodzi w wyniku stosunku płciowego. Do najczęstszych objawów należą uczucie bólu i pieczenia zlokalizowane w okolicy cewki moczowej oraz upławy.

13.2. Rzęsistek pochwowy (*Trichomonas vaginalis*)



Toksoplazmoza

Jest to typowa choroba odzwierzęca wywoływana przez pierwotniaka *Toxoplasma gondii*.

113.3.1 Według danych WHO aż 30% ludności świata może być nim zakażonych. Żywicielem pośrednim pasożyta są ssaki (w tym człowiek) i ptaki, natomiast ostatecznym – koty. Ludzie ulegają zakażeniu przez kontakt z odchodami lub spożycie mięsa zarażonych zwierząt. Oocysty wydalone z odchodami kota zachowują swoje zdolności infekcyjne nawet przez 5 lat! Toksoplazmoza u ludzi ma zazwyczaj dość łagodny przebieg (jej objawy przypominają często grypę). Choroba przyjmuje postać ostrą, gdy nie wszystkie pasożyty zostają zniszczone przez układ immunologiczny. Wytworzone przez nie formy przetrwalnikowe lokalizują się w tkance nerwowej lub mięśniach. Zwalczanie już istniejącej infekcji u ludzi jest niezmiernie trudne, a uchronienie przed nią kotów (zwłaszcza tzw. „dachowców”) – praktycznie niemożliwe. Można jednak stosować środki zapobiegawcze, do których należą:

- przestrzeganie zasad obróbki termicznej mięsa (wysoka temperatura oraz zmrożenie poniżej



13.3. *Toxoplasma gondii*

–20°C inaktywuje postacie inwazyjne pasożyta),

- unikanie kontaktu z dziko żyjącymi kotami (dotyczy zwłaszcza kobiet w ciąży),
 - mycie warzyw i owoców oraz mycie rąk, zwłaszcza po kontakcie z surowym mięsem, ściółką, glebą oraz kotami i ich odchodami.
- Toksoplazmoza jest szczególnie groźna dla kobiet w ciąży, ponieważ może powodować poważne wady rozwojowe płodu. Standardowe postępowanie zakłada badanie krwi w celu stwierdzenia obecności przeciwciał odpornościowych skierowanych przeciwko toksoplazmozie.

Lamblioza

Jest to choroba wywoływana przez **lamblię jelitową** (*Lamblia intestinalis*). **113.4.1** Do zakażenia dochodzi w wyniku spożycia cyst pasożyta (obecnych w wodzie zanieczyszczonej fekaliami). Choroba w większości przypadków przebiega bezobjawowo. Po około 1–3

tygodniach od zakażenia mogą pojawić się brak apetytu oraz biegunka. Zaburzeniu ulega trawienie węglowodanów i lipidów. Sposobem uniknięcia zakażenia jest przestrzeganie podstawowych zasad higieny, mycie warzyw i owoców.



13.4. *Lamblia jelitowa (Lamblia intestinalis)*

Czerwotka pełzakowa (ameboza)

Chorobę wywołuje **pełzak czerwony** (*Entamoeba histolytica*). **13.5.1** Do zakażenia dochodzi drogą pokarmową. W jelitach człowieka pasożyt bytuje w dwóch postaciach – dużej oraz małej. Postacie duże wydzielają enzymy uszkodzające nabłonek jelita cienkiego. Krwawienie z uszkodzonych obszarów powoduje powstawanie czerwonych biegunk, którym towarzyszą bóle brzucha. Ameby z krwią mogą dostać się do wątroby i wywołać **pełzakowe zapalenie wątroby**. Postać mała pełzaka nie wywołuje objawów

chorobowych, choć z czasem może ulegać przekształceniu w formę dużą. Profilaktyka zakażeń pełzakiem czerwony obejmuje dezynfekcję urządzeń sanitarnych i przestrzeganie zasad higieny osobistej. Należy zwrócić szczególną uwagę na ochronę wody przed stycznością z odchodami, jak również pamiętać o konieczności gotowania wody przed spożyciem. Osoby powracające z podróży do krajów strefy tropikalnej powinny poddać się badaniu kału w kierunku wykrycia w nim pasożytów

13.5. Pełzak czerwony (*Entamoeba histolytica*)

PODSUMOWANIE

- Niektóre pasożytnicze protisty wywołują groźne choroby człowieka.
- Malaria jest wywoływana przez różne gatunki zarodźca (*Plasmodium sp.*).
- Rzęsistkowicę wywołuje rzęsistek pochwoy (*Trichomonas vaginalis*).
- Lambliozę powoduje lamblia jelitowa (*Lamblia intestinalis*).
- Toksoplazmoza jest chorobą odzwierzęcą, a wywołuje ją pierwotniak *Toxoplasma gondii*.
- Za pełzakowe zapalenie wątroby jest odpowiedzialny pełzak czerwony (*Entamoeba histolytica*).

ZADANIA

1. Zaprojektuj tabelę, w której znajdą się informacje dotyczące protistów wywołujących choroby u ludzi. Zwróć uwagę na sposoby zakażenia tymi organizmami, wektory, objawy kliniczne oraz profilaktykę.

	Malaria	Rzęsistkowica	Toksoplazmoza	Lamblioza	Czerwotka pełzakowa
Drogi zakażenia					
Wektor (obecny/brak)					
Objawy kliniczne					
Metody profilaktyki					

W INTERNECIE

- <http://wolfbat359.com/protozoa.html>
- <http://flickrhivemind.net/Tags/protozoa/Intere>

Zadanie 1. (2 pkt)

W roku 1990 WHO (ang. *World Health Organization*) ogłosiła całkowitą eradykację wirusa ospy prawdziwej (*Variola vera*), ale jego niewielkie ilości są przechowywane w kilku ośrodkach badawczych na świecie. Trwają spory dotyczące tego, jak należy postąpić – zniszczyć wirus całkowicie czy przechowywać do dalszych badań.

Przedstaw po jednym argumentem za przechowywaniem i przeciwko niemu.

za –
przeciw –

Zadanie 2. (1 pkt)

Wskaż wśród wymienionych poniżej chorób te, które są powodowane przez wirusy.

trąd, różyczka, rzeżączka, żółtaczkę, nosówka, cholera, pryszczycę, kuru, błonica, tężec, kiła, gruźlica

Zadanie 3. (1 pkt)

Szczepionka przeciwko wściekliźnie jest oparta na bazie jej inaktywowanego wirusa. Obowiązkowo podaje się ją psom, a zapobiegawczo – osobom narażonym na zarażenie i w leczeniu przypuszczalnego lub pewnego zakażenia wścieklizną (pogryzienie przez zakażone zwierzę).

Wyjaśnij, jakie są Twoim zdaniem medyczne przyczyny niestosowania zapobiegawczych szczepień ochronnych u człowieka przeciwko wściekliźnie.

Zadanie 4. (2 pkt)

Oceń poprawność poniższych stwierdzeń, następnie wpisz obok nich literę F (fałsz) lub P (prawda).

Autotroficzne bakterie to organizmy uzyskujące energię wyłącznie w wyniku beztlenowej chemosyntezy.

Materiał genetyczny bakterii tworzy kuliście zamknięta cząsteczka DNA zwana nukleoidem.

Podstawowym sposobem rozmnażania bakterii jest koniugacja.

Ściana komórkowa archebakterii jest zbudowana z 2 do 3 warstw peptydoglikanu.

Zadanie 5. (2 pkt)

Przyporządkuj nazwy jednostek chorobowych (A–D) do wywołujących je bakterii (1–5).

- | | |
|-----------------|------------------|
| A. cholera | 1. prątek |
| B. gruźlica | 2. laseczka |
| C. tężec | 3. pałeczka |
| D. dur brzuszny | 4. krętek |
| | 5. przecinkowiec |

Informacja do zadań 6–7

„Riketsje otrzymały swą nazwę od nazwiska H. T. Rickettsa, odkrywcy zarazki gorączki plamistej z Gór Skalistych. Mówi się też o tej grupie mikroorganizmów jako o grupie wywołującej »gorączki plamiste«, ze względu na chorobę wywołowaną przez najlepiej poznaną riketsję – *Rickettsia prowazekii*. Naturalnym siedliskiem riketsji są stawonogi (kleszcze, wszy, roztocza, pchły), w których występują one jako nieszkodliwe pasożyty lub nawet symbionty. Po przeniesieniu przez ukłucie, zadrapanie bądź inhalację na inne zwierzęta lub człowieka wywołują poważne objawy chorobowe. Choć rozmiary riketsji są tego samego rzędu wielkości co rozmiary wirusów ospy, to można je jednoznacznie odróżnić od wirusów. Zawierają one zarówno DNA, jak i RNA – w stosunku 1:3,5. Komórki otoczone są ścianą komórkową zawierającą kwas muraminowy i wrażliwą na lizozym. W obrazie cienkich skrawków oglądanych w mikroskopie elektronowym można wyróżnić region jądrowy i ścianę komórkową. Większości riketsji nie udało się wyhodować poza żywymi komórkami. Namnaża się je w zapłodnionych jajach kurzych lub w zwierzętach laboratoryjnych (...)”.

Hans G. Schlegel, *Mikrobiologia ogólna*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1996

Zadanie 6. (2 pkt)

Skonstruuuj tabelę, w której przedstawisz cechy pozwalające odróżnić riketsje od wirusów.

Zadanie 7. (1 pkt)

Podaj nazwę typu podłoża, które nie daje rezultatów w hodowli riketsji.

Zadanie 8. (2 pkt)

Przyporządkuj gatunkom (A–F) odpowiadające im nazwy grup systematycznych glonów (1–5).

- | | |
|---|----------------|
| A. wielkomorszcz (<i>Macrocystis</i>) | 1. krasnorosty |
| B. euglena (<i>Euglena</i>) | 2. zielenice |
| C. widlik (<i>Furcellaria</i>) | 3. brunatnice |
| D. toczek (<i>Volvox</i>) | 4. okrzemki |
| E. cymbela (<i>Cymbella</i>) | 5. eugleniny |
| F. pełzanka (<i>Caulerpa</i>) | |

Zadanie 9. (1 pkt)

Wskaż wśród podanych niżej nazw chorób te, które są wywoływane przez protisty.

trąd, różyczka, rzeżączka, malaria, nosówka, czerwotka pełzakowa, cholera, błonica, kiła, rzeżyszkowica, gruźlica

Zadanie 10. (2 pkt)

Przyporządkuj łacińskim nazwom gatunków patogennych pierwotniaków (A–E) odpowiadające im nazwy jednostek chorobowych (1–6).

- | | |
|---------------------------------|------------------------|
| A. <i>Lambliia intestinalis</i> | 1. malaria |
| B. <i>Entamoeba histolytica</i> | 2. rzeżyszkowica |
| C. <i>Plasmodium vivax</i> | 3. toksoplazmoza |
| D. <i>Toxoplasma gondii</i> | 4. fasciozoza |
| E. <i>Trichomonas vaginalis</i> | 5. czerwotka pełzakowa |
| | 6. lamblioza |

A B C D E

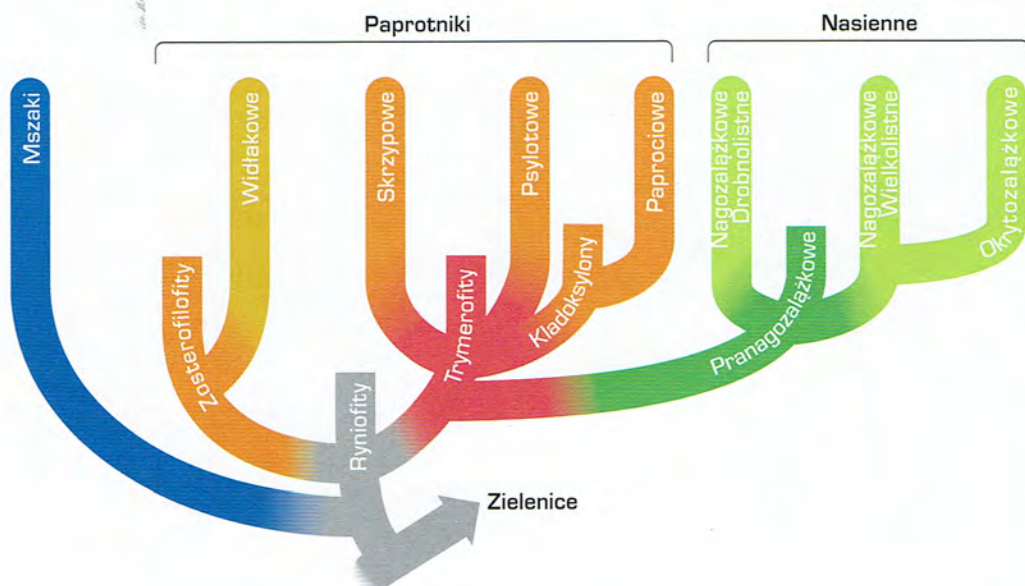


PRZEGLĄD RÓŻNORODNOŚCI ORGANIZMÓW – ROŚLINY LĄDOWE

- 14| Pochodzenie i linie rozwojowe roślin
- 15| Budowa i funkcje tkanek roślinnych.
Tkanki twórcze
- 16| Budowa i funkcje tkanek roślinnych.
Tkanki stałe
- 17| Mszaki – rośliny zarodnikowe
z dominującym gametofitem
- 18| Paprotniki – rośliny zarodnikowe
z dominującym sporofitem
- 19| Budowa organów wegetatywnych roślin
nasiennych
- 20| Modyfikacje organów wegetatywnych
roślin nasiennych
- 21| Budowa organów generatywnych i cykl
rozwojowy nagonasiennych
- 22| Budowa organów generatywnych i cykl
rozwojowy okrytonasiennych
- 23| Systematyka i znaczenie roślin
nasiennych

14. Pochodzenie i linie rozwojowe roślin

Istniejące współcześnie rośliny to w zdecydowanej większości organizmy lądowe. Do wykształcenia samożywności (w postaci mechanizmów foto- i chemosyntezy) doszło jednak w środowisku wodnym. Zdolność do wiązania energii słonecznej rozwinęła się po raz pierwszy u organizmów prokariotycznych. Przodkowie współczesnych roślin prawdopodobnie wywodzili się z grupy zieleńców zwanych **ramienicami**. Wskazują na to ich cechy wspólne z żyjącymi obecnie roślinami lądowymi: barwniki fotosyntetyczne (chlorofil a i b), plastydy (zawierające m.in. skrobię zapasową) oraz ściana komórkowa zbudowana z celulozy.



Wyjście roślin na ląd

Dlaczego rośliny zdecydowały się wyjść na ląd – niegościnne środowisko o ograniczonym dostępie do wody? Prawdopodobnie zaważyła na tym rosnąca konkurencja o dostęp do substancji mineralnych oraz światła wynikająca z dużego zagęszczenia organizmów w wodzie.

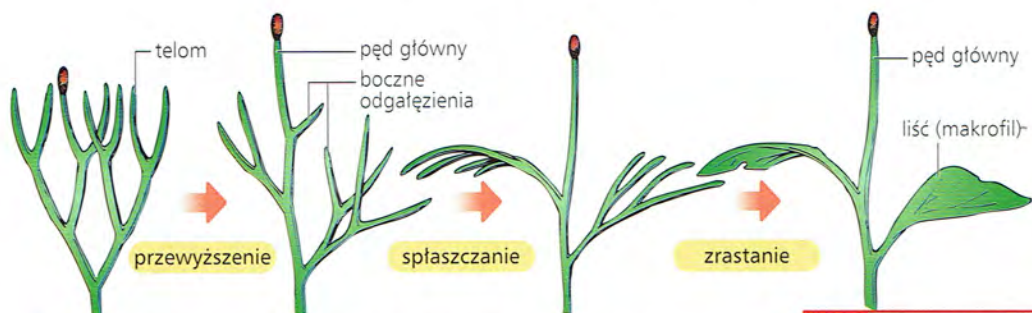
W środowisku lądowym największy problem stanowił ograniczony dostęp do wody, której jedynym źródłem najczęściej jest gleba. Aby wydajnie pobierać wodę z roztworu glebowego, rośliny musiały wytworzyć skuteczne przystosowania w postaci rozbudowanego systemu korzeniowego. Drugim niekorzystnym zjawiskiem, któremu musiały sprostać rośliny

wychodzące na ląd, była utrata wody w wyniku parowania. Aby temu zapobiec, w drodze ewolucji wytworzyły one **skórkę** pokrytą warstwą **kutikuli**. Ograniczała ona jednak nie tylko parowanie wody, lecz także wymianę gazową. Rośliny musiały zapewnić sobie dostęp do dwutlenku węgla niezbędnego w procesie fotosyntezy, wykształciły więc **aparaty szparkowe**. Konkurując o dostęp do światła, rośliny lądowe osiągają znaczne wysokości (np. sekwoje mierzące powyżej 100 m). Nie byłoby to możliwe, gdyby nie wykształcenie systemu wyspecjalizowanych tkanek przewodzących (drewna i łyka) oraz wzmacniających.

Teoria telomowa

Współczesne rośliny – zarówno te o prostej budowie beztkankowej (np. mszaki), jak i złożone rośliny nasienne – nazywamy roślinami **telomowymi** lub **osiowymi**. **Telom** to jednostka morfologiczna wprowadzona w 1930 roku przez niemieckiego morfologa Waltera Zimmermanna. Telom jest definiowany jako jednoosiowe, najwyższego rzędu odgałęzienie sporofitu zaopatrzone w nierozgałęzioną wiązkę przewodzącą. Mechanizm przekształcenia pierwotnego dychotomicznego układu telomów w system monopodialny (z pędem

głównym) opisuje sformułowana przez Zimmermanna **teoria telomowa**. [14.1.1] Według tej teorii z przekształceń telomów powstały wszystkie organy sporofitu roślin wyższych. Telom, który rósł najszybciej, przejmował funkcje pędu głównego. Pozostałe telomy odginały się od głównej osi, w wyniku czego układały się stopniowo w jednej płaszczyźnie. W dalszym etapie następowało zrastanie rozgałęzień prowadzące do powstania dużych liści (**makrofilii**) o rozgałęzionym systemie wiązek przewodzących i dużej powierzchni.



14.1. Schemat przekształceń telomów zgodnie z teorią telomową



Opis proces powstania makrofilii.

Najstarsze rośliny lądowe

Do najprymitywniejszych roślin telomowych należą przedstawiciele wymarłej gromady **ryniofitów** (*Rhyniophyta*). Za najstarszą z nich uznaje się niewielką **kuksonię** (*Cooksonia* sp.), która pojawiła się w połowie syluru (ok. 428–420 mln lat temu). [14.2.1] Została opisana przez Williama Henry'ego Langa, który w 1934 roku odkrył okazy *Cooksonia pertoni* w kamieniołomie Perton Quarry w Wielkiej Brytanii. Na podstawie odnalezionego materiału kopalnego poznano jak dotąd budowę sporofitu kuksonii. Roślina prawdopodobnie wytwarzała nagie, podziemne (lub podwodne) kłącze, z którego wyrastały nad powierzchnię rozgałęzione widlasto (dychotomicznie) bezlistne łodyżki. Każde odgałęzienie łodyżki stanowiło morfologiczną jednostkę zwaną **telomem**.



14.2. Kuksonia (*Cooksonia* sp.) – najstarsza znana roślina lądowa

Innym przedstawicielem ryniofitów jest rynia (*Rhynia gwynne-vaughanii*) **114.3.1**, od której wzięła nazwę cała gromada. Jej sporofit, podobnie jak u kuksonii, miał kształt walcowatego, rozgałęzionego dychotomicznie „pędu” (wysokości ok. 18 cm), którego nadziemna, bezlistna część wyposażona była w aparaty szparkowe i zawierała chlorofil. Zwieńczeniem niektórych widlastych rozgałęzień były cylindryczne zarodnie produkujące zarodniki o jednakowej morfologii. Dzięki temu sporofit był zdolny do asymilacji i rozmnażania. Podziemną część rośliny stanowiły rozgałęzione kłącza, z których wyrastały jednokomórkowe chwytaki będące wytworem skórki. Na przekroju poprzecznym pędu wyraźnie widoczna jest prymitywna wiązka przewodząca z centralnie położonym pasmem drewna (tzw. protostela). Gametofit *Rhynia gwynne-vaughanii* miał postać niewielkich, kilkumilimetrowych łodyżek rosnących w skupiskach. Rynie były dwupienne, a zatem męskie i żeńskie gametangia znajdowały się na różnych łodyżkach.

Cykl rozwojowy i przemianę pokoleń ryniofitów najlepiej opisano na przykładzie *Aglaophyton major* (dawniej: *Rhynia major*). **114.4.1** Gatunek ten miał dobrze wykształcone, dwupienne męskie i żeńskie gametofity oraz sporofit o odmiennej od nich morfologii. Ewolucja ryniofitów przebiegała

dwukierunkowo. Jedna gałąź przekształciła się w mszaki, co nastąpiło w wyniku specjalizacji i rozwoju gametofitu przy jednoczesnej redukcji sporofitu. Z drugiej gałęzi wywodzą się paprotniki, rośliny nagonasienne i okrytonasienne. W tej linii rozwojowej gametofit ulegał z kolei redukcji na rzecz sporofitu. Paprotniki i rośliny nasienne nie są więc potomkami mszaków. Wszystkie te grupy roślin miały wspólnego przodka – ryniofity.

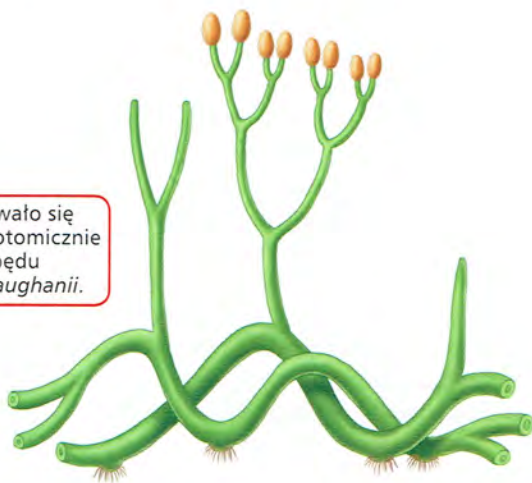
Linie rozwojowe ryniofitów są wynikiem coraz lepszego przystosowywania się do warunków panujących w środowisku lądowym. Jak się okazuje, dominacja sporofitu zapewniła roślinom znacznie większy sukces ewolucyjny. Przejawem kierunku, w jakim zmierzała adaptacja roślin do życia na lądzie, było wyodrębnienie z ryniofitów dwóch gromad. Pierwszą z nich były **zosterofilofity** (*Zosterophyllophyta*). Przedstawicielem tej wymarłej gromady prymitywnych roślin o dominującym sporoficie jest *Sawdonia ornata*. **114.5.1** Cechą charakterystyczną tego gatunku były zarodnie zebrane na zakończeniach telomów i tworzące strukturę kłosa. Ich widlasto rozgałęziające się łodyżki były okryte małymi kolczatymi lub płatownymi wyrostkami, służącymi najprawdopodobniej zwiększeniu powierzchni asymilacyjnej. Przypuszcza się, że potomkami zosterofilofitów są **widłakowe** (*Lycophyta*).



14.3. *Rhynia gwynne-vaughanii* – jeden z lepiej opisanych ryniofitów



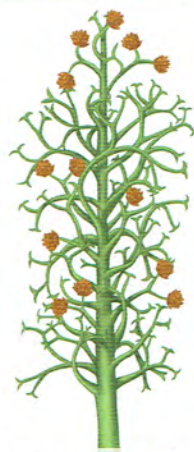
Podaj, co znajdowało się na szczycie dychotomicznie rozgałęzionego pędu *Rhynia gwynnevaughanii*.



14.4. *Aglaophyton major* – przedstawiciel ryniofitów



14.5. *Sawdonia ornata* – przedstawiciel zosterofilofitów



14.6. *Petrica sp.* – przedstawiciel trymerofitów

Z ryniofitów wywodzą się również **trymerofity** (*Trimerophytophyta*), u których wyraźnemu zaburzeniu uległ układ równocennych, dycho-
tomicznie rozgałęzionych telomów na rzecz dominującej, pojedynczej osi głównej (**układ**

monopodialny). **14.6.1** Prawdopodobnie to właśnie trymerofity dały początek skrzypowym (*Sphenophyta*), paprociowym (*Pterophyta*), psyllotowym (*Psilotophyta*) i pranagozależnym (*Progymnospermophyta*).

PODSUMOWANIE

- Zarówno mszaki, jak i złożone rośliny nasienne nazywane są roślinami telomowymi.
- Najprawdopodobniej przodkowie współczesnych roślin wywodzili się z grupy zieleńców zwanych ramienicami.
- Najstarsza znana roślina to należąca do ryniofitów kuksonia, która pojawiła się w połowie syluru (ok. 428–420 mln lat temu).
- Na przekroju poprzecznym pędu ryniofitów wyraźnie widoczna była protostela, czyli pojedyncza wiązka przewodząca z centralnie położonym pasmem drewna.
- Ewolucja ryniofitów przebiegała dwukierunkowo: jedna gałąź dała początek mszacom, druga natomiast (zosterofilofity i trymerofity) – paprotnikom i roślinom nasiennym.
- Procesy powstawania organów roślinnych opisuje sformułowana przez Waltera Zimmermanna teoria telomowa.

ZADANIA

1. Podzielcie się na grupy – zadaniem każdej z grup będzie opracowanie plakatu przedstawiającego najważniejsze przyczyny, które doprowadziły do zdobycia lądu przez rośliny, oraz trudności, jakie rośliny musiały pokonać, gdy zdobywały środowisko lądowe.
2. Określ, jakim typem pokolenia (sporofitem czy gametofitem) były szczątki kuksonii znalezione w kamieniołomie Perton Quarry w Wielkiej Brytanii.
3. Na podstawie analizy rysunków w podręczniku, na których zamieszczono przedstawicieli ryniofitów, zosterofilofitów i trymerofitów, podaj dwa argumenty na poparcie teorii, że widłaki i skrzypy nie są swoimi ewolucyjnymi następcami.
4. Określ nazwę charakterystycznej dla ryniofitów wiązki przewodzącej z centralnie położonym pasmem drewna.

BIBLIOGRAFIA

Najpiękniejsza historia roślin, oprac. zbiorowe, Wydawnictwo Cyklady, Warszawa 2006.

15. Budowa i funkcje tkanek roślinnych. Tkanki twórcze

Większość komórek, gdy osiągnie odpowiednią wielkość, ulega podziałowi na dwie komórki potomne. Aby zapewnić sprawne funkcjonowanie organizmu złożonego z wielu komórek, tworzą one współdziałające ze sobą zespoły wyspecjalizowane w pełnieniu określonych funkcji. Te zespoły komórek to **tkanki**. Jeśli współtworzące daną tkankę komórki mają podobną budowę i wspólne pochodzenie, mówimy o **tkance jednorodnej**. Gdy komórki w obrębie jednej tkanki mają zróżnicowane pochodzenie i budowę, jest to **tkanka niejednorodna**. Powstanie wyspecjalizowanych tkanek sprawiło, że rośliny mogły opanować środowisko lądowe. Najprymitywniejsze rośliny – mszaki – jako organizmy pionierskie ściśle związane ze środowiskiem wodnym cechują się najprostszą budową. Najwyżej zorganizowane pod względem budowy tkankowej są natomiast rośliny okrytonasienne.

Podział tkanek roślinnych

Tkanki roślinne w pierwszej kolejności dzieli się ze względu na zdolność do podziałów tworzących

je komórek, następnie uwzględniane są budowa morfologiczna i funkcja tkanki.



Tkanki twórcze

Tkanki merystatyczne cechuje zdolność do podziałów. Charakterystycznymi cechami budowy tworzących je komórek są: niewielkie rozmiary, duże jądro komórkowe, cienka ściana komórkowa oraz słabo rozwinięte wakuole zawieszone w gęstej cytoplazmie. W wyniku zachodzących w obrębie merystemów podziałów mitotycznych produkowane są nowe komórki, które w miarę rozwoju rośliny ulegają stopniowej specjalizacji i zmianom morfologicznym. Następnym zachodzącym podziałów jest wzrost całej rośliny lub jej organów. Rośliny cechuje wzrost **zlokalizowany i nieograniczony**. Oznacza to, że zachodzi on jedynie

w pewnych partiach roślin (wierzchołek wzrostu korzenia i pędu), trwa za to przez całe ich życie z niemal podobną intensywnością. Tkanę merystatyczną niektórych organów (liści, kwiatów, owoców) cechuje wzrost **dyfuzyjny i ograniczony** (typowy dla zwierząt). Organy te są praktycznie w całości zbudowane z tkanki merystatycznej, co powoduje, że rosną w całej swojej objętości. Gdy okres wzrostu danego organu mija, tkanka merystatyczna przekształca się w tkankę stałą. Ze względu na moment powstania tkanki merystatyczne możemy podzielić na pierwotne i wtórne. Merystemy pierwotne są to grupy ko-

mórek inicjalnych (zdolnych do podziałów), które funkcjonują w roślinie w sposób ciągły, począwszy od okresu zarodkowego. Wtórne tkanki merystematyczne są utworzone przez

komórki należące do tkanek stałych, które utraciły zdolność do podziałów, ale w określonych sytuacjach odzyskują właściwości komórek inicjalnych.

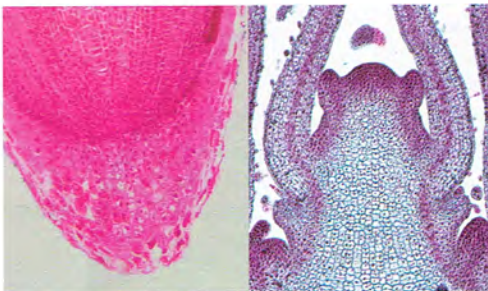
TKANKI MERYSTEMATYCZNE



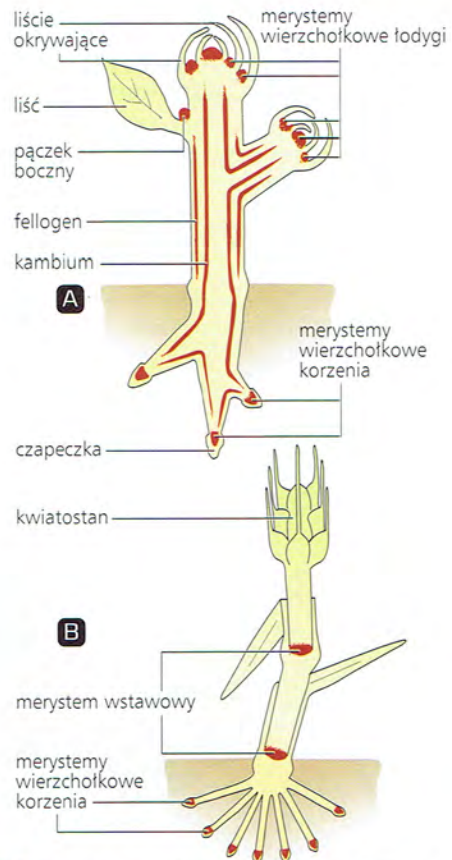
Tkanki pierwotne

Merystem wierzchołkowy korzenia i pędu

Najbardziej typowym przykładem merystemu pierwotnego są **tkanki twórcze korzenia** [15.1.] i **pędu** [15.2.] (zwane **stożkami wzrostu**), występujące na ich szczycie. Podziały zachodzące w ich obrębie odpowiadają za faktyczny przyrost rośliny na długość. Zarówno w merystemach korzenia, jak i łodygi znajduje się niewielka ilość komórek inicjalnych, zapoczątkowujących podziały. W przypadku stożka wzrostu korzenia tkanka twórcza chroniona jest dodatkowo przez zbudowaną z komórek mięsistowych **czapeczkę**. [15.3.]



15.1. Stożek wzrostu korzenia rośliny nasiennej **15.2.** Stożek wzrostu pędu rośliny nasiennej



15.3. Rozmieszczenie merystemów w roślinie: A) dwuliściennej, B) jednoliściennej

Merystem interkalarny (wstawowy)

Szczególnym typem miękiszu pierwotnego jest **miękisz interkalarny**. Jest on charakterystyczny dla roślin zielnych (jednoliściennych), choć spotyka się go również u roślin dwuliściennych (np. u goździkowatych). Komórki inicjalne tego miękiszu pochodzą z merystemu wierzchołkowego pędu, a zlokalizowane są u podsta-

wy międzywęźli. Ten typ tkanki twórczej jest typowy dla roślin szybko tworzących na zakończeniach pędu kwiaty lub kwiatostany, co jest równoznaczne z zakończeniem działania merystemu wierzchołkowego. Przyrost rośliny na długość jest wówczas możliwy dzięki miękiszowi interkalarnemu.

Tkanki wtórne

Swoją grubość pędy i korzenie zawdzięczają początkowo działalności pierwotnych merystemów wierzchołkowych. Dalszy przyrost na grubość umożliwiają **kambium** i **fellogen**, czyli **merystemy boczne**. Tkanki te zazwyczaj nie występują u mszaków, paprotników oraz roślin jednoliściennych. Oznacza to, iż nie jest możliwy u nich wtórny przyrost na grubość, dlatego ich pędy nadziemne i korzenie są stosunkowo cienkie. Obecność kambium i fellogenu obserwuje się natomiast u roślin nagonasiennych oraz okrytonasiennych dwuliściennych.

Kambium wiązkowe (miazga)

Kambium wiązkowe zlokalizowane jest pomiędzy warstwami tyka i drewna (opisanymi w dalszej części rozdziału). Ma ono postać pasma komórek o kształcie falistym, którego kształt uzależniony jest od budowy wiązki drewna pierwotnego (zlokalizowanego w środku).

Kambium wiązkowe tworzą komórki inicjalne, z których po podziale jedna zachowuje charakter inicjalny, a druga ulega zróżnicowaniu. Jeśli różnicuje się komórka po stronie położonej

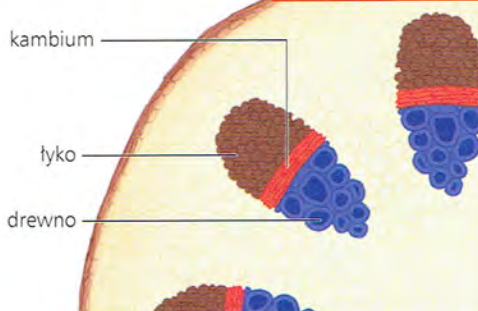
do wewnątrz rośliny, to przekształca się ona w drewno (tzw. drewno wtórne), a jeśli po stronie przeciwnej – przekształca się w tyko (tzw. tyko wtórne).

Wiązki przewodzące mogą mieć różną strukturę, co zależy od ułożenia tyka i drewna względem siebie. Wiązki koncentryczne, rzadziej spotykane, są utworzone przez centralnie położone drewno otoczone tykiem lub centralnie położone tyko otoczone przez drewno. Najczęściej (zwłaszcza w łodygach) spotyka się jednak wiązki kolateralne, w których tyko i drewno występują naprzeciwlegle (tyko po stronie zewnętrznej, a drewno po stronie wewnętrznej wiązki).

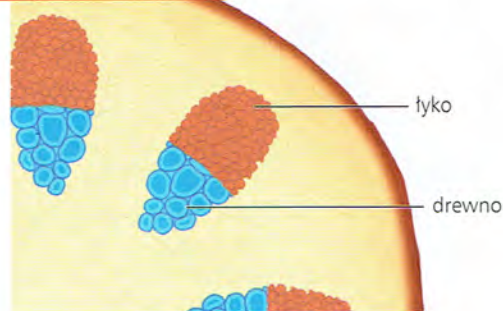
Wiązki kolateralne możemy podzielić ze względu na zdolność do rozrastania się. U roślin nagonasiennych i okrytonasiennych dwuliściennych występują wiązki, w których między tykiem a drewnem obecne jest kambium, co umożliwia przyrost na grubość. Są to **wiązki otwarte**. **15.4.1** U jednoliściennych brak jest kambium wewnątrz wiązek, a zatem nie mogą się one rozrastać. Są to **wiązki zamknięte**. **15.5.1**



Wykaż różnice w funkcjonowaniu wiązki kolateralnej otwartej i zamkniętej.



15.4. Budowa wiązki otwartej



15.5. Budowa wiązki zamkniętej

Fellogen

To tkanka merystematyczna wtórna, powstająca ze stałych komórek miękiszu lub tyka, które ponownie nabierają zdolności podziałowych. Fellogen nazywany jest również **miazgą korko-twórczą** (miazga korkorodna, fellogen). Zlokalizowany jest zwykle w obwodowej części łodygi lub korzenia, a jego działanie jest podobne do miazgi tykodrzewnej z tą różnicą, że na zewnątrz odkładane są komórki tworzące **korek (fellem)**, a do wewnątrz – tworzące **felloderme**. Korek należy do tkanek okrywających i zostanie omówiony w dalszej części rozdziału.



15.6. Tkanka przyranna (kallus) pokryty warstwą korka

Kallus

Nazywany jest również **merystemem przyrannym** [15.6.] i ma charakter tkanki regeneracyjnej, tworzącej się w miejscach uszkodzenia lub zranienia rośliny. Powstaje z komórek miękiszowych lub kambium otaczających uszkodzone miejsce. U roślin wieloletnich powoduje stopniowe zarastanie i zabliznianie się ran. Kallus ma również zdolność do wytwarzania w miejscu zranienia nowych stożków wzrostu, co umożliwia wegetatywne rozmnażanie niektórych roślin poprzez sadzonki.

Merystem archesporialny

Merystem ten (zwany **tkanką zarodnikotwórczą**) jest zlokalizowany w zalążkach i pylnikach kwiatowych. To jedyny typ tkanki merystematycznej, w którym zachodzą podziały mejotyczne, co prowadzi do powstania haploidalnych komórek rozrodczych. Archespor jest utworzony przez komórki stożka wzrostu.

PODSUMOWANIE

- Tkanki roślinne dzielimy na twórcze (merystematyczne) oraz stałe.
- Tkanki merystematyczne dzielimy na pierwotne (merystemy wierzchołkowe korzenia i pędu oraz merystem interkalarny) oraz wtórne (kambium, fellogen, kallus oraz merystem archesporialny).
- Merystemy wierzchołkowe korzenia i pędu oraz merystem interkalarny odpowiadają za przyrost korzenia i łodygi na długość.
- Z merystemów wtórnych: kambium i fellogen odpowiadają za przyrost rośliny na grubość, kallus umożliwia zabliznianie ran, a merystem archesporialny pozwala na wytwarzanie zarodników.



ZADANIA

1. Przeprowadź obserwację preparatu przedstawiającego budowę stożka wzrostu korzenia (np. cebuli). Zwróć uwagę na kształt, wielkość i budowę komórek merystematycznych. Porównaj je z komórkami leżącymi za nimi strefy wydłużania. Wykonaj rysunek oraz omów funkcje komórek tkanki twórczej.
2. Określ, jaki element budowy pierwotnej korzenia bierze udział w tworzeniu zawiązków fellogenu.
3. Znajdź w swoim otoczeniu (np. w domu, ogrodzie) roślinę, którą cechuje wzrost interkalarny. Narysuj jej pokrój i wyjaśnij, dzięki czemu jest możliwy i jak przebiega wspomniany proces.
4. Na podstawie dostępnych źródeł krótko opisz różnice między przyrostem na grubość roślin jednoliściennych i dwuliściennych.



W INTERNECIE

<http://tkanki.ze-swiate.com/index.htm>



16. Budowa i funkcje tkanek roślinnych. Tkanki stałe

Cechą charakteryzującą komórki **tkanek stałych** jest zanik zdolności do podziałów i zróżnicowanie ze względu na pełnioną funkcję. Jądro komórkowe jest relatywnie mniejsze w stosunku do rosnącej komórki. Ściana komórkowa osiąga swoją normalną grubość, rozwijają się system wakuolarny oraz plastidy. Czasami komórka wytwarza grube ściany komórkowe, a protoplast zamiera.

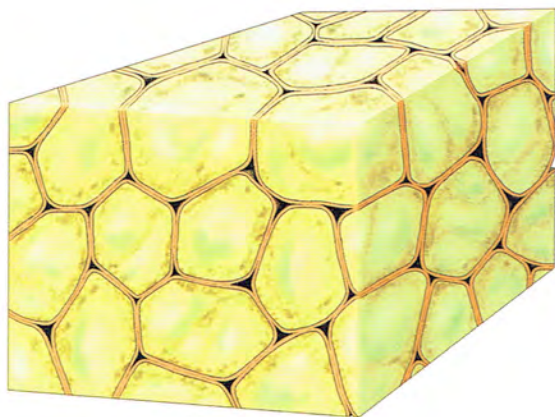


Tkanka miękiszowa (parenchyma)

Jest to najpowszechniej występująca u roślin tkanka stała. Tworzące ją komórki są duże (0,05–0,5 mm), żywe i silnie zwakuolizowane. W ich cytoplazmie są obecne liczne plastidy. Ściana komórkowa jest zbudowana głównie z **celulozy**, a także z **pektyn** oraz **hemicelulozy**. Jest ona

mimo to stosunkowo cienka, dzięki czemu komórki ulegają łatwym odkształceniom i pojawiają się między nimi przestwory międzykomórkowe. Tworzą one skomplikowany system kanalików wewnątrztkankowych uczestniczący w wymianie dwutlenku węgla, tlenu, pary wodnej pomiędzy atmosferą a rośliną. Komórki tkanki miękiszowej nie do końca zatraciły zdolność do podziałów, dlatego w pewnych sytuacjach tkanka ta najszybciej przekształca się w merystem wtórny.

Wyróżnia się kilka odmian miękiszu przystosowanych do pełnienia odmiennych funkcji.



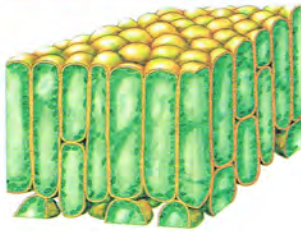
16.1. Miękisz zasadniczy

Miękisz zasadniczy

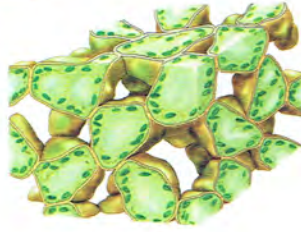
To najbardziej podstawowy typ tkanki miękiszowej, który wypełnia wolne przestrzenie w organach rośliny (np. w korze pierwotnej łodyg i korzeni, miąższu owoców). 16.1.1 Od stanu jego nasycenia wodą zależy między innymi jędrność rośliny.



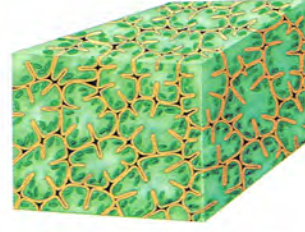
Scharakteryzuj rodzaje miękiszu asymilacyjnego.



16.2. Miękisz palisadowy



16.3. Miękisz gąbczasty



16.4. Miękisz wieloramienny

Miękisz asymilacyjny

To inaczej **chlorenchyma** lub **miękisz zieleninowy**. Cechuje go obecność dużej ilości chloroplastów. Jest to typowa tkanka asymilacyjna, w której zachodzą podstawowe etapy procesu fotosyntezy. Najwięcej miękiszu asymilacyjnego znajduje się w partiach rośliny, które mają dobry dostęp do światła, zwłaszcza w liściach.

Pod względem kształtu i ułożenia w organach roślinnych wyróżniamy następujące rodzaje miękiszu asymilacyjnego:

- **palisadowy** **16.2.1**, którego komórki o cylindrycznym kształcie dość ściśle do siebie przylegają i ułożone są względem siebie równolegle, co przypomina płot lub palisadę (miękisz ten występuje w liściach paprotników oraz roślin dwuliściennych);
- **gąbczasty** **16.3.1**, o luźno ułożonych komórkach tworzących liczne przestrzenie międzykomórkowe, dzięki czemu tkanka ta przypomina gąbkę; jest on niezbędny do prawidłowej wentylacji narządów, w których zachodzi proces fotosyntezy (występuje u wszystkich roślin poza mszakami i nagozalążkowymi);
- **wieloramienny** **16.4.1**, którego komórki ściśle do siebie przylegają (brak przestrzeni międzykomórkowych), są pofałdowane, a ich ściany komórkowe formują się w wieloramiennie wypustki (występuje u nagonasiennych, w igłach).

Miękisz powietrzny (aerenchyma)

Nazywany jest również **mięszkiem przewietrzającym**. **16.5.1** Charakterystyczną jego cechą jest rozwinięty system przestrzeni międzykomórkowych, które niejednokrotnie zajmują większą objętość niż komórki tworzące tkankę. System kanałów powietrznych ułatwia oddychanie organów zanurzonych w wodzie i stanowi dla nich rezerwuuar powietrza (u roślin wodnych i bagiennych).

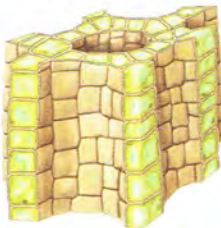
Miękisz spichrzowy

Zwany jest również **mięszkiem bezzielinowym**. **16.6.1** Składają się na niego komórki pozbawione chloroplastów i wypełnione materiałami zapasowymi (skrobią, białkami aleuronowymi, tłuszczami). Miękisz ten występuje w dużych ilościach w korzeniach spichrzowych (np. marchwi), kłączach, bulwach (np. ziemniaka), nasionach oraz owocach.

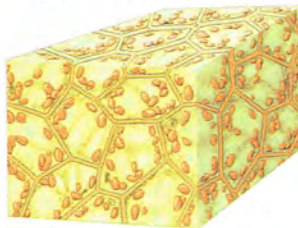
Miękisz wodny (miękisz wodonośny)

Jest to szczególny przykład miękiszu spichrzowego, którego komórki są wyposażone w olbrzymie wodniczki służące do magazynowania wody. **16.7.1** Występuje u sukulentów (np. kaktusów).

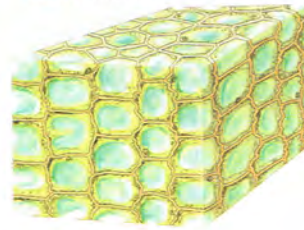
16.5. Miękisz powietrzny



16.6. Miękisz spichrzowy



16.7. Miękisz wodny



Tkanka wzmacniająca

Tkanka ta, nazywana również **tkanką mechaniczną**, ma za zadanie wzmacniać roślinę oraz nadawać jej odpowiednią sztywność i elastyczność. Jest to szczególnie ważne u roślin lądowych, ponieważ umożliwia im utrzymanie pozycji pionowej i uodparnia na działanie wiatru. Tkankę wzmacniającą cechuje zwarta struktura, a jej komórki mają grube ściany komórkowe. Pod względem budowy i rozmieszczenia tkankę wzmacniającą dzielimy na kolenchymę (zwarcicę) oraz sklerenchymę (twardzicę).

Kolenchyma (zwarcica)

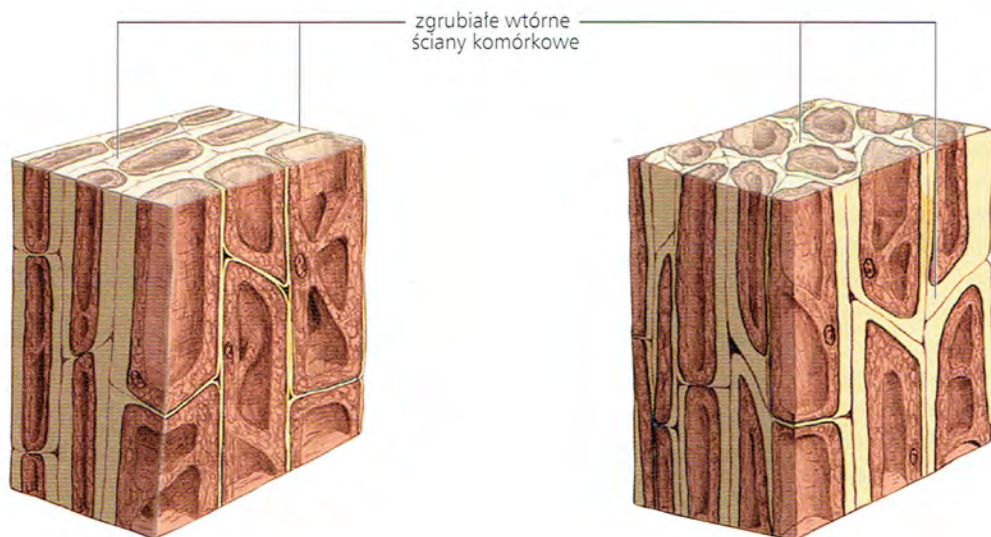
Jest tkanką wzmacniającą zbudowaną z żywych komórek o wydłużonym kształcie. Ich niezdrewniałe ściany komórkowe (zbudowane z celulozy oraz pektyn) tworzą charakterystyczne zgrubienia. Gdy występują one w pasmach komórek wzajemnie równoległych, mamy do czynienia z **kolenchymą płatową**. **16.8.1** Jeśli zgrubieniu ulegają ściany komórkowe będące miejscem styku trzech lub więcej sąsiadujących komórek, to mówimy o **kolenchymie kątowej**. **16.9.1** Zwarcica najczęściej spotykana jest w ogonkach liściowych oraz w obwodowych partiach łodyg zielonych. Chloroplasty

obecne w komórkach kolenchymy mogą uczestniczyć w procesie fotosyntezy. Kolenchyma jest na tyle elastyczna, że nie hamuje wzrostu organów, w których się znajduje.

Sklerenchyma (twardzica)

To tkanka wzmacniająca zbudowana z martwych komórek o znacznie grubszych (w porównaniu do kolenchymy) i na ogół zdrewniałych (inkrustowanych **ligniną**) ścianach komórkowych. Taka budowa tkanki jest możliwa dzięki zmniejszeniu objętości cytoplazmy w komórkach: po osiągnięciu przez cytoplazmę pewnej wielkości komórka zamiera. Twardzica występuje w postaci włókien sklerenchymatycznych oraz komórek kamiennych (zwanymi sklereidami).

Włókna sklerenchymatyczne 16.11.1 to silnie wydłużone komórki zachodzące na siebie i tworzące pasma o niezwykle wytrzymałości na zerwanie. Widoczny w centralnej części włókna wąski kanalik jest jedyną pozostałością po cytoplazmie. Ponieważ proces drewnienia (przesycania ligniną) włókien jest długotrwały, spotyka się je głównie w starszych łodygach, w których zakończony został wzrost na długość.

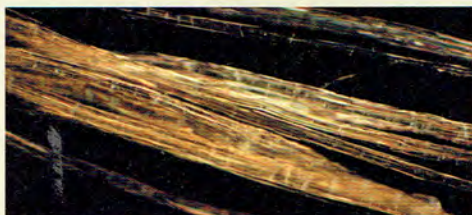


16.8. Kolenchyma (zwarcica) płatowa

16.9. Kolenchyma (zwarcica) kątowa

:: Ciekawostka

Włókna sklerenchymatyczne konopi lub lnu osiągają długość nawet do 10 centymetrów. Ich średnica rzadko przekracza 20 mikrometrów, jest więc kilka tysięcy razy mniejsza od ich długości!



Włókno konopi

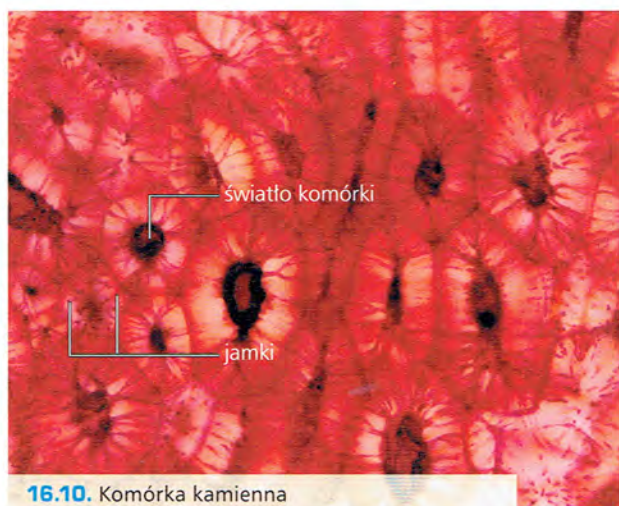
Komórki kamienne (sklereidy) 16.10.1 mają urozmaicony kształt (nieregularny lub rozgałęziony), jednak zawsze jest to odmiana typowego dla tych komórek bryłowatego modelu budowy. Podobnie jak włókna sklerenchymatyczne sklereidy są martwe, a ich zgrubiałe celulozowe ściany są wysyczone ligniną, czyli zdrewniałe. Komórki kamienne występują w tkance budującej zewnętrzne części nasion, pestek czy łupin orzechów (typowym przykładem miejsca ich występowania jest miąższ owocu gruszy).

Tkanka przewodząca

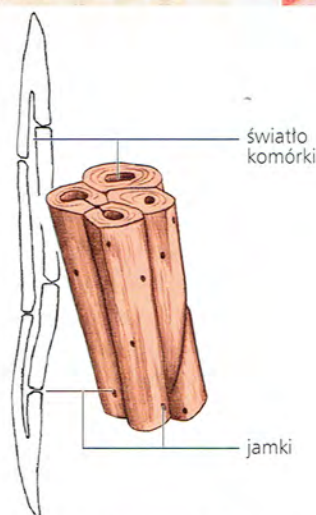
Wytworzenie tkanek przewodzących było związane z przystosowaniem roślin do lądowego trybu życia i dążeniem do osiągnięcia jak największych rozmiarów. Zadaniem tych tkanek jest transport wody i soli mineralnych z korzeni do liści oraz produktów fotosyntezy (**asymilatów**) z liści do innych organów. Wyróżnia się dwa typy tkanek przewodzących: drewno (ksylem) i łyko (floem).

Drewno (ksylem)

Jest tkanką przystosowaną do transportu wody i soli mineralnych pobranych wcześniej w systemie korzeniowym. Ksylem tworzą martwe komórki o zdrewniałych ścianach (zawierających ligninę). Ze względu na obecność sztywnej i grubej ściany komórkowej tkanka ta dodatkowo wzmacnia ro-



16.10. Komórka kamienna



16.11. Włókno sklerenchymatyczne

ślinę. Transport wody i soli mineralnych z korzeni do innych organów jest możliwy dzięki zjawisku parowania (transpiracji) wody z powierzchni liści. Wytworzone wówczas podciśnienie (zwane siłą ssącą liści) zapewnia stały przepływ wody w komórkach drewna. Do tego typu transportu nie jest wymagane zużycie energii chemicznej, jest to więc transport bierny. Ksylem jest tkanką niejednorodną, składającą się z komórek zwanych **cewkami** oraz **naczyń** osiągających najwyższy stopień organizacji u dwuliściennych roślin okrytonasiennych.

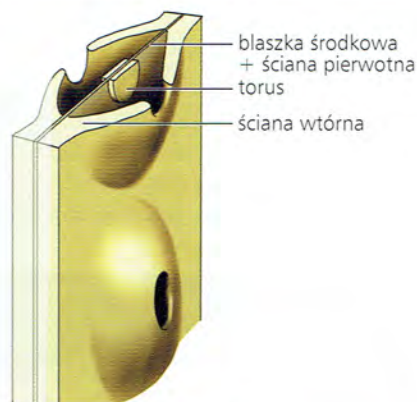
Cewki 16.12.1 to komórki o wrzecionowatym kształcie, w których ścianach występują lejkowate otwory (tzw. jamki lejkowate) **16.13.1** zapewniające przepływ substancji pomiędzy sąsiednimi cewkami. Jamki te zbudowane są



16.12. Budowa drewna – cewki

z grubej ściany komórkowej, a w przekroju przypominają lejek (stąd nazwa). **16.13.1** Dwie sąsiadujące cewki oddziela blaszka utworzona przez cienką ścianę pierwotną, która w obszarze jamki tworzy rodzaj zatyczki (tzw. torus). Cewki zachodzą na siebie zwężonymi końcami i przylegają do siebie bocznymi ścianami (przez które odbywa się przepływ wody). Pnąc się w górę, woda musi pokonać skomplikowaną drogę, ponieważ cewki zachodzą na siebie w sposób nieregularny. Cewki są charakterystyczne dla paprotników oraz nagonasiennych.

Naczynia stanowią bardziej zaawansowany ewolucyjnie system transportu wody w roślinie. Tworzą je ułożone szeregowo wydłużone komórki (tzw. **człony naczyniowe**), w których nastąpił częściowy lub zupełny zanik ścian poprzecznych. **16.14.1** Woda z solami mineralnymi może dzięki temu przepływać swobodnie na dużych odcinkach, co znacznie przyspiesza ten proces. Podobnie jak cewki, również naczynia mają zdrewniałe ściany komórkowe



16.13. Budowa jamki lejcowatej

zaopatrzone od wewnątrz w różnego rodzaju zgrubienia (pierścieniowate, spiralne). Sąsiadującym naczyniom kontakt zapewniają jamki lejcowate. Wykształcenie naczyń było ważnym krokiem zwiększającym dostosowanie roślin do środowiska lądowego. Następowo to stopniowo, o czym świadczy istnienie form przejściowych pomiędzy cewkami a członami naczyniowymi (np. o częściowo zachowanych ścianach poprzecznych). Naczynia występują głównie u okrytonasiennych, chociaż i u nich mogą pojawiać się cewki lub formy o charakterze przejściowym.

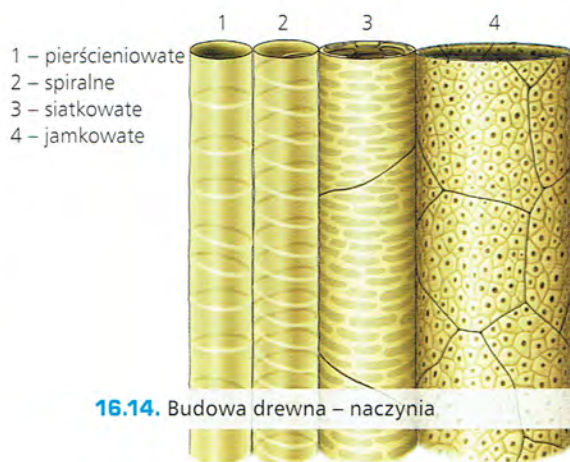
Oprócz cewek i naczyń w skład ksylemu wchodzi elementy wspomagające. Są to włókna drewnne oraz komórki miększu drewnego.

Włókna drewnne występują pojedynczo lub w skupiskach pomiędzy innymi elementami drewna. W ich zdrewniałych ścianach obecne są nieliczne i zredukowane jamki lejcowate. Włókna stanowią dodatkowo wzmacniający element drewna.

Miękisz drewny stanowią pasma żywych komórek rozlokowanych pomiędzy elementami przewodzącymi drewna. Miękisz ten to jedyny żywy element ksylemu. Może on pełnić rolę tkanki spichrzowej, lecz przede wszystkim zapewnia łączność z innymi tkankami: dostarcza im transportowane przez drewno wodę i sole mineralne.

Łyko (floem)

Jest tkanką przystosowaną do przewodzenia organicznych produktów fotosyntezy (głównie cukrów). Przemieszczanie asymilatów jest bardziej skomplikowane niż transport wody i soli mine-



16.14. Budowa drewna – naczynia

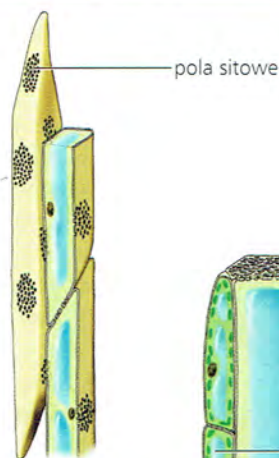
ralnych. Glukoza wytworzona w liściach nie może szybko i wydajnie dyfundować z liści do innych (czasem bardzo odległych) organów rośliny. Jeżeli mechanizm, który to umożliwia, wymaga nakładu energii (w postaci ATP), nazywamy go **transportem aktywnym**. Ze względu na konieczność ciągłego dostarczania energii, komórki tyka muszą pozostać żywe. Floem, podobnie jak ksylem, jest tkanką niejednorodną, złożoną z komórek o odmiennej morfologii. Są to komórki sitowe lub rurki sitowe.

Komórki sitowe są najprymitywniejszą postacią komórek tykowych. Mają kształt wrzecionowaty, a ich ściany boczne zawierają skupiska otworów (są to tzw. **pola sitowe**). **16.15.1** Zapewniają one kontakt cytoplazm sąsiadujących komórek i ciągłość transportu asymilatów w roślinie. Komórki sitowe są charakterystyczne dla paprotników oraz nagonasiennych.

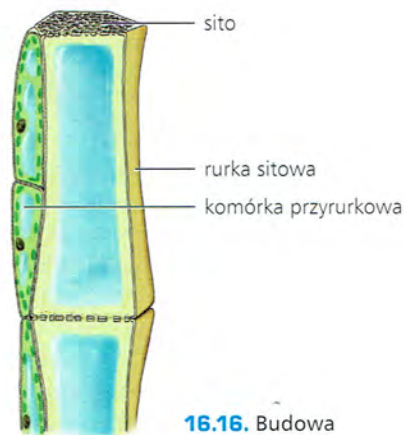
Rurki sitowe to zaawansowane ewolucyjnie komórki tyka (tworzą je tzw. **człony rurek sitowych**). **16.16.1** Komórki te są żywe, ich ściana komórkowa jest zbudowana z celulozy, a wnętrze wypełnia duża wakuola. Jądro komórkowe w dojrzałych komórkach rurek sitowych najczęściej ulega zanikowi. Poprzeczne płaszczyzny oddzielające od siebie dwa człony rurek sitowych zawierają liczne otwory i nazywane są **sitami**. Przez pory w sitach, o średnicy znacznie większej niż w polach sitowych występujących w komórkach sitowych, przenikają grube pasma cytoplazmy zapewniające łączność sąsiadujących komórek. Ten typ komórek tyka występuje u okrytonasiennych.

Poza komórkami tykowymi, pełniącymi podstawowe funkcje transportowe, w tyku możemy również wyróżnić kilka rodzajów komórek wspomagających. Są to: komórki towarzyszące, komórki miękiszu tykowego oraz włókna tykowe.

Komórki towarzyszące (lub **komórki przyrurkowe**) występują jedynie u okrytonasiennych. Są znacznie mniejsze od komórek tworzących człony rurek sitowych i ściśle do nich przylegają. Komórki przyrurkowe mają w pełni funkcjonalne jądro komórkowe, które zawiaduje procesami metabolicznymi rurki sitowej. Komórki towarzyszące współdziałają również w transporcie asymilatów.



16.15. Budowa komórek sitowych



16.16. Budowa rurek sitowych

Miękisz tykowy składa się z komórek o mniej lub bardziej wydłużonym kształcie. Zajmuje położenie zewnętrzne względem rurek sitowych i komórek towarzyszących, tworzy długie pasma ciągnące się wzdłuż głównej tkanki przewodzącej. W korzeniach spichrzowych miękisz tykowy (występujący tam w wyjątkowej obfitości) może przekształcić się w tkankę spichrzową.

Włókna tykowe są dłuższe od włókien drzewnych i pełnią funkcję wzmacniającą. Otaaczają „rdzeń” zbudowany z komórek sitowych i miękiszowych. Są obecne jedynie u okrytonasiennych. U nagonasiennych i paprotników tyko składa się wyłącznie z komórek sitowych i miękiszu tykowego.

:: Ciekawostka

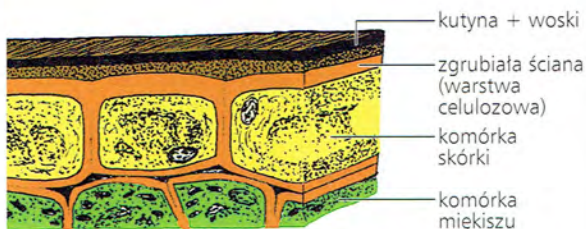
Powszechnie traktuje się **drewno** (ksylem) jako tkankę odpowiedzialną wyłącznie za transport wody i soli mineralnych. U roślin wieloletnich jednak, po okresie zimowego uśpienia (gdy następuje gwałtowne pobudzenie metabolizmu, tempa rozwoju i wzrostu), ksylem transportuje związki organiczne zmagazynowane w korzeniowej tkance spichrzowej. Docierają one do kiełkujących pąków i liści, w których proces fotosyntezy jeszcze nie zachodzi.

Tkanka okrywająca

Tkanka okrywająca pełni podwójną rolę. Chroni roślinę przed działaniem szkodliwych czynników pochodzenia zewnętrznego oraz pośredniczy w przepływie substancji pomiędzy środowiskiem a wnętrzem rośliny. U młodych roślin wszystkie organy pokrywa pierwotna tkanka okrywająca, czyli jednowarstwowa skórka, tworzona przez ściśle do siebie przylegające komórki o ścianach zbudowanych z celulozy. Wyróżnia się dwa typy skórki: **epidermę** pokrywającą nadziemne części rośliny oraz **epiblemę (ryzodermę)** obecną w korzeniach. U starszych roślin występuje wtórna tkanka okrywająca, czyli **peryderma (korkowica)**.

Epiderma

To tkanka występująca w częściach nadziemnych roślin (pędach, liściach), zbudowana z żywych komórek. Odnacza się znacznym zgrubieniem zewnętrznych ścian komórkowych. Ponieważ skórka odgranicza wnętrze roślin od środowiska zewnętrznego, jej budowa jest kluczowa dla **adaptacji** (przystosowania) tych organizmów do życia na lądzie. Rośliny lądowe muszą szczególnie dbać o gospodarkę wodną, dlatego – po pierwsze – pobierają odpowiednią ilość wody z roztworu glebowego, a po drugie – wykształcają mechanizmy zapobiegające nadmiernej utracie wody w wyniku parowania (**transpiracji**). W tym celu zewnętrzna warstwa ściany komórkowej komórek tworzących epider-



16.17. Przekrój przez epidermę pokrytą kutykulą

mę jest dodatkowo pokryta (**adkrustowana**) **kutyką** – substancją pochodzenia tłuszczowego, nieprzepuszczalną dla wody i gazów. Kutyka sąsiadujących komórek skórki tworzy ciągłą warstwę zwaną **kutykulą**. 16.17.1

U niektórych gatunków roślin w skutynizowanych ścianach komórkowych może występować domieszka **wosku** przejawiająca się w postaci szarego nalotu (np. na owocach winorośli lub śliwy). Dyfuzja wody i gazów przez epidermę pokrytą warstwą kutyny i wosku jest praktycznie zerowa. Skórka jest tkanką bardzo zróżnicowaną, której komórki mogą ulegać przekształceniom. Do wytworów skórki należą: aparaty szparkowe, kolce, włoski oraz włośniki.

Aparaty szparkowe to specjalne struktury, których zadaniem jest regulowanie transpiracji wody z powierzchni liści oraz przewietrzanie tkanek odpowiedzialnych za fotosyntezę. Aparaty szparkowe najczęściej występują po spodniej stronie liści, rzadziej na wierzchniej stronie lub na powierzchni łodyg. W skórcie korzenia (epiblemie) nie występują w ogóle. Typowy aparat

Rodzaje włosków u roślin

Czepne

Ułatwiają przyczepianie się do ciał zwierząt lub podłoża.



chmiel
(*Humulus sp.*)



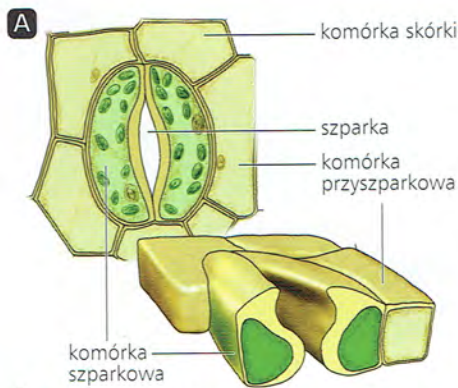
przytulia czepna
(*Galium aparine*)

Parzące

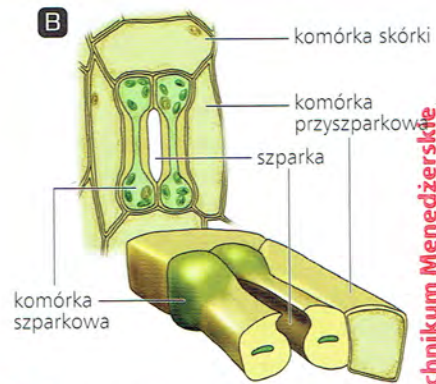
Pełnią funkcję obronną, zapobiegają zjedzeniu przez roślinożerców.



pokrzywa
(*Urtica sp.*)



16.18. Budowa aparatu szparkowego rośliny dwuliściennej



16.19. Budowa aparatu szparkowego rośliny jednoliściennej

Technikum Menedżerskie
ul. Fordońska 74, 85-719 Bydgoszcz
tel. 52 516 18 34

szparkowy roślin dwuliściennych [16.18.1] jest tworzony przez dwie komórki o kształcie fasonowym, różniące się od pozostałych obecnością chloroplastów. Ponadto ściany jego komórek są nierównomiernie zgrubiałe, co powoduje odkształcenia komórki w zależności od jej turgoru (ciśnienia wewnętrznego). Wzrost stężenia asymilatów powstałych w drodze fotosyntezy skutkuje wzrostem ciśnienia osmotycznego. Na skutek tego woda napływa do komórki, która ulega odkształceniu – tworzy się otwór zwany porą szparkowym. Następuje wzmożenie transpiracji, która jest niezbędna dla zapewnienia siły ssącej prowadzącej wodę systemem korzeniowym do liści. Nocą, gdy tempo fotosyntezy słabnie, ciśnienie osmotyczne w aparacie szparkowym spada i otwór szparkowy się zamyka. Nieco odmienna budowa cechuje aparaty szparkowe roślin jednoliściennych (np.

traw). [16.19.1] Składają się one z dwóch komórek o kształcie wydłużonym, których zakończenia mają cienkie ściany, a część przyśrodkowa – ścianę grubą. W miarę wzrostu turgoru końcowe części komórek szparkowych rozciągają się i powodują odsunięcie się komórek od siebie.

Włoski to najbardziej zróżnicowane morfologicznie i funkcjonalnie wytwory epidermy. Mogą być jedno- lub wielokomórkowe, proste lub rozgałęzione. Rzadko są tworami żywymi (zwiększałoby to powierzchnię parowania rośliny). Częściej są martwe, wypełnione powietrzem i stanowią izolację przed utratą wody. Jeśli warstwa utworzona przez włoski jest wyjątkowo gęsta, nosi nazwę **kutneru** (np. u dziewanny, szarotki alpejskiej). Innymi przykładami wyspecjalizowanych włosków są: **włoski parzące**, **gruczołowe** oraz **włoski czepne**.

Gruczołowe

Zawierają enzymy trawienne lub substancje zapachowe.



rośliczka
(*Drosera* sp.)



pelargonja
(*Pelargonium* sp.)

Kutnerowe

Chronią roślinę przed utratą wody w wyniku parowania.



szarotka alpejska
(*Leontopodium alpinum*)



dziewanna kutnerowa
(*Verbascum phlomoides*)

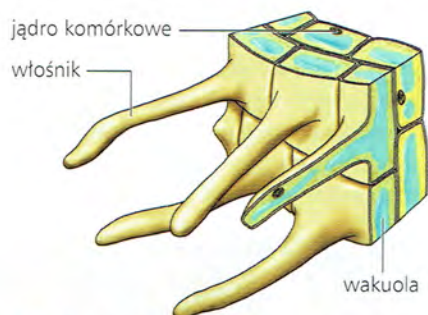
Kolce [16.20.1] to wyrostki na powierzchni rośliny utworzone przez skórkę oraz leżącą poniżej tkankę miękką. Kolce są sztywne, ostro zakończone i nie są połączone z resztą rośliny za pomocą tkanki przewodzącej (w przeciwieństwie do cierni, które są przekształconymi organami bocznymi rośliny). Typowym przykładem kolców są kolce róży.



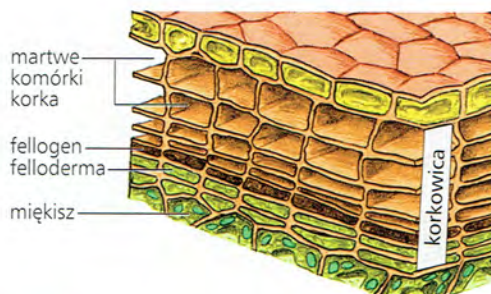
16.20. Budowa kolca

Epiblema (ryzoderma)

Zadaniem epiblemy, pokrywającej powierzchnię korzeni, jest przede wszystkim zapewnienie sprawnego pobierania wody i soli mineralnych z gleby. Tkanka ta, podobnie jak epiderma, składa się z jednej warstwy komórek ściśle do siebie przylegających, ale jest pozbawiona chloroplastów i aparatów szparkowych, a jej ściany komórkowe nie są zgrubiałe. Nieprzepuszczalna dla wody kutykula występuje w niej jedynie w śladowych ilościach. Epiderma wytwarza cienkie wypustki zwane **włośnikami**. [16.21.1] Są to pojedyncze długie komórki o bardzo cienkiej ścianie komórkowej, wypełnione wewnątrz dużą wakuolą. Tworzą one strefę włośnikową, która w znaczący sposób zwiększa powierzchnię chłonną korzenia. Włośniki nie są wytwarzane



16.21. Skórka korzenia z włośnikami

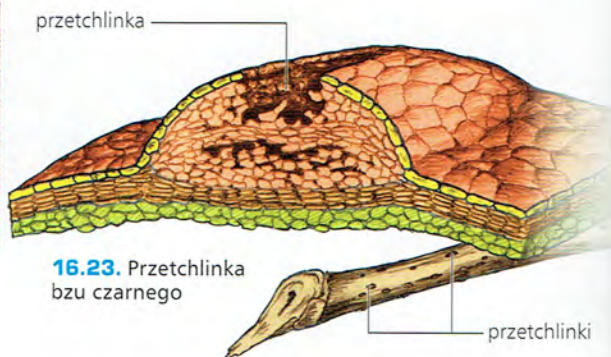


16.22. Struktura perydermy (korkowica)

przez korzenie roślin żyjących w mikoryzie ekto-troficznej (rodzaj symbiozy roślin z grzybami) ani przez korzenie roślin wodnych.

Peryderma (korkowica)

Peryderma jest wtórną tkanką okrywającą. [16.22.1] Pojawia się w starszych organach roślinnych, u których obserwuje się wtórny przyrost na grubość. W miarę rozwoju rośliny peryderma zastępuje stopniowo skórkę, która po pewnym czasie zanika. Tkanka ta jest wytworem fellogenu. Wytworzone w wyniku jego podziałów komórki potomne odkładają się na zewnątrz, tworzą **korek (fellem)**, a te odkładane do wewnątrz tworzą **fellodermę**. Komórki korka są martwe, wypełnione powietrzem (dlatego korek unosi się na powierzchni wody!), a ich ściana komórkowa poza celulozą jest również wysycona **suberyną**. Taka konstrukcja perydermy sprawia, że jest ona nieprzepuszczalna dla wody i gazów. Warstwa korka chroni roślinę zarówno przed utratą wody, jak i uszkodzeniami mechanicznymi czy termicznymi (np. w wyniku zamrożenia lub przegrzania). Ograniczoną wymianę gazową zapewniają obecne w perydermie struktury zwane **przetchlinkami**. [16.23.1] W przeciwieństwie do aparatów szparkowych są one zbudowane z martwych komórek i zawsze otwarte.



16.23. Przetchlinka bzu czarnego

Tkanka wydzielnicza

Tkanke wydzielniczą tworzą pojedyncze komórki lub zespoły komórek wydzielające określone substancje. Wyróżniamy **tkankę zewnątrzwydzielniczą** (którą tworzą miodniki, włoski wydzielnicze i hydatody) i **wewnątrzwydzielniczą** (tworzoną przez kanały żywiczne i kanały mleczne). **Miodniki** (nektarniki) występują w kwiatach roślin okrytonasiennych i wydzielają nektar, który wabi owady (a także ptaki) zapylające. **Włoski wydzielnicze** (gruczołowe) mogą pełnić funkcje odstraszające roślinożerców (np. powodujący nieprzyjemny zapach liści pelargonii) lub wytwa-

rzać enzymy trawienne (u roślin owadożernych). **116.24.1 Hydatody** (wypotniki) przy bardzo dużej wilgotności powietrza umożliwiają roślinom tropikalnym wydalenie w postaci kropel wody (jest to tzw. gutacja). **116.25.1 Kanały żywiczne**, występujące głównie u roślin nagonasiennych, wydzielają żywicę, która pełni funkcje odstraszające roślinożerców oraz chroni roślinę przed infekcjami w przypadku zranienia. **116.26.1 Kanały (rury) mleczne** wydzielają lateks – sok o właściwościach antyseptycznych, zawierający białka, cukry, woski, garbniki, alkaloidy, kauczuk.



116.24. Rosiczka z wydzieliną włosków gruczołowych



116.25. Gutacja u roślin



116.26. Żywica na drzewie

PODSUMOWANIE

- Do tkanek stałych należą: tkanka miękiszowa, okrywająca, wzmacniająca, przewodząca, wydzielnicza.
- Wyróżnia się miękisz: asymilacyjny (odpowiedzialny za fotosyntezę), zasadniczy (wypełniający wolne przestrzenie w tkankach rośliny), powietrzny (zapewniający wyporność organom roślin wodnych), spichrzowy (magazynujący substancje zapasowe), wodny (magazynujący wodę).
- Tkanke okrywającą dzieli się na pierwotną, czyli skórę (w której wyróżnia się epidermę występującą na powierzchni pędu oraz epiblemę występującą w korzeniu), i wtórną, czyli korkowicę (perydermę).
- Tkanke wzmacniającą tworzą kolenchyma (zwarcica) złożona z żywych komórek oraz sklerenchyma (twardzica) złożona z komórek martwych. Kolenchyma może mieć postać płatową lub kątową.
- W tkance przewodzącej wyróżnia się część żywą – łyko (floem), którą transportowane są asymilaty wytworzone w procesie fotosyntezy, oraz martwą – drewno (ksylem), która przewodzi wodę i sole mineralne.
- łyko tworzą: komórki sitowe, rurki sitowe, komórki towarzyszące oraz miękisz tykowy. Drewno natomiast jest budowane przez: cewki, naczynia, włókna drzewne, miękisz drzewny.



ZADANIA

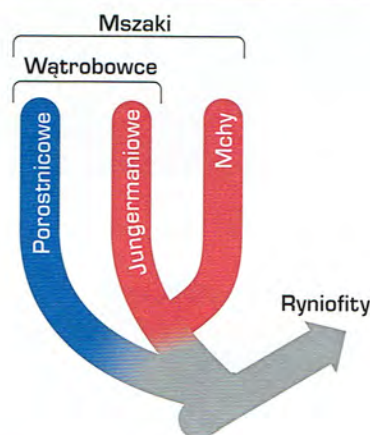
1. Opisz, jak powstaje (skąd pochodzi) kutykula oraz jakie ma znaczenie dla rośliny.
2. Wyjaśnij, co to jest kutner, jakiej tkanki jest wytworem oraz jaką rolę odgrywa.
3. Przeprowadź obserwację mikroskopową preparatu przedstawiającego przekrój poprzeczny liścia. Zwróć uwagę na kształt i wielkość komórek miękiszu asymilacyjnego. Przeanalizuj także ustawienie komórek miękiszu w stosunku do powierzchni liścia, budowę skórki, obecność aparatów szparkowych oraz liczbę chloroplastów. Na podstawie poczynionych obserwacji sporządź rysunek.
4. Przeprowadź obserwację mikroskopową preparatów przedstawiających przekroje poprzeczne rośliny zielnej jednoliściennej (np. kukurydzy) oraz dwuliściennej (np. słonecznika). Porównaj budowę i rozmieszczenie wiązek przewodzących. Na podstawie obserwacji wykonaj rysunek.



17. Mszaki – rośliny zarodnikowe z dominującym gametofitem

Dotąd opisano ponad 26 tysięcy gatunków mszaków, które w obecnym systemie klasyfikacyjnym stanowią grupę pierwszych roślin lądowych niemających odrębnej rangi systematycznej. Jej przedstawiciele są określani również mianem **higrofitów**, czyli roślin wilgociolubnych, gdyż zamieszkują głównie tereny o dużej wilgotności. Dzieje się tak, ponieważ mszaki nie wykształciły tkanek przewodzących. Z tego samego względu traktuje się je jako jednostkę przejściową pomiędzy **plechowcami** a **organowcami**. Mszaki to organizmy pionierskie, które na niezasiedlonym obszarze pojawiają się jako jedne z pierwszych i przygotowują grunt dla roślin o wyższych wymaganiach życiowych. Wykazują przemianę faz jądrowych z przemianą pokoleń co oznacza, że różnią się między sobą budową, sposobem rozmnażania oraz trybem życia. Pokoleniem dominującym jest haploidalny, zwykle wieloletni **gametofit**. **Sporofit** natomiast jest diploidalny, mniejszy od gametofitu i od niego zależny.

Podział systematyczny mszaków
Gromada: mchy (<i>Bryophyta</i>)
Klasa: naleźliny (<i>Andreaeopsida</i>)
Klasa: mchy właściwe – prątniki (<i>Bryopsida</i>)
Klasa: torfowce (<i>Sphagnopsida</i>)
Gromada: wątrobowce (<i>Marchantiophyta</i>)
Klasa: <i>Haplomitriopsida</i>
Klasa: jungermanniowe – meszkowce (<i>Jungermanniopsida</i>)
Klasa: porostnicowe (<i>Marchantiopsida</i>)
Gromada: glewiki (<i>Anthocerotophyta</i>)
Klasa: <i>Anthocerotopsida</i>
Klasa: <i>Leiosporocerotopsida</i>

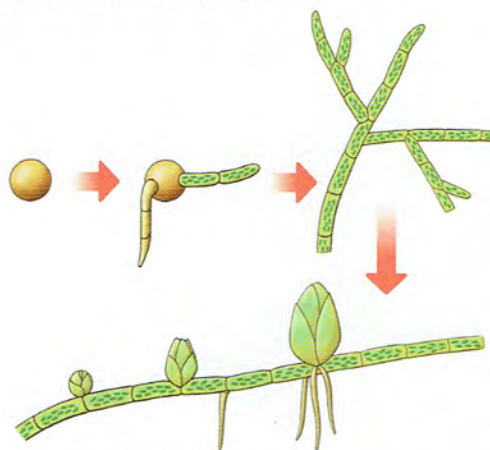


Budowa gametofitu i sporofitu mszaków

Gametofit

Gametofit mszaków jest rośliną wieloletnią oraz pokoleniem dominującym. Powstaje z haploidalnego zarodnika, który w glebie kiełkuje, przechodząc krótkotrwałe stadium młodociane zwane **splątkiem**. **17.1.1** Splątek ginie zaraz po wykształceniu się właściwego gametofitu, który ma u większości gatunków postać prostej bądź rozgałęzionej, ulistnionej łodyżki dorastającej do kilkunastu centymetrów wysokości.

Komórki gametofitu posiadają chloroplasty, mogą zatem przeprowadzać proces fotosyntezy. U większości mszaków gametofit ma postać **łodyżki** przytwierdzonej do podłoża za pomocą **chwytników (ryzoidów)**. Dzięki nim roślina pobiera również wodę i sole mineralne. Łodyżka jest często wyposażona w **listki**. Gametofity



17.1. Kiełkujący zarodnik i rozwój splątka mchu

mszaków wykazują pewne zróżnicowanie tkanek, najczęściej zorganizowane na bazie tkanki miękiszowej.

:: Ciekawostka

Sporofit mszaków jest zazwyczaj heterotroficzny i całkowicie uzależniony od gametofitu. Znane są jednak przypadki łamiące tę regułę. Przykładem może być **bezzlist** (*Buxbaumia* sp.), którego niewielki gametofit traci ulistnienie w momencie kiełkowania sporofitu. Sporofit osiąga wielkość do 12 milimetrów i jest zakończony puszką zarodni wyposażoną w dobrze rozwiniętą tkankę asymilującą. Powstające w niej produkty fotosyntezy całkowicie wystarczają do zaspokojenia potrzeb rozwijającego się sporofitu.



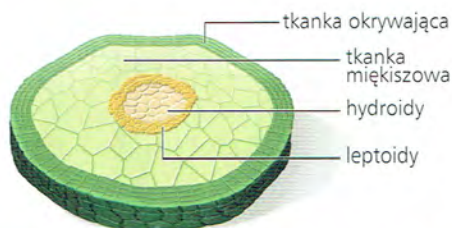
Tkanki i wyspecjalizowane komórki obecne w niektórych organach mszaków

Tkanka okrywająca	Komórki przewodzące	Tkanka wzmacniająca	Tkanka mięsista
Chroni roślinę przed działaniem czynników mechanicznych oraz nadmierną transpiracją. Może zawierać prymitywne aparaty szparkowe.	Komórki te funkcjonalnie odpowiadają tkance przewodzącej roślin naczyniowych. Hydroidy transportują wodę i sole mineralne, a leptoidy – substancje organiczne.	Chroni roślinę przed rozrywaniem i zgnieciem.	Najczęściej tkanka mięsista u mszaków ma postać tkanki spichrzowej (magazynującej substancje organiczne), wypełniającej oraz asymilacyjnej (odpowiedzialnej za fotosyntezę).

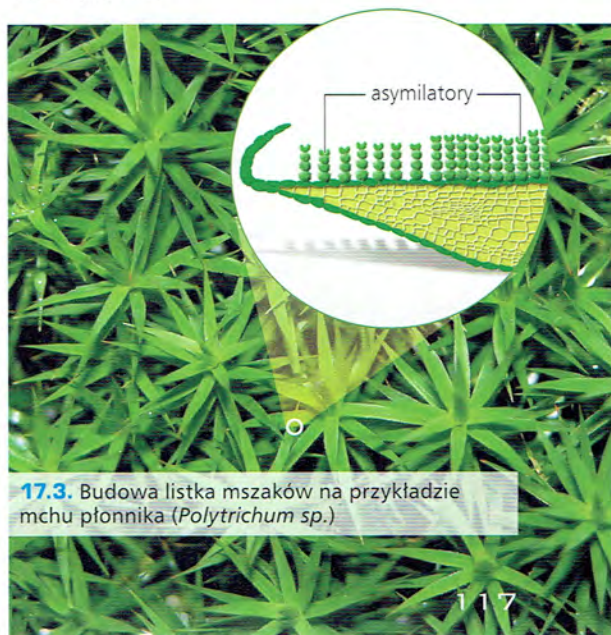
Na przekroju poprzecznym **łodyżki** widać centralnie położoną grupę komórek pełniących rolę wiązki przewodzącej. Część z nich jest wydłużona i martwa. Końce komórek są zwężone, ale ściana komórkowa nie ulega zdrewnieniu. Noszą one nazwę **hydroidów** **17.2.1** i odpowiadają za transport wody i soli mineralnych. Z kolei żywe komórki zwane **leptoidami**, **17.2.1** bogate w węglowodany i białka, funkcjonalnie odpowiadają tyku roślin naczyniowych, czyli transportują substancje organiczne. Tę prymitywną „wiązkę przewodzącą” otacza od zewnątrz gruba warstwa tkanki mięsistej, której komórki są wyposażone w chloroplasty i odpowiadają za fotosyntezę. Mięścis otacza warstwa komórek o zgrubiałych ścianach, pełniących funkcje okrywające (skórka).

Listki mszaków są na ogół zbudowane z jednowarstwowej części asymilacyjnej. **17.3.1** Inaczej jest u mchu płonnika, którego listki mają bardziej złożoną budowę. Na ich spodniej stronie znajduje się jednowarstwowa skórka wzmocniona tak zwanym żeberkiem, w którym znajdują się zarówno komórki przewodzące, jak i wzmacniające. Górną powierzchnię listka stanowi nieokryta skórka tkanka asymilacyjna. Ma ona postać wielokomórkowych beleczek zawierających chloroplasty. Taka budowa zwiększa zdolności asymilacyjne listków oraz

umożliwia wchłanianie i zatrzymywanie wilgoci (pochodzącej np. z wody deszczowej).



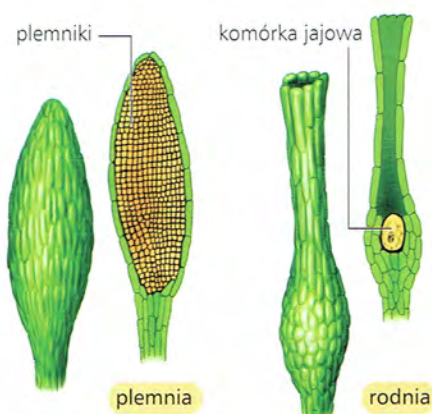
17.2. Przekrój poprzeczny przez łodyżkę sporofitu mchu płonnika



17.3. Budowa listka mszaków na przykładzie mchu płonnika (*Polytrichum* sp.)



17.4. Budowa mchu płonnika (*Polytrichum commune*)



17.5. Budowa gametangiów mszaków

17.6. Widziane z góry gametofity i sporofity mchu pokryte warstwą wody



Chwytniki (ryzoidy) **17.4.1** służą do pobierania wody z solami mineralnymi z gleby oraz mocują ciało gametofitu mszaków do podłoża.

Gametofit mszaków może rozmnażać się wegetatywnie (za pomocą rozmnózek), ale zazwyczaj rozmnaża się płciowo (za pomocą **gamet**). Powstają one wewnątrz żeńskich lub męskich organów płciowych (**gametangiów**), które w zależności od gatunku mogą występować na jednej (jednopienność) lub na dwóch różnych łodyżkach (dwupienność). Żeńskimi organami płciowymi są butelkowate **rodnie** **17.5.1** wyposażone w wielokomórkową ścianę. W dolnej części rodni mszaków zlokalizowana jest komórka jajowa. **Plemniki** mszaków, czyli męskie organy rozmnażania płciowego, mają cieńszą jednowarstwową, wielokomórkową ścianę.

Plemniki i rodnie mogą być u niektórych gatunków mszaków zebrane w **rodniostany** i **plemniostany**. Znajdujące się w plemni liczne plemniki mogą się poruszać dzięki podwójnym wiciom, w które są wyposażone. Do zapłodnienia dochodzi wewnątrz rodni, gdy jeden z plemników łączy się z komórką jajową, dając w efekcie diploidalną zygotę. Ponieważ plemniki przemieszczają się jedynie w środowisku wodnym, zapłodnienie jest możliwe, gdy kępy mchów zostaną pokryte warstwą wody (np. kroplami deszczu lub rosy). **17.6.1** Ogranicza to występowanie mszaków do środowisk o odpowiedniej wilgotności.

:: Ciekawostka

Łodyżki mszaków i pędy roślin naczyniowych – mimo zewnętrznego podobieństwa – nie są organami homologicznymi. Zielone i ulistnione pędy mszaków to gametofity, natomiast pędy roślin naczyniowych to sporofity. Dla zaznaczenia tej różnicy w literaturze pędy mszaków często nazywane są **gametoforami**.

Sporofit

Zygota, która powstaje w procesie zapłodnienia, daje początek diploidalnemu **sporofitowi**. Początkowo sporofit rozwija się wewnątrz rodni, po wrośnięciu w nią tak zwaną stopą. Gdy osiągnie odpowiednie rozmiary, rozrywa rodnię i wyrasta dalej w górę ze szczytu gametofitu. Sporo-

fit mszaków składa się z trzech części: **stopy**, **sety** (trzonka) oraz **zarodni** (czyli tzw. puszek). Wnętrze zarodni wypełniają **komórki sporogeniczne**, tworzące tkankę zarodnikotwórczą, czyli **archespor**. W wyniku podziału redukcyjnego (mejozy) z komórek tych powstają haploidalne **zarodniki** (spory). Puszka większości mszaków posiada **wieczko**, które po otwarciu umożliwia wysyp dojrzałych zarodników. **17.7.1** Sporofit jest drobniejszy od gametofitu i uzależniony od niego pokarmowo. Żyje krótko (po wytworzeniu zarodników zamiera). Spory są roznoszone przez wiatr bądź deszcz, a w odpowiednich warunkach kiełkują w splątek.



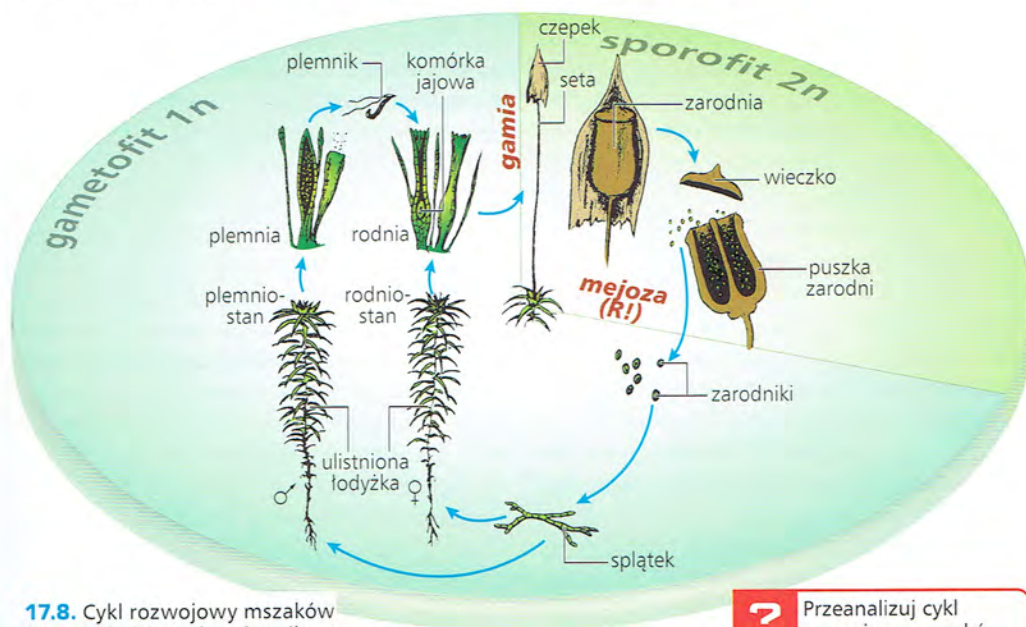
17.7. Budowa sporofitu mszaków na przykładzie mchu płonnika

Przegląd systematyczny mszaków

Mchy

Opisano jak dotąd ponad 10 tysięcy gatunków mchów. Często rosną one zebrane w kępach. Ich typowym przedstawicielem jest **płonnik pospolity**. To roślina dwupienna, dlatego plemnie i rodnie znajdują się na różnych osobnikach. Gromada mchy jest typowa pod względem dominacji gametofitu. Powstający z zygoty sporofit u niektórych gatunków początkowo jest zielony i może fotosyntetyzować, po osiągnięciu dojrzałości staje się żółtobrą-

zowy i pozostaje ściśle uzależniony od gametofitu. U mchu płonnika zarodnia ma kształt walca i zamknięta jest wieczkiem. Wyniesiona część rodni na szczycie zarodni tworzy tak zwany czepek, chroniący przed zbyt wczesnym wysypem zarodników. Puszka zarodni zawiera komórki **sporogeniczne**, z których powstają zarodniki. Spory rozprzestrzeniane są przez wiatr lub deszcz. Na odpowiednim podłożu kiełkują w splątek. **17.8.1**



17.8. Cykl rozwojowy mszaków na przykładzie mchu płonnika

? Przeanalizuj cykl rozwojowy mszaków.



17.9. Torfowiec (*Sphagnum* sp.)

Szczególnie istotne z ekologicznego punktu widzenia są **torfowce** należące do mchów. **17.9.1** Do tego rodzaju zaliczamy blisko 200 gatunków. Ich **gametofit jest pozbawiony chwytników** i ma postać łodyżki z wieloma odgałęzieniami bocznymi, pokrytymi licznymi listkami złożonymi z jednej warstwy komórek. **Rodniostany** są krótkie, wyrastają w pachwinach pędów bocznych, a rodnie osadzone są na nich szczytowo. **Plemniostany** mają maczugowaty kształt i są ciemno zabarwione. Znajdujące się w nich owalne plemnie osadzone są na trzoneczkach u nasady listków. Sporofit torfowców tworzy bardzo krótką setę, na której szczycie znajduje się kulista zarodnia zaopatrzona w okrągłe wieczko. Wysychając, puszka zarodni zmniejsza swoją objętość. Zgromadzone w niej powietrze ulega sprężeniu, co w efekcie powoduje oderwanie wieczka i rozrzućenie zarodników (nawet w promieniu 10 cm). Spory mogą być również przenoszone przez wodę. Kiełkują, gdy trafią na sprzyjające warunki. Ważną cechą gametofitu torfowców jest nieograniczona zdolność wzrostu. Górna jego część jest zielona i fotosyntetyzująca, a dolna z czasem ulega mineralizacji. W listkach torfowców występują dwa rodzaje komórek. Jedne są żywe, zawierają chloroplasty i mają zdolność do fotosyntezy, drugie natomiast są duże, martwe i zawierają pierścieniowate pory umożliwiające wnikanie i magazynowanie wody (dlatego nazywane są komórkami wodochłonnymi). Zdolność torfowców do magazynowania wody jest niezwykle cenna ze względu na regulację bilansu wodnego w ekosystemach. Dodanie torfowców do gleby (nawet w postaci sproszkowanej) pozwala na zwiększenie jej zdolności wchłaniania i magazynowania wody. Torfowiska wysokie z dużym udziałem torfowców nazywamy **mszarami**.

:: Ciekawostka

Glewiki stanowią niewielką grupę około 100 gatunków, odbiegającą w budowie od pozostałych przedstawicieli mszaków. Cechą charakterystyczną jest obecność pojedynczego dużego chloroplastu w komórce, co bardziej zbliża je do glonów niż do roślin. Sporofit glewików rośnie i pozostaje zielony przez całe życie.

Wątrobowce

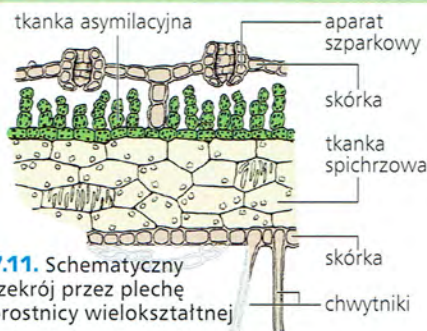
Wątrobowce to gromada mszaków licząca około 7 tysięcy gatunków. Ze względu na charakterystyczne cechy budowy traktuje się je jako ogniwo łączące plechowce i organowce. Gametofity wielu wątrobowców różnią się zdecydowanie od gametofitów typowych dla mszaków. Często mają postać spłaszczonych, płatowatych plech (przypominają one płyty ludzkiej wątroby, stąd nazwa gromady), podobnych do liści. Na dolnej stronie plechy wątrobowców wyrastają chwytники mocujące roślinę do podłoża. Gametofit niektórych wątrobowców jest zróżnicowany na listki, łodyżki i chwytники, co przypomina mchy, jednak nie występują w nim tkanki przewodzące. Dlatego występowanie wątrobowców jest ograniczone do wilgotnych siedlisk.

W rozmnażaniu wątrobowców również występuje proces płciowy. Haploidalny gametofit wytwarza gametangia umiejscowione na charakterystycznych parasolkowatych trzoneczkach zwanych odpowiednio rodniostanami i plemniostanami. Powstający w wyniku zapłodnienia sporofit wątrobowców jest kulisty, zanurzony w gametoficie, niekiedy ograniczony do samej zarodni. Zarodniki wypychane są przez specjalne włókienka sprężyste (tzw. **sprężyce, eleatery**).

Wątrobowce mogą też rozmnażać się bezpłciowo w drodze fragmentacji plechy lub za pomocą **rozmnożek** (gemm), które powstają w kubeczkowatych tworach na powierzchni plechy. Rozprzestrzenianie rozmnożek odbywa się za pośrednictwem drobnych zwierząt bądź kropel deszczu. Na odpowiednim podłożu z rozmnożki wyrasta nowa plecha. Przedstawicielem wątrobowców jest **porostnica wielokształtna**. **17.10.1** To dwupienna roślina o płatowatym gametoficie, który wykazuje skomplikowaną organizację wewnętrzną. Na przekroju poprzecznym **17.11.1** można zaobserwować skórę z charakterystycznymi beczułkowatymi



17.10. Porostnica wielokształtna (*Marchantia polymorpha*) jako przykład wątrobowca



17.11. Schematyczny przekrój przez plechę porostnicy wielokształtnej

aparatami szparkowymi, złożonymi z 16 komórek. Pod skórą znajduje się tkanka spichrzowa i asymilacyjna. Plecha porostnicy jest blaszkowata i przylega płasko do podłoża. Roślina nie posiada tkanki

przewodzącej, a wodę pobiera całą powierzchnią ciała. Podobnie jak u pozostałych mszaków, woda jest niezbędna do zapłodnienia, a z zarodnika kiełkuje przejściowe stadium młodociane, czyli spletek.

Znaczenie mszaków

Mszaki, pomimo niewielkich rozmiarów, odgrywają istotną rolę w przyrodzie – głównie w procesach glebotwórczych. Są organizmami pionierskimi, jako jedne z pierwszych zasiedlają nowe obszary. Tworzą **kępy**, które zapobiegają erozji gleby. Dzięki zdolności do zatrzymywania wody, czyli **retencji**, wyraźnie przyczyniają się do utrzymania korzystnego bilansu wodnego na danym obszarze. Niemal wszystkie gatunki torfowca podlegają ochronie gatunkowej.

W gospodarce człowieka mszaki wykorzystywane są na ograniczoną skalę, ale w pewnych dziedzinach ich rola jest bardzo istotna. W ogrodnictwie i rolnictwie torfowce stosowane są jako czynniki użyźniające glebę, a dodawane do gleb piaszczystych znacznie zwiększają ich zdolności do zatrzymywania wody. W medycynie również torfowce stosowane są jako preparaty do kąpieli leczniczych (tzw. borowina). W wielu krajach do dziś torf wykorzystywany jest jako opał.

PODSUMOWANIE

- Mszaki to grupa najprymitywniejszych w budowie roślin lądowych.
- W przemianie pokoleń mszaków dominuje gametofit.
- Gametofit mszaków ma na ogół kształt ulistnionej łodyżki, przytwierdzonej do podłoża za pomocą chwytników (ryzoidów). Jest pokoleniem autotroficznym.
- Gametofit żeński wykształca wielokomórkowe rodnie, a gametofit męski – plemniki.
- Podczas mejozy zachodzi proces *crossing-over*.
- Do zapłodnienia niezbędna jest obecność wody.
- Sporofit wyrasta z rodni jako pokolenie niesamodzielne, heterotroficzne i uzależnione od gametofitu.
- Na szczycie sporofitu tworzą się zarodnie, w których powstają zarodniki.
- Mszaki (a w szczególności torfowce) wykazują zdolności retencji, czyli magazynowania wody.
- Mszaki są traktowane jako organizmy pionierskie.

ZADANIA

1. Określ, jakiego pochodzenia jest czepek otaczający puszkę zarodni. Jaka jest jego rola w rozwoju rośliny?
2. Określ, co daje początek gametofitowi mszaków.
3. Wyszukaj w dostępnych źródłach, czym różni się torfowisko wysokie od niskiego.
4. Omów zastosowanie torfowców w medycynie.

BIBLIOGRAFIA

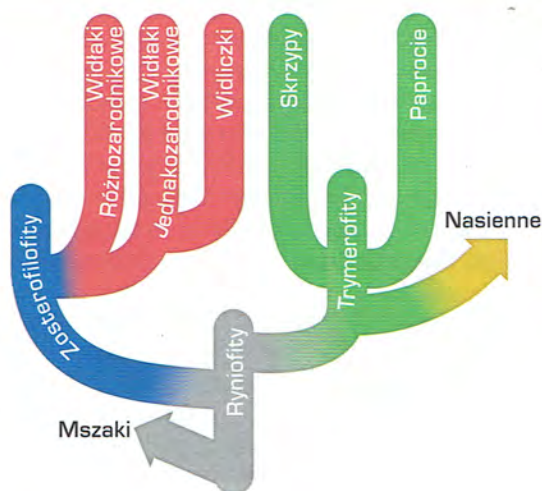
Wójcik H., *Porosty, mszaki, paprotniki*, Multico, Warszawa 2007.

18. Paprotniki – rośliny zarodnikowe z dominującym sporofitem

Paprotniki to lądowe rośliny tkankowe, w których budowie zewnętrznej można wyróżnić korzeń, łodygę oraz liście. Są pierwszymi właściwymi organowcami. W przeciwieństwie do mszaków gametofit paprotników jest mocno zredukowany, na ogół pozostaje jednak rośliną samodzielną. Sporofit ulega natomiast dalekiej specjalizacji i jest pokoleniem dominującym. Paprotniki charakteryzuje przemiana faz jądrowych z **heteromorficzną przemianą pokoleń**. Rośliny należące do tej grupy mogą również rozmnażać się wegetatywnie przez kłącza (podziemne łodygi). Podobnie jak u mszaków do procesu zapłodnienia niezbędna jest woda. Paprotniki dzielimy na **jednakozarodnikowe** – wytwarzające identyczne morfologicznie zarodniki (proces ten to tzw. izosporia) oraz **różnozarodnikowe**, których zarodniki różnią się wielkością i kształtem (to tzw. heterosporia). Paprotniki (podobnie jak mszaki) są traktowane jako sztuczna jednostka systematyczna, a nazwę ich stosuje się częściej zwyczajowo niż taksonomicznie. Do tej grupy zaliczane są trzy gromady współcześnie żyjących roślin należących do odmiennych linii rozwojowych, a mianowicie: **widłaki** (*Lycopodiophyta*), **skrzypy** (*Equisetophyta*), **paprocie** (*Pteridophyta*). Cechują je podobny stopień organizacji oraz zbliżone sposoby rozrodu.

Budowa gametofitu

Niewielki, często zaledwie kilkukomórkowy gametofit paprotników (tzw. **przedrośle**) powstaje z haploidalnego zarodnika. U paprotników **jednakozarodnikowych** przedrośle jest zwykle jednopienne, co oznacza, że wytwarza rodnie i plemnie na tym samym osobniku. U paprotników **różnozarodnikowych** gametofity są silnie zredukowane. Rozwijają się często już wewnątrz zarodnika, który pęka po wykształceniu narządów rozmnażania płciowego. Gametofit paprotników jest najczęściej autotroficzny, choć znane są gatunki, których heterotroficzne gametofity rozwijają się tylko w symbiozie z grzybami. Gametofit paprotników rozmnaża się płciowo. Plemniki zaopatrzone są w wici, dzięki czemu aktywnie przepływają z plemni do rodni. W wyniku zapłodnienia powstaje diploidalna zygota, z której rozwija się sporofit.



Budowa sporofitu

Właściwa postać paprotnika to sporofit, który początkowo wrasta w przedrośle, żeby odżywiać się jego kosztem. Szybko jednak staje się rośliną niezależną, samożywną i długotrwałą. Na tym etapie przedrośle zazwyczaj zamiera. Sporofit paprotników jest okazałą rośliną (największe żyjące dziś paprocie drzewiaste mogą osiągać wysokość kilkunastu metrów). **18.1.1**

18.1. Przedstawiciel paproci drzewiastych – *Cyathea* sp.



W budowie wewnętrznej sporofitu wyróżnia się tkanki: **okrywającą**, **wzmacniającą**, **przewodzącą**, **miękiszową** oraz **twórczą**. Zarodnie, czyli sporangia, mają różny kształt i okryte są wielokomórkową ścianą. Osadzone są na dolnej stronie **sporofili**, które często zebrane są w kłosa zarodnikonośne (tzw. **strobile**). Z kolei liście

służące do odżywiania to **trofofile**. Taki dymorfizm liści występuje u paprotników dość często (np. u pióropusznika strusiego). **[18.2.]** Wiele gatunków (np. paprotka zwyczajna) **[18.3.]** nie wykazuje zróżnicowania liści na sporofile i trofofile, a każdy ich liść jest zarówno organem generatywnym, jak i wegetatywnym.



18.2. Pióropusznik strusi
(*Matteucia struthiopteris*)



18.3. Paprotka zwyczajna
(*Polypodium vulgare*)

:: Ciekawostka

W karbonie pojawiły się widłaki różnozarodnikowe – **lepidodendrony** i **sygilarie**, sięgające 30–40 metrów wysokości, o średnicy pnia dochodzącej do 2 metrów. Były one zasadniczym elementem ówczesnych lasów. To im zawdzięczamy najbogatsze złoża węgla kamiennego. Wyginęły pod koniec ery paleozoicznej.

Spośród wymarłych przedstawicieli skrzypowych wymienić należy **kalamity**, olbrzymie rośliny dochodzące do 30 metrów wysokości. Powstały u schyłku dewonu, by w karbonie tworzyć lasy węglowe. Wymarły w górnej kredzie.



Lepidodendron

Sygillaria

Kalamity

Przegląd systematyczny paprotników

Widłaki (*Lycopodiophyta*)

Współcześnie żyjące widłakowe są niewielkimi roślinami zielnymi. Wyróżniamy wśród nich **widłaki jednazarodnikowe** (*Lycopodiales*), **różnazarodnikowe** (*Isoetales*) oraz **widliczki** (*Selaginellales*). Ich sporofit cechuje się skomplikowaną budową wewnętrzną i zewnętrzną, a ich pędy i korzenie są widlasto rozgałęzione. Wszystkie widłaki występujące na terenie Polski są objęte ścisłą ochroną gatunkową.

Widłaki jednazarodnikowe wytwarzają morfologicznie i fizjologicznie identyczne zarodniki. Przykładem jest **widłak goździsty**.

118.4.1 Zarodniki tego gatunku mogą kiełkować nawet po 7 latach od wytworzenia. Niewielkie przedrośle rozwija się tylko wtedy, gdy zwiąże się z grzybem mikoryzowym (żyje pod ziemią kosztem grzyba). Jego górna część może z czasem wyrastać ponad powierzchnię ziemi i zazieleniać się. Tworzące się na jednopiennym przedroślu rodnie i plemniki dojrzałość płciową osiągają dopiero po 12–15 latach. W rodni powstaje jedna komórka jajowa, natomiast w plemniach – duże ilości ruchliwych plemników zaopatrzonych w dwie wici. Do procesu płciowego dochodzi przy udziale wody. Zarodek wrasta stopą w przedrośle i pobiera z niego pokarm. Z zarodka rozwija się okazały sporofit. Liście zarodnionośne, czyli sporofilostany, na ogół różnią się od pozostałych pędów, choć znane są gatunki, gdzie liście zarodnionośne i wegetatywne nie różnią się między sobą.

Do **widłaków różnazarodnikowych** należą tak zwane **porybliny** (*Isoetes*), liczące około 140 gatunków. W Polsce występuje **poryblin jeziorny** **118.5.1** oraz **poryblin kolczasty**. Współcześnie żyjące gatunki mają krótką, bulwiastą łodygę i żyją w środowisku wodnym. Wewnętrzne, młodsze liście wytwarzają u nasady mikrosporangia, w których powstają mikrospory. Zewnętrzne, starsze liście tworzą u nasady makrosporangia, w których powstają makrospory. Po wydostaniu się z zarodni mikrospory kiełkują w przedrośla męskie. Powstające z makrospory przedrośle żeńskie wytwarza kilka rodni zawierających pojedyncze komórki jajowe. Na przedroślu męskim natomiast tworzy się jedna plemnica produkująca plemniki wielowiciowe. Z zapłodnionej zygoty w krótkim czasie rozwija się zarodek kiełkujący w nowy sporofit.

Różnazarodnikowe **widliczki** stanowią niezależną linię rozwojową. W przeciwieństwie do pozostałych widłaków różnazarodnikowych ich plemniki są dwuwiciowe. Przykładem jest **widliczka ostrozębna**. **118.6.1** Na szczycie jej łodygi znajdują się liście zarodnionośne (sporofile), zebrane w kłosa zarodnionośne (strobile). U nasady liści zarodnionośnych zlokalizowane są zarodnie. Sporofile z **makrosporangiami** (megasporangiami) usytuowane są w dolnej części strobila. Sporofile z **mikrosporangiami** znajdują się w górnej jego części. Przedrośle męskie jest mniejsze od żeńskiego. Plemniki z kroplami rosy

118.4. Widłak goździsty (*Lycopodium clavatum*)



118.5. Poryblin jeziorny (*Isoetes lacustris*)



lub deszczu dostają się do dolej części kłosa zarodnionośnego, docierają do rozwijających się makrospor i zapładniają komórki jajowe. Przedrośla żeńskie (czasem z już rozwijającym się sporofitem) wypadają z kłosa na ziemię, gdzie następuje dalszy rozwój rośliny.

Skrzypy (*Equisetophyta*)

Gromada ta liczy obecnie około 30 gatunków, z czego w Polsce występuje 10. Są jednakozarodnikowymi roślinami zielnymi, przystosowanymi do zajmowania różnych siedlisk (ale występują zwykle w miejscach zacienionych i wilgotnych). Osiągają ponad metr wysokości i mają bardzo charakterystyczną budowę. W węzłach łodygi oddzielonych licznymi międzywęzłami wyrastają okółkowo łuskowate liście zrośnięte w pochewkę oraz odgałęzienia boczne. U skrzypów występują dwa typy wyraźnie zróżnicowanych morfologicznie pędów nadziemnych. Pierwszy z nich to tak zwany **pęd wiosenny** (zarodnionośny). **[18.7.]** Jest mięsisty, nierozgałęziony, o brązowej barwie. Osiąga wysokość 10–25 centymetrów. Na szczycie pędu wytwarza się kłos zarodnionośny (sporofi-

18.6. Widliczka ostrozębna (*Selaginella selaginoides*) żyje w górach; dorasta do 10 cm wysokości.

lostan) przypominający szyszkę i wytwarzający zarodniki w liściach zarodnionośnych (sporofilach) wykształconych w postaci tarczek, u spodu których znajduje się kilka zarodni. Zarodniki opatrzone są dwiema krzyżującymi się wstęgami (**hapte-rami**). Pod wpływem wilgoci rozwijają się one albo zwijają, co ułatwia wysypywanie zarodników z otwartej zarodni. Po wysiewie zarodników kłos zarodnionośny obumiera. Wówczas pojawiają się **pędy letnie** (płonne). **[18.8.]** Dorastają one do wysokości 40 centymetrów, asymilują i są okółkowo rozgałęzione.



18.7. Pęd wiosenny skrzypu olbrzymiego (*Equisetum maximum*)



18.8. Pęd letni skrzypu olbrzymiego (*Equisetum maximum*)

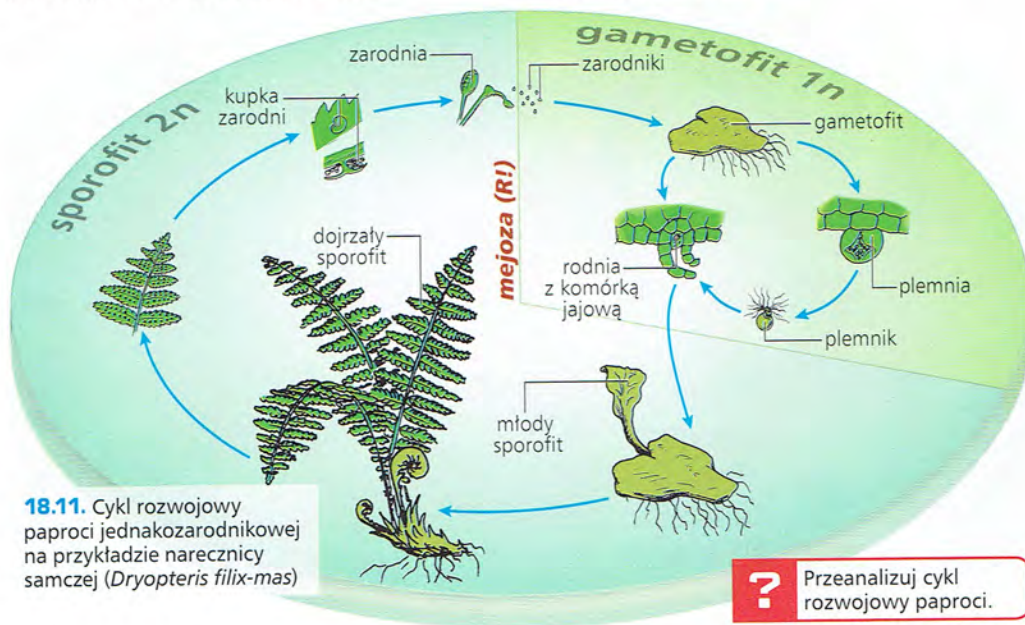
18.9. Jęczmnik zwyczajny (*Phyllitis scolopendrium*)

18.10. Liść zarodnionośny z kupkami zarodni

Paprocie (*Pteridophyta*)

Jest to najliczniejsza (około 10 000 gatunków) i zarazem najbardziej rozwinięta gromada paprotników. Wśród jej przedstawicieli możemy odnaleźć małe, kilkucentymetrowe rośliny wodne, jak też potężne, kilkunastometrowe paprocie drzewiaste. Typowymi przykładami paprociowych są popularna paprotka zwyczajna i jęczmnik zwyczajny. [18.9.] Jak większość paproci ma ona duże, zielone liście, w młodości pastorałowato zwinięte. Na spodniej stronie liści mieszczą się uformowane w **kupki (sorusy)** zarodnie [18.10.], które mogą być okryte **zawijką**. Zarodnie mają jednowarstwową ścianę, a wewnątrz występują warstwy **tkanki wyścielającej** (tapetum) oraz **zarodnikotwórczej**, czyli **archesporu**. Wyróżniamy **paprocie jednokarodnikowe** i **różnokarodnikowe**.

Przykładem **paproci jednokarodnikowych** jest **narecznica samcza**. Z zarodnika rozwija się mały, spłaszczony, plechowaty i zielony gametofit o sercowatym zarysie. Na spodniej stronie przedrośla znajdują się chwytalniki, które służą do przytwierdzenia rośliny do podłoża, tam też tworzą się butelkowate rodnie i kuliste plemniki. W środowisku wodnym plemniki się otwierają, a opatrzone wieloma wiciami plemniki przepływają ku otwartym rodniom. Młody sporofit rozwija się początkowo w obrębie rodni i podobnie jak u mszaków odżywia się kosztem gametofitu. Po osiągnięciu określonych rozmiarów sporofit usamodzielnia się, wytwarza korzeń i liście, gametofit natomiast obumiera. Dojrzały sporofit jest dużą rośliną naczyniową o rozbudowanym systemie korzeniowym. [18.11.]



18.11. Cykl rozwojowy paproci jednokarodnikowej na przykładzie narecznicy samczej (*Dryopteris filix-mas*)

? Przeanalizuj cykl rozwojowy paproci.

Paprocie różnozarodnikowe obejmują gatunki, u których zróżnicowanie płciowe idzie w parze z odmienną morfologią zarodników. Podobnie jak u widłaków różnozarodnikowych większe zarodniki to **megaspory** powstające w megasporangiach, a mniejsze to powstające w mikrosporangiach **mikrospory**. Typowym przedstawicielem paproci różnozarodnikowych jest **salwinia pływająca**. **18.12.1** To jednoroczna roślina wodna wytwarzająca po spodniej stronie sporofitu liczne zarodnie. Skupiska megasporangiów i mikrosporangii otoczone są chroniącą je kulistą pokrywą zwaną **sporokarpem**. Sporangia wytwarzane są między sierpniem a listopadem, po czym pędy zamierają, a młode sporokarpy opadają na dno zbiornika, gdzie zimują w osadach dennych. Wiosną pokrywa sporokarpu pęka, a zarodniki wypływają na powierzchnię wody, gdzie kiełkują w dwupienne przedrośla. Plemniki łatwo przedostają się do rodni, gdzie po zapłodnieniu tworzą zygotę wyrastającą w nowy sporofit.



18.12. Salwinia pływająca (*Salvinia natans*)

:: Ciekawostka

Niektóre gatunki paprotników są objęte ochroną. Należą do nich wszystkie gatunki **widłaków**, jak na przykład poryblin jeziorny i poryblin kolczasty; takie gatunki **skrzypów**, jak skrzyp olbrzymi (największy żyjący w Polsce przedstawiciel tego rodzaju), i **paproci** (pióropusznik strusi, długosz królewski, jęczyznik zwyczajny, podrzeń zebrowiec).

Znaczenie paprotników

Paprotniki określa się jako rośliny lądowe, chociaż znane są gatunki żyjące w wodzie, jak na przykład salwinia pływająca. Możemy je spotkać we wszystkich rejonach kuli ziemskiej, jednak najliczniej występują w strefie międzyzwrotnikowej. Wchodzą w skład roślinności łąkowej, bagiennej i leśnej; stanowią główny składnik podszytu. Pa-

procie drzewiaste w ciepłych strefach klimatycznych współtworzą drzewostan. W karbonie stanowiły one zasadniczy trzon wszelkiej roślinności. To z ich szczątków powstały olbrzymie pokłady węgla kamiennego. Niektóre, pojedyncze gatunki znajdują zastosowanie w ziołolecznictwie (np. skrzyp polny *Equisetum arvense*).

PODSUMOWANIE

- Paprotniki są pierwszymi roślinami tkankowymi i właściwymi organowcami.
- Dominującym pokoleniem paprotników jest sporofit.
- Mocno zredukowany gametofit paprotników nazywany jest przedroślem.
- Współczesne paprotniki dzielimy na trzy gromady: widłaki, skrzypy, paprocie.
- Najbujniej paprotniki rozwinęły się w karbonie. Stanowiły wówczas podstawowy składnik lasów i przyczyniły się w największym stopniu do powstania pokładów węgla.



ZADANIA

1. Przygotuj argumenty do klasowej dyskusji przemawiające za koniecznością ochrony wszystkich gatunków widłaków występujących w Polsce.
2. Wyjaśnij, w jaki sposób przejawia się u paprotników redukcja gametofitu.
3. Scharakteryzuj zróżnicowanie morfologiczne i funkcjonalne liści u widliczki ostrozębnej.
4. Wyjaśnij, czym jest zawijka i jaką pełni rolę.
5. Omów rolę pędu wiosennego i pędu letniego w rozwoju skrzypów.



BIBLIOGRAFIA

Gottfried A., Runo Leśne, Multico, Warszawa 2009.



19. Budowa organów wegetatywnych roślin nasiennych

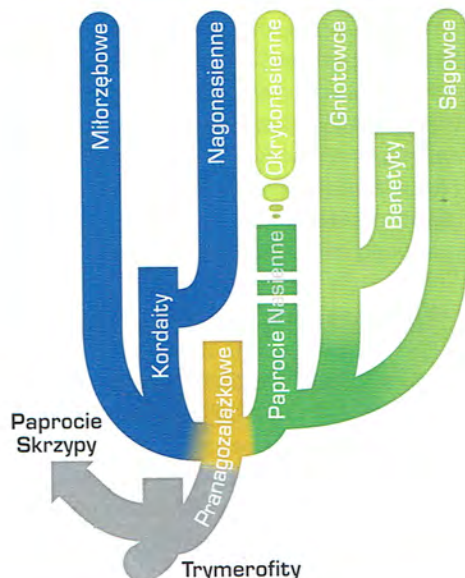
Współcześnie do grupy roślin nasiennych (*Spermatophyta*) zaliczamy około 250 tysięcy gatunków. Rośliny te osiągnęły szczytowy poziom rozwoju ewolucyjnego, odznaczający się wysokim stopniem organizacji (zarówno jeśli chodzi o budowę wewnętrzną, jak i zewnętrzną). Najważniejszą cechą nasiennych jest całkowita **dominacja sporofitu** nad gametofitem niezdolnym do samodzielnego życia. Ważnym osiągnięciem jest też organ przetrwalny zwany nasionem, zawierający **zarodek** oraz tkankę zapasową niezbędną podczas kiełkowania. Sporofit nasiennych budują wszystkie znane tkanki roślinne, a organami typowymi dla tych roślin są łodyga, korzeń, liście. Ich budowa jest wyrazem przystosowania do środowiska.

Klasyfikacja roślin nasiennych

Według najnowszej klasyfikacji w obrębie grupy roślin nasiennych wyróżnia się **dwie gromady**: **nagonasienne** (nagozalążkowe, *Pinophyta*), które są najstarszą linią rozwojową tej grupy roślin (liczą ponad 900 gatunków), oraz **okrytonasienne** (okrytozalążkowe, *Magnoliophyta*). Do nagonasiennych zaliczamy 4 klasy: **sagowce** (*Cycadopsida*), **gniłotowe** (*Gnetopsida*), **miłorzębowe** (*Ginkgopsida*) i **iglaste** (*Pinopsida*). **Okrytonasienne** osiągnęły najwyższy stopień rozwoju i największy sukces w zakresie radiacji adaptacyjnej. Liczba okrytonasiennych sięga 249 tysięcy gatunków. Współczesny system taksonomiczny dzieli okrytonasienne na dwie klasy: **jednoliściennne** (*Liliopsida*), których zarodek zawiera jeden liście (należą tu głównie rośliny zielne i kwiatowe), i **dwuliściennne** (*Magnoliopsida*), których zarodek zawiera dwa liście (typowym przykładem są drzewa i krzewy).

Korzeń

U roślin nagozalążkowych oraz jednoliściennych okrytozalążkowych można wyróżnić korzeń główny rosnący pionowo w dół oraz szereg znacznie od niego cieńszych i krótszych korzeni bocznych, tworzących odgałęzienia pierwszego rzędu. Pod różnymi kątami wyrastają z nich kolejne odgałęzienia. Taki system korzeniowy nazywamy **palowym**. Sięga on na znaczne głębokości,



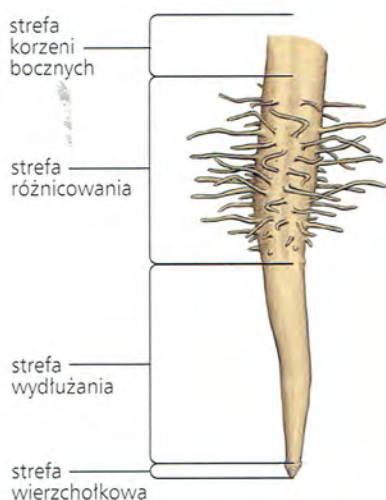
:: Ciekawostka

Radiacja adaptacyjna (zwana też adaptatywną) polega na ewolucyjnym zróżnicowaniu pojedynczej linii rodowej, w wyniku którego z jednego wyjściowego gatunku powstaje olbrzymia ilość gatunków przystosowanych do odmiennych środowisk.

bokości, co umożliwia pobieranie wody nawet z zasobów gruntowych.

U roślin jednoliściennych oraz paprotników korzeń główny przestaje rosnąć bardzo wcześnie. Jego rolę przejmują silnie rozwinięte korzenie boczne, tworzące przypominający pęk lub wiązkę równorzędnych korzeni system **wiązkowy**. Sięga on płycej niż system palowy.

W przekroju podłużnym korzenia można wyróżnić kilka stref. **119.1.1** Za stożkiem wzrostu pokrytym **czapeczką** (pełniącą rolę ochronną) znajduje się **strefa wydłużania**, w której rozpoczynają się wzrost i różnicowanie komórek. Bezpośrednio za nią leży **strefa różnicowania**, zwana również **strefą włosnikową**. Jest ona niezbędna dla efektywnego wchłaniania wody.



19.1. Budowa strefowa korzenia

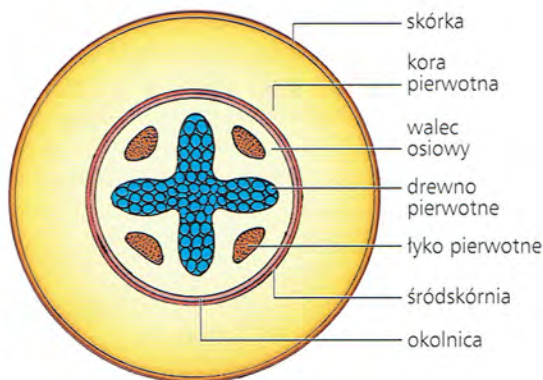
Budowa pierwotna korzenia

Charakterystyczny układ tkanek widoczny na przekroju poprzecznym strefy różnicowania nosi nazwę budowy pierwotnej korzenia. **119.2.1** Z zewnątrz korzeń otacza jednokomórkowa warstwa skórki zwana **epiblemą** lub **ryzodermą**. Pod ryzodermą znajduje się gruby walec złożony z cienkościennych, luźno ułożonych komórek miękiszowych zwany **korą pierwotną**. Najbardziej wewnętrzna jej warstwa tworzy **endodermę (śródkórnę)**, której komórki ściśle do siebie przylegają i mają ściany zgrubiałe w charakterystyczny sposób. Wszystkie tkanki znajdujące się po wewnętrznej stronie endodermi stanowią **walec osiowy** zwany **stelą**. Część steli sąsiadująca z endodermą to **okolnica (pericykl)**. W młodych częściach korzenia okolnica może przez pewien czas zachowywać charakter tkanki twórczej (merystematycznej) i odpowiada za tworzenie zawiązków korzeni bocznych. W starszych częściach korzenia pery-

cykl przekształca się w wielowarstwową tkankę miękiszową mogącą ulegać zdrewnieniu. Wewnątrz cylindra okolnicy zlokalizowane są wiązki przewodzące w postaci gwiaździstego, centralnie położonego **drewna pierwotnego (ksylemu)** i pasm **łyka pierwotnego (floemu)** rozmieszczonych w wolnych przestrzeniach. Wiele korzeni, zwłaszcza systemu wiązkowego lub korzeni przybyszowych, kończy swój rozwój na etapie budowy pierwotnej.

Budowa wtórna korzenia

U roślin nagonasiennych i dwuliściennych okrytozależkowych dochodzi do wtórnego przyrostu korzenia na grubość. **119.3.1** Jest on możliwy dzięki istnieniu pomiędzy warstwą łyka i drewna pierwotnego falistego pierścienia **kambium** (miazgi). Komórki miazgi dzielą się i różnicują. Te, które odkładane są po zewnętrznej stronie pierścienia kambium, tworzą wtórny floem (łyko), a odkładane do wewnątrz tworzą wtórny ksylem (drewno). W wyniku tego obwód korzenia rośnie. Kora pierwotna wraz z okrywającą ją skórą pęka i po pewnym czasie odpada. Rolę zewnętrznej tkanki ochronnej przejmuje wówczas **peryderma**. Jest ona tworzona przez **fellogen**, czyli tkankę merystematyczną wtórną powstającą z perycyklu (okolnicy). Ponieważ dośrodkowe podziały kambium prowadzące do powstania drewna wtórnego są częstsze, gwiaździsty wzór drewna pierwotnego szybko ulega zaburzeniu. Centralnie położony walec drewna wtórnego jest w przekroju okrągły i zajmuje większą część masy korzenia.



19.2. Budowa pierwotna korzenia

Liść

Liście to organy roślin pełniące najważniejszą funkcję w procesie fotosyntezy. Możemy wśród nich wyróżnić **mikrofile** oraz **makrofile**. Pierwsze są charakterystyczne dla prymitywnych paprotników i widłaków. Przypominają łuskowate wyrostki zbudowane z miększu asymilacyjnego i zwykle nie są połączone z resztą rośliny za pomocą wiązek przewodzących. Natomiast u większości roślin naczyniowych liście to duże organy zaopatrzone w skomplikowany system żyłek połączonych

z tkankami przewodzącymi łodygi. Sposób rozmieszczenia liści na łodydze, zwany **ulistnieniem** (**filotaksją**), jest charakterystyczny dla danego gatunku. Wyróżniamy pięć podstawowych typów ulistnienia: **skrętoległe** (Grusza pospolita – *Pyrus communis*), **naprzeciwległe** (Bez czarny – *Sambucus nigra*), **naprzemianległe** (Wiechlinowate, trawy – *Gramineae*), **nakrzyżległe** (Pokrzywa zwyczajna – *Urtica dioica*) oraz **okółkowe** (Pręstka pospolita – *Hippuris vulgaris*).

Rodzaje ulistnienia (fitotaksji)

Skrętoległe	Naprzeciwległe	Naprzemianległe	Nakrzyżległe	Okółkowe
Z każdego węzła wyrasta jeden liść. Linia łącząca nasady liści ma kształt spiralny.	Z każdego węzła wyrastają dwa liście ustawione po przeciwnych stronach pędu. Wszystkie pary liści na łodydze znajdują się w jednej płaszczyźnie.	Z każdego węzła wyrasta jeden liść. Liście kolejnych węzłów ustawione są względem siebie po przeciwnych stronach pędu.	Z każdego węzła wyrastają dwa liście ustawione po przeciwnych stronach pędu. Pary liści w kolejnych węzłach są ułożone względem siebie pod kątem prostym.	Z każdego węzła może wyrastać różna liczba liści (więcej niż 2). Ułożenie liści w kolejnych węzłach jest podobne.



Budowa morfologiczna liścia

Liście są silnie zróżnicowane pod względem morfologii. Czynniki, które mają wpływ na ich wygląd, są: środowisko życia, poziom zaawansowania ewolucyjnego, etap rozwoju rośliny. Na ogół roślina nasienne wytwarza kilka rodzajów liści.

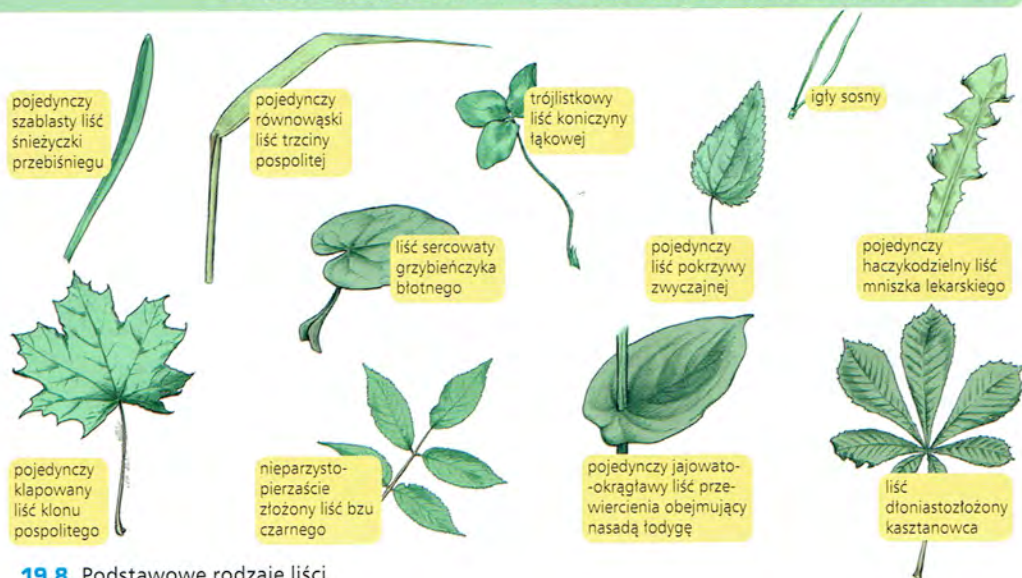
Liścienie są pierwszymi liśćmi, zawiązującymi się jeszcze w nasionie. W nasionach zawierających tkankę zapasową, czyli **bielmo** (np. lnu, maku, tytoniu), liścienie są niewielkich rozmiarów i pośredniczą w przekazywaniu substancji z bielma do zarodka. U roślin, w których nasionach bielmo nie występuje (np. fasola, groch), liścienie są grube i pełnią funkcję organów spięchrzowych. Liścienie po wydostaniu się ponad

powierzchnię ziemi zazielenieniają się i stają się pierwszymi organami asymilacyjnymi rośliny.

Liście dolne to pierwsze liście wykształcające się u podstawy nowego pędu. Zazwyczaj są niewielkie i łuskowate, bez w pełni rozwiniętej blaszki liściowej.

Liście przykwiatowe (liście górne) są silnie zredukowane. Znajdują się w pobliżu kwiatów i kwiatostanów; mogą tworzyć ich okrywę (np. liście otaczające kwiatostan słonecznika).

Liście właściwe stanowią ostateczną i dojrzałą formę liści. Cechuje je olbrzymia różnorodność. W typowym liściu można wyróżnić trzy podstawowe elementy: **blaszkę liściową**, **ogonek** i **nasadę**.



19.8. Podstawowe rodzaje liści

Blaszka liściowa jest przeważnie cienkim i płaskim tworem (wyjątek stanowią np. rurkowate liście asymilacyjne czosnku), rozpartym na rusztowaniu utworzonym przez system wiązek przewodzących (tworzących tzw. **nerwicę** liścia). Schemat ich przebiegu zależy od przynależności systematycznej. Wyróżniamy kilka typów nerwacji: **widlasta** (np. u miłorzębu dwuklapowego), **pierzasta** (np. u grabu), **dłoniasta** (np. u klonu), **równoległa** (u różnych gatunków traw).

Pod względem stopnia złożoności blaszek wyróżniamy liście **pojedyncze (niepodzielone)** oraz **złożone (podzielone)**. Kształty liści o blaszkach niepodzielonych zależą od głębokości wcięć. Liście pojedyncze są ewolucyjnym krokiem w kierunku wytworzenia liści złożonych, czyli składających się z kilku odrębnych elementów zwanych **listkami**. Są one połączone ze wspólnym ogonkiem liściowym zwanym **osadką**. Ułożenie listków może być **dłoniaste** (jak u kasztanowca) lub **pierzaste** (np. u pióropusznika strusiego). Kształt i morfologia blaszki liściowej są nierzadko tak charakterystyczne, że można określić przynależność gatunkową rośliny jedynie na ich podstawie.

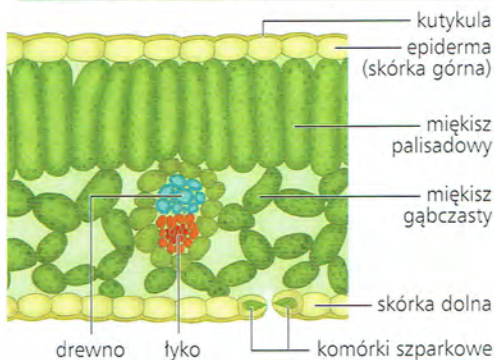
Ogonek liściowy jest elementem łączącym blaszkę liściową z nasadą liścia. Najczęściej wyrasta u podstawy blaszki, ale bywa, że z jej środka (np. u nasturcji). Mówimy wówczas o **liściu tarczowym**. Wiele gatunków roślin (głównie jednoliścienne trawy) nie posiada ogonków li-

ściowych, a blaszka łączy się bezpośrednio z pędem. Taki rodzaj liścia nazywamy **siedzącym**.

Nasada liścia łączy ogonek liściowy z łodygą. U niektórych gatunków (dwuliściennych) nasada wytwarza **przylistki**.

Anatomia liścia

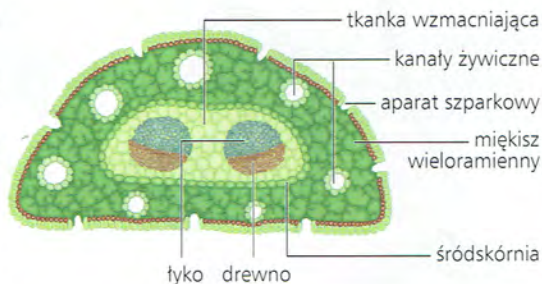
Budowa liścia jest efektem jego specjalizacji idącej w kierunku jak najlepszego przystosowania do sprawnego prowadzenia procesu fotosyntezy. Liść tworzą tkanki: okrywająca (skórka), mięsistowa (mięksisz asymilacyjny) oraz przewodząca. Skórka pokryta warstwą kutikuli jest nieprzepuszczalna dla wody i gazów. Wymiana gazowa oraz parowanie wody (transpiracja) odbywają się za pomocą aparatów szparkowych będących wytworem skórki. Przestrzeń pomiędzy dwiema warstwami skórki zajmowana jest przez mięksisz asymilacyjny (tzw. **mezofil**): **palisadowy**, zlokalizowany pod powierzchnią górnej skórki, oraz **gąbczasty**, zajmujący dolną część liścia. **19.9.1** U roślin żyjących w środowiskach suchych powierzchnię skórki pokrywa gruba warstwa kutyny, która u roślin wodnych prawie nie występuje (w ich skórcie brak również aparatów szparkowych). Często zdarza się, że komórki skórki są wyposażone w dobrze wykształcone chloroplasty. Wewnątrz warstwy mięsistej przebiegają wiązki przewodzące tworzące nierzadko skomplikowany system żyłek liściowych. Najczęściej są to wiązki **kolateralne zamknięte** (składają się z jednej



19.9. Budowa anatomiczna liścia

warstwy tyka i jednej warstwy drewna, a między nimi brak jest kambium). Ich zadaniem jest dostarczanie do liścia wody z solami mineralnymi i odprowadzanie produktów fotosyntezy.

Charakterystyczne liście roślin nagonasiennych (19.10.1) (zwane liśćmi szpilkowymi, igłami lub szpilkami) są przystosowane do przetrwania okresów niedoboru wody. Ich powierzchnia jest znacznie zredukowana, a komórki skórki o zgrubiałych ścianach wytwarzają na zewnątrz grubą warstwę kutykuli nieprzepuszczalną dla wody i gazów. Aparaty szparkowe są rozmieszczone na

19.10. Przekrój przez igłę sosny (*Pinus sp.*)

całej powierzchni liścia w specjalnych zagłębieniach skórki. Pod skórą znajduje się pojedyncza warstwa sklerenchymy, a poniżej niej mezofil zbudowany z komórek **miększu asymilacyjnego wieloramiennego** (u nagonasiennych nie występuje miękisz palisadowy i gąbczasty). Wzdłuż liścia biegną kanały żywiczne. Centralną część szpilki zajmują dwie wiązki przewodzące otoczone tak zwaną **tkanką transfuzyjną** (przetokową). Ułatwia ona transport wody i asymilatów między miękiszem asymilacyjnym a wiązkami przewodzącymi.

PODSUMOWANIE

- Wyróżniamy dwa rodzaje systemów korzeniowych: palowy (z korzeniem głównym) oraz wiązkowy (bez wyodrębnionego korzenia głównego).
- W korzeniu wyróżniamy: stożek wzrostu, strefę wydłużania oraz strefę różnicowania (zwaną strefą włośnikową).
- Na przekroju poprzecznym korzenia i łodygi można wyróżnić: ryzodermę, korę pierwotną, endodermę (śródskórnię) oraz walec osiowy.
- Wtórny przyrost korzenia i łodygi na grubość jest możliwy dzięki obecności kambium.
- W budowie pierwotnej łodygi wyróżniamy: skórkę, korę pierwotną i walec osiowy.
- Liście są organami asymilacyjnymi rośliny, ich ułożenie na pędzie nazywamy filotaksją (ulistnieniem). Wyróżniamy ulistnienie: skrętoległe, naprzeciwległe, naprzemianległe, nakrzyżległe oraz okółkowe.

ZADANIA

1. Na podstawie dostępnych źródeł porównaj dwa typy systemów korzeniowych występujących u roślin nasiennych. Zwróć uwagę na ich znaczenie i funkcjonalność w życiu rośliny.
2. Narysuj i prawidłowo opisz elementy tworzące korzeń o budowie pierwotnej.
3. Scharakteryzuj typy wiązek kolateralnych łodygi i przyporządkuj je do odpowiedniej grupy roślin.
4. Porównaj budowę anatomiczną liścia rośliny okrytonasiennej i nagonasiennej. Wskaż na przystosowania igieł sosny, które pozwalają jej przetrwać okres zimowy.

BIBLIOGRAFIA

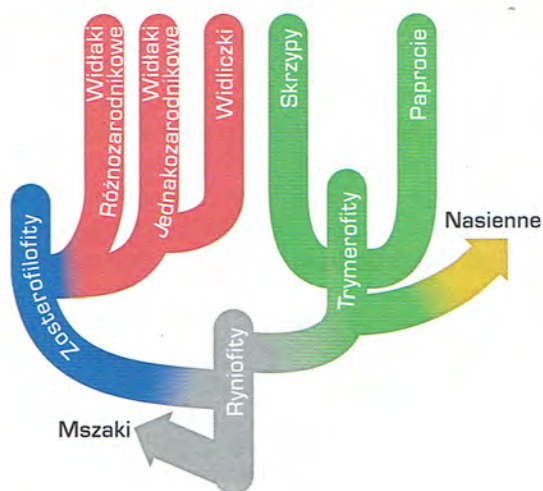
Szweykowska A., Szweykowski J., *Botanika T. 1 – Morfologia*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007.

18. Paprotniki – rośliny zarodnikowe z dominującym sporofitem

Paprotniki to lądowe rośliny tkankowe, w których budowie zewnętrznej można wyróżnić korzeń, łodygę oraz liście. Są pierwszymi właściwymi organowcami. W przeciwieństwie do mszaków gametofit paprotników jest mocno zredukowany, na ogół pozostaje jednak rośliną samodzielną. Sporofit ulega natomiast dalekiej specjalizacji i jest pokoleniem dominującym. Paprotniki charakteryzuje przemiana faz jądrowych z **heteromorficzną przemianą pokoleń**. Rośliny należące do tej grupy mogą również rozmnażać się wegetatywnie przez kłącza (podziemne łodygi). Podobnie jak u mszaków do procesu zapłodnienia niezbędna jest woda. Paprotniki dzielimy na **jednakozarodnikowe** – wytwarzające identyczne morfologicznie zarodniki (proces ten to tzw. izosporia) oraz **różnozarodnikowe**, których zarodniki różnią się wielkością i kształtem (to tzw. heterosporia). Paprotniki (podobnie jak mszaki) są traktowane jako sztuczna jednostka systematyczna, a nazwę ich stosuje się częściej zwyczajowo niż taksonomicznie. Do tej grupy zaliczane są trzy gromady współcześnie żyjących roślin należących do odmiennych linii rozwojowych, a mianowicie: **widłaki** (*Lycopodiophyta*), **skrzypy** (*Equisetophyta*), **paprocie** (*Pteridophyta*). Cechują je podobny stopień organizacji oraz zbliżone sposoby rozrodu.

Budowa gametofitu

Niewielki, często zaledwie kilkukomórkowy gametofit paprotników (tzw. **przedrośle**) powstaje z haploidalnego zarodnika. U paprotników **jednakozarodnikowych** przedrośle jest zwykle jednopienne, co oznacza, że wytwarza rodnie i plemnie na tym samym osobniku. U paprotników **różnozarodnikowych** gametofity są silnie zredukowane. Rozwijają się często już wewnątrz zarodnika, który pęka po wykształceniu narządów rozmnażania płciowego. Gametofit paprotników jest najczęściej autotroficzny, choć znane są gatunki, których heterotroficzne gametofity rozwijają się tylko w symbiozie z grzybami. Gametofit paprotników rozmnaża się płciowo. Plemniki zaopatrzone są w wici, dzięki czemu aktywnie przepływają z plemni do rodni. W wyniku zapłodnienia powstaje diploidalna zygota, z której rozwija się sporofit.



Budowa sporofitu

Właściwa postać paprotnika to sporofit, który początkowo wrasta w przedrośle, żeby odżywiać się jego kosztem. Szybko jednak staje się rośliną niezależną, samożywną i długotrwałą. Na tym etapie przedrośle zazwyczaj zamiera. Sporofit paprotników jest okazałą rośliną (największe żyjące dziś paprocie drzewiaste mogą osiągać wysokość kilkunastu metrów). **18.1.1**

18.1. Przedstawiciel paproci drzewiastych – *Cyathea* sp.



W budowie wewnętrznej sporofitu wyróżnia się tkanki: **okrywającą**, **wzmacniającą**, **przewodzącą**, **miękiszową** oraz **twórczą**. Zarodnie, czyli sporangia, mają różny kształt i okryte są wielokomórkową ścianą. Osadzone są na dolnej stronie **sporofili**, które często zebrane są w kłasy zarodnikonośne (tzw. **strobile**). Z kolei liście

służące do odżywiania to **trofofile**. Taki dymorfizm liści występuje u paprotników dość często (np. u pióropusznika strusiego). **[18.2.]** Wiele gatunków (np. paprotka zwyczajna) **[18.3.]** nie wykazuje zróżnicowania liści na sporofile i trofofile, a każdy ich liść jest zarówno organem generatywnym, jak i wegetatywnym.



18.2. Pióropusznik strusi
(*Matteucia struthiopteris*)



18.3. Paprotka zwyczajna
(*Polypodium vulgare*)

:: Ciekawostka

W karbonie pojawiły się widłaki różnozarodnikowe – **lepidodendrony** i **sygilarie**, sięgające 30–40 metrów wysokości, o średnicy pnia dochodzącej do 2 metrów. Były one zasadniczym elementem ówczesnych lasów. To im zawdzięczamy najbogatsze złoża węgla kamiennego. Wyginęły pod koniec ery paleozoicznej.

Spośród wymarłych przedstawicieli skrzypowych wymienić należy **kalamity**, olbrzymie rośliny dochodzące do 30 metrów wysokości. Powstały u schyłku dewonu, by w karbonie tworzyć lasy węglowe. Wymarły w górnej kredzie.



Lepidodendron

Sygillaria

Kalamity

Przegląd systematyczny paprotników

Widłaki (*Lycopodiophyta*)

Współcześnie żyjące widłakowe są niewielkimi roślinami zielnymi. Wyróżniamy wśród nich **widłaki jednazarodnikowe** (*Lycopodiales*), **różnazarodnikowe** (*Isoetales*) oraz **widliczki** (*Selaginellales*). Ich sporofit cechuje się skomplikowaną budową wewnętrzną i zewnętrzną, a ich pędy i korzenie są widlasto rozgałęzione. Wszystkie widłaki występujące na terenie Polski są objęte ścisłą ochroną gatunkową.

Widłaki jednazarodnikowe wytwarzają morfologicznie i fizjologicznie identyczne zarodniki. Przykładem jest **widłak goździsty**.

118.4.1 Zarodniki tego gatunku mogą kiełkować nawet po 7 latach od wytworzenia. Niewielkie przedrośle rozwija się tylko wtedy, gdy zwiąże się z grzybem mikoryzowym (żyje pod ziemią kosztem grzyba). Jego górna część może z czasem wyrastać ponad powierzchnię ziemi i zazieleniać się. Tworzące się na jednopiennym przedroślu rodnie i plemniki dojrzałość płciową osiągają dopiero po 12–15 latach. W rodni powstaje jedna komórka jajowa, natomiast w plemniach – duże ilości ruchliwych plemników zaopatrzonych w dwie wici. Do procesu płciowego dochodzi przy udziale wody. Zarodek wrasta stopą w przedrośle i pobiera z niego pokarm. Z zarodka rozwija się okazały sporofit. Liście zarodnionośne, czyli sporofilostany, na ogół różnią się od pozostałych pędów, choć znane są gatunki, gdzie liście zarodnionośne i wegetatywne nie różnią się między sobą.

Do **widłaków różnazarodnikowych** należą tak zwane **porybliny** (*Isoetes*), liczące około 140 gatunków. W Polsce występuje **poryblin jeziorny** **118.5.1** oraz **poryblin kolczasty**. Współcześnie żyjące gatunki mają krótką, bulwiastą łodygę i żyją w środowisku wodnym. Wewnętrzne, młodsze liście wytwarzają u nasady mikrosporangia, w których powstają mikrospory. Zewnętrzne, starsze liście tworzą u nasady makrosporangia, w których powstają makrospory. Po wydostaniu się z zarodni mikrospory kiełkują w przedrośla męskie. Powstające z makrospory przedrośle żeńskie wytwarza kilka rodni zawierających pojedyncze komórki jajowe. Na przedroślu męskim natomiast tworzy się jedna plemnica produkująca plemniki wielowiciowe. Z zapłodnionej zygoty w krótkim czasie rozwija się zarodek kiełkujący w nowy sporofit.

Różnazarodnikowe **widliczki** stanowią niezależną linię rozwojową. W przeciwieństwie do pozostałych widłaków różnazarodnikowych ich plemniki są dwuwiciowe. Przykładem jest **widliczka ostrozębna**. **118.6.1** Na szczycie jej łodygi znajdują się liście zarodnionośne (sporofile), zebrane w kłosa zarodnionośne (strobile). U nasady liści zarodnionośnych zlokalizowane są zarodnie. Sporofile z **makrosporangiami** (megasporangiami) usytuowane są w dolnej części strobila. Sporofile z **mikrosporangiami** znajdują się w górnej jego części. Przedrośle męskie jest mniejsze od żeńskiego. Plemniki z kroplami rosy

118.4. Widłak goździsty (*Lycopodium clavatum*)



118.5. Poryblin jeziorny (*Isoetes lacustris*)



lub deszczu dostają się do dolej części kłosa zarodnionośnego, docierają do rozwijających się makrospor i zapładniają komórki jajowe. Przedrośla żeńskie (czasem z już rozwijającym się sporofitem) wypadają z kłosa na ziemię, gdzie następuje dalszy rozwój rośliny.

Skrzypy (*Equisetophyta*)

Gromada ta liczy obecnie około 30 gatunków, z czego w Polsce występuje 10. Są jednakozarodnikowymi roślinami zielnymi, przystosowanymi do zajmowania różnych siedlisk (ale występują zwykle w miejscach zacienionych i wilgotnych). Osiągają ponad metr wysokości i mają bardzo charakterystyczną budowę. W węzłach łodygi oddzielonych licznymi międzywęzłami wyrastają okółkowo łuskowate liście zrośnięte w pochewkę oraz odgałęzienia boczne. U skrzypów występują dwa typy wyraźnie zróżnicowanych morfologicznie pędów nadziemnych. Pierwszy z nich to tak zwany **pęd wiosenny** (zarodnionośny). **[18.7.]** Jest mięsisty, nierozgałęziony, o brązowej barwie. Osiąga wysokość 10–25 centymetrów. Na szczycie pędu wytwarza się kłos zarodnionośny (sporofi-

18.6. Widliczka ostrozębna (*Selaginella selaginoides*) żyje w górach; dorasta do 10 cm wysokości.

lostan) przypominający szyszkę i wytwarzający zarodniki w liściach zarodnionośnych (sporofilach) wykształconych w postaci tarczek, u spodu których znajduje się kilka zarodni. Zarodniki opatrzone są dwiema krzyżującymi się wstęgami (**hapte-rami**). Pod wpływem wilgoci rozwijają się one albo zwijają, co ułatwia wysypywanie zarodników z otwartej zarodni. Po wysiewie zarodników kłos zarodnionośny obumiera. Wówczas pojawiają się **pędy letnie** (płonne). **[18.8.]** Dorastają one do wysokości 40 centymetrów, asymilują i są okółkowo rozgałęzione.



18.7. Pęd wiosenny skrzypu olbrzymiego (*Equisetum maximum*)



18.8. Pęd letni skrzypu olbrzymiego (*Equisetum maximum*)

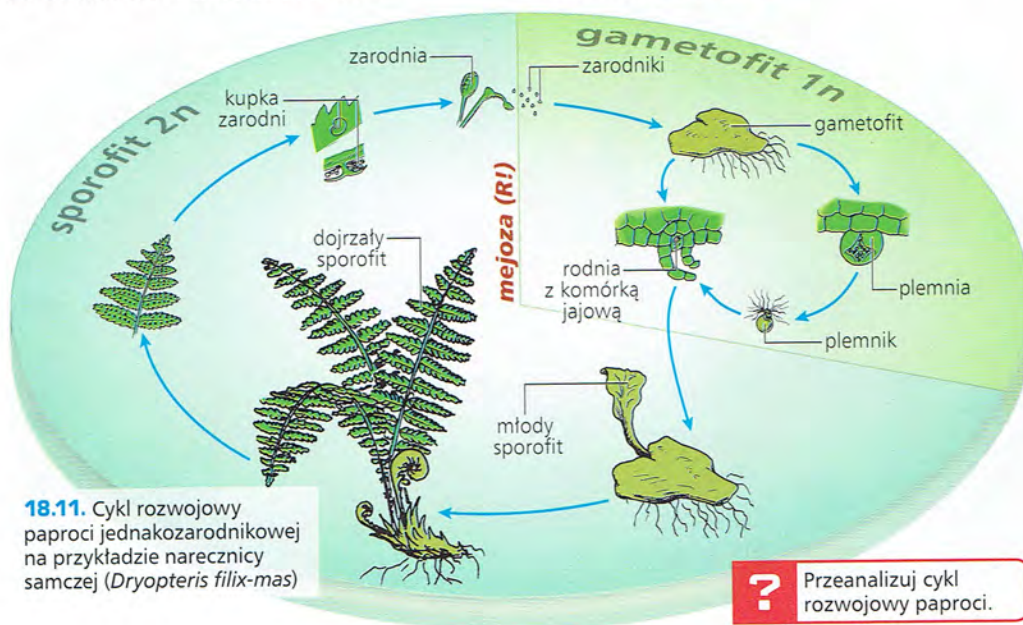
18.9. Jęczyznik zwyczajny (*Phyllitis scolopendrium*)

18.10. Liść zarodnionośny z kupkami zarodni

Paprocie (*Pteridophyta*)

Jest to najliczniejsza (około 10 000 gatunków) i zarazem najbardziej rozwinięta gromada paprotników. Wśród jej przedstawicieli możemy odnaleźć małe, kilkucentymetrowe rośliny wodne, jak też potężne, kilkunastometrowe paprocie drzewiaste. Typowymi przykładami paprociowych są popularna paprotka zwyczajna i jęczyznik zwyczajny. [18.9.] Jak większość paproci ma ona duże, zielone liście, w młodości pastorałowato zwinięte. Na spodniej stronie liści mieszczą się uformowane w **kupki (sorusy)** zarodnie [18.10.], które mogą być okryte **zawijką**. Zarodnie mają jednowarstwową ścianę, a wewnątrz występują warstwy **tkanki wyścielającej** (tapetum) oraz **zarodnikotwórczej**, czyli **archesporu**. Wyróżniamy **paprocie jednokarodnikowe** i **różnokarodnikowe**.

Przykładem **paproci jednokarodnikowych** jest **narecznica samcza**. Z zarodnika rozwija się mały, spłaszczony, plechowaty i zielony gametofit o sercowatym zarysie. Na spodniej stronie przedrośla znajdują się chwytalniki, które służą do przytwierdzenia rośliny do podłoża, tam też tworzą się butelkowate rodnie i kuliste plemniki. W środowisku wodnym plemniki się otwierają, a opatrzone wieloma wiciami plemniki przepływają ku otwartym rodniom. Młody sporofit rozwija się początkowo w obrębie rodni i podobnie jak u mszaków odżywia się kosztem gametofitu. Po osiągnięciu określonych rozmiarów sporofit usamodzielnia się, wytwarza korzeń i liście, gametofit natomiast obumiera. Dojrzały sporofit jest dużą rośliną naczyniową o rozbudowanym systemie korzeniowym. [18.11.]



18.11. Cykl rozwojowy paproci jednokarodnikowej na przykładzie narecznicy samczej (*Dryopteris filix-mas*)

? Przeanalizuj cykl rozwojowy paproci.

Paprocie różnozarodnikowe obejmują gatunki, u których zróżnicowanie płciowe idzie w parze z odmienną morfologią zarodników. Podobnie jak u widłaków różnozarodnikowych większe zarodniki to **megaspory** powstające w megasporangiach, a mniejsze to powstające w mikrosporangiach **mikrospory**. Typowym przedstawicielem paproci różnozarodnikowych jest **salwinia pływająca**. **18.12.1** To jednoroczna roślina wodna wytwarzająca po spodniej stronie sporofitu liczne zarodnie. Skupiska megasporangiów i mikrosporangii otoczone są chroniącą je kulistą pokrywą zwaną **sporokarpem**. Sporangia wytwarzane są między sierpniem a listopadem, po czym pędy zamierają, a młode sporokarpy opadają na dno zbiornika, gdzie zimują w osadach dennych. Wiosną pokrywa sporokarpu pęka, a zarodniki wypływają na powierzchnię wody, gdzie kiełkują w dwupienne przedrośla. Plemniki łatwo przedostają się do rodni, gdzie po zapłodnieniu tworzą zygotę wyrastającą w nowy sporofit.



18.12. Salwinia pływająca (*Salvinia natans*)

:: Ciekawostka

Niektóre gatunki paprotników są objęte ochroną. Należą do nich wszystkie gatunki **widłaków**, jak na przykład poryblin jeziorny i poryblin kolczasty; takie gatunki **skrzypów**, jak skrzyp olbrzymi (największy żyjący w Polsce przedstawiciel tego rodzaju), i **paproci** (pióropusznik strusi, długosz królewski, jęczyznik zwyczajny, podrzeń zebrowiec).

Znaczenie paprotników

Paprotniki określa się jako rośliny lądowe, chociaż znane są gatunki żyjące w wodzie, jak na przykład salwinia pływająca. Możemy je spotkać we wszystkich rejonach kuli ziemskiej, jednak najliczniej występują w strefie międzyzwrotnikowej. Wchodzą w skład roślinności łąkowej, bagiennej i leśnej; stanowią główny składnik podszytu. Pa-

procie drzewiaste w ciepłych strefach klimatycznych współtworzą drzewostan. W karbonie stanowiły one zasadniczy trzon wszelkiej roślinności. To z ich szczątków powstały olbrzymie pokłady węgla kamiennego. Niektóre, pojedyncze gatunki znajdują zastosowanie w ziołolecznictwie (np. skrzyp polny *Equisetum arvense*).

PODSUMOWANIE

- Paprotniki są pierwszymi roślinami tkankowymi i właściwymi organowcami.
- Dominującym pokoleniem paprotników jest sporofit.
- Mocno zredukowany gametofit paprotników nazywany jest przedroślem.
- Współczesne paprotniki dzielimy na trzy gromady: widłaki, skrzypy, paprocie.
- Najbujniej paprotniki rozwinęły się w karbonie. Stanowiły wówczas podstawowy składnik lasów i przyczyniły się w największym stopniu do powstania pokładów węgla.



ZADANIA

1. Przygotuj argumenty do klasowej dyskusji przemawiające za koniecznością ochrony wszystkich gatunków widłaków występujących w Polsce.
2. Wyjaśnij, w jaki sposób przejawia się u paprotników redukcja gametofitu.
3. Scharakteryzuj zróżnicowanie morfologiczne i funkcjonalne liści u widliczki ostrozębnej.
4. Wyjaśnij, czym jest zawijka i jaką pełni rolę.
5. Omów rolę pędu wiosennego i pędu letniego w rozwoju skrzypów.



BIBLIOGRAFIA

Gottfried A., Runo Leśne, Multico, Warszawa 2009.



19. Budowa organów wegetatywnych roślin nasiennych

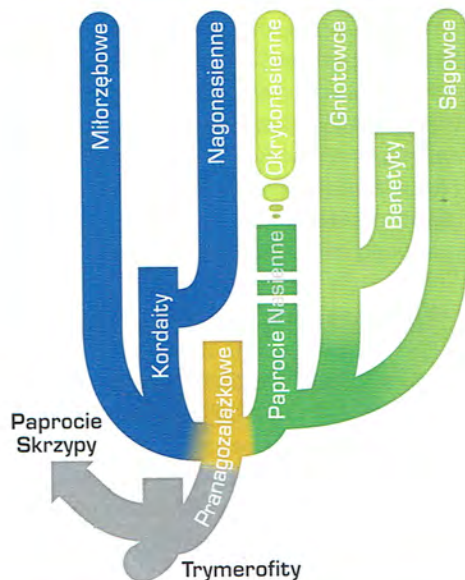
Współcześnie do grupy roślin nasiennych (*Spermatophyta*) zaliczamy około 250 tysięcy gatunków. Rośliny te osiągnęły szczytowy poziom rozwoju ewolucyjnego, odznaczający się wysokim stopniem organizacji (zarówno jeśli chodzi o budowę wewnętrzną, jak i zewnętrzną). Najważniejszą cechą nasiennych jest całkowita **dominacja sporofitu** nad gametofitem niezdolnym do samodzielnego życia. Ważnym osiągnięciem jest też organ przetrwalny zwany nasionem, zawierający **zarodek** oraz tkankę zapasową niezbędną podczas kiełkowania. Sporofit nasiennych budują wszystkie znane tkanki roślinne, a organami typowymi dla tych roślin są łodyga, korzeń, liście. Ich budowa jest wyrazem przystosowania do środowiska.

Klasyfikacja roślin nasiennych

Według najnowszej klasyfikacji w obrębie grupy roślin nasiennych wyróżnia się **dwie gromady**: **nagonasienne** (nagozalążkowe, *Pinophyta*), które są najstarszą linią rozwojową tej grupy roślin (liczą ponad 900 gatunków), oraz **okrytonasienne** (okrytozalążkowe, *Magnoliophyta*). Do nagonasiennych zaliczamy 4 klasy: **sagowce** (*Cycadopsida*), **gniłotowe** (*Gnetopsida*), **miłorzębowe** (*Ginkgopsida*) i **iglaste** (*Pinopsida*). **Okrytonasienne** osiągnęły najwyższy stopień rozwoju i największy sukces w zakresie radiacji adaptacyjnej. Liczba okrytonasiennych sięga 249 tysięcy gatunków. Współczesny system taksonomiczny dzieli okrytonasienne na dwie klasy: **jednoliściennne** (*Liliopsida*), których zarodek zawiera jeden liście (należą tu głównie rośliny zielne i kwiatowe), i **dwuliściennne** (*Magnoliopsida*), których zarodek zawiera dwa liście (typowym przykładem są drzewa i krzewy).

Korzeń

U roślin nagozalążkowych oraz jednoliściennych okrytozalążkowych można wyróżnić korzeń główny rosnący pionowo w dół oraz szereg znacznie od niego cieńszych i krótszych korzeni bocznych, tworzących odgałęzienia pierwszego rzędu. Pod różnymi kątami wyrastają z nich kolejne odgałęzienia. Taki system korzeniowy nazywamy **palowym**. Sięga on na znaczne głębokości,



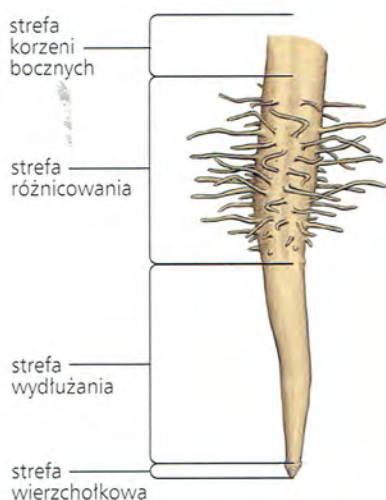
:: Ciekawostka

Radiacja adaptacyjna (zwana też adaptatywną) polega na ewolucyjnym zróżnicowaniu pojedynczej linii rodowej, w wyniku którego z jednego wyjściowego gatunku powstaje olbrzymia ilość gatunków przystosowanych do odmiennych środowisk.

bokości, co umożliwia pobieranie wody nawet z zasobów gruntowych.

U roślin jednoliściennych oraz paprotników korzeń główny przestaje rosnąć bardzo wcześnie. Jego rolę przejmują silnie rozwinięte korzenie boczne, tworzące przypominający pęk lub wiązkę równorzędnych korzeni system **wiązkowy**. Sięga on płycej niż system palowy.

W przekroju podłużnym korzenia można wyróżnić kilka stref. **119.1.1** Za stożkiem wzrostu pokrytym **czapeczką** (pełniącą rolę ochronną) znajduje się **strefa wydłużania**, w której rozpoczynają się wzrost i różnicowanie komórek. Bezpośrednio za nią leży **strefa różnicowania**, zwana również **strefą włosnikową**. Jest ona niezbędna dla efektywnego wchłaniania wody.



119.1. Budowa strefowa korzenia

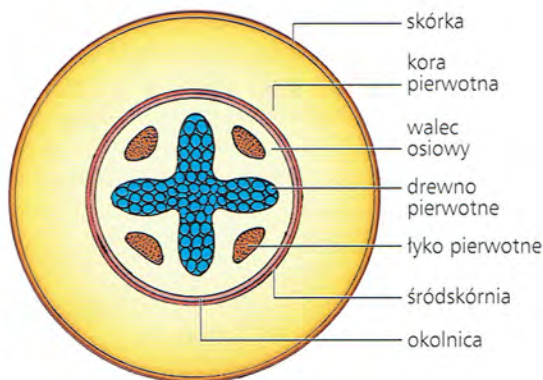
Budowa pierwotna korzenia

Charakterystyczny układ tkanek widoczny na przekroju poprzecznym strefy różnicowania nosi nazwę budowy pierwotnej korzenia. **119.2.1** Z zewnątrz korzeń otacza jednokomórkowa warstwa skórki zwana **epiblemą** lub **ryzodermą**. Pod ryzodermą znajduje się gruby walec złożony z cienkościennych, luźno ułożonych komórek miękiszowych zwany **korą pierwotną**. Najbardziej wewnętrzna jej warstwa tworzy **endodermę (śródkórnę)**, której komórki ściśle do siebie przylegają i mają ściany zgrubiałe w charakterystyczny sposób. Wszystkie tkanki znajdujące się po wewnętrznej stronie endodermi stanowią **walec osiowy** zwany **stelą**. Część steli sąsiadująca z endodermą to **okolnica (perycykl)**. W młodych częściach korzenia okolnica może przez pewien czas zachowywać charakter tkanki twórczej (merystematycznej) i odpowiada za tworzenie zawiązków korzeni bocznych. W starszych częściach korzenia pery-

cykl przekształca się w wielowarstwową tkankę miękiszową mogącą ulegać zdrewnieniu. Wewnątrz cylindra okolnicy zlokalizowane są wiązki przewodzące w postaci gwiaździstego, centralnie położonego **drewna pierwotnego (ksylemu)** i pasm **łyka pierwotnego (floemu)** rozmieszczonych w wolnych przestrzeniach. Wiele korzeni, zwłaszcza systemu wiązkowego lub korzeni przybyszowych, kończy swój rozwój na etapie budowy pierwotnej.

Budowa wtórna korzenia

U roślin nagonasiennych i dwuliściennych okrytozależkowych dochodzi do wtórnego przyrostu korzenia na grubość. **119.3.1** Jest on możliwy dzięki istnieniu pomiędzy warstwą łyka i drewna pierwotnego falistego pierścienia **kambium** (miazgi). Komórki miazgi dzielą się i różnicują. Te, które odkładane są po zewnętrznej stronie pierścienia kambium, tworzą wtórny floem (łyko), a odkładane do wewnątrz tworzą wtórny ksylem (drewno). W wyniku tego obwód korzenia rośnie. Kora pierwotna wraz z okrywającą ją skórą pęka i po pewnym czasie odpada. Rolę zewnętrznej tkanki ochronnej przejmuje wówczas **peryderma**. Jest ona tworzona przez **fellogen**, czyli tkankę merystematyczną wtórną powstającą z perycyklu (okolnicy). Ponieważ dośrodkowe podziały kambium prowadzące do powstania drewna wtórnego są częstsze, gwiaździsty wzór drewna pierwotnego szybko ulega zaburzeniu. Centralnie położony walec drewna wtórnego jest w przekroju okrągły i zajmuje większą część masy korzenia.



119.2. Budowa pierwotna korzenia

Liść

Liście to organy roślin pełniące najważniejszą funkcję w procesie fotosyntezy. Możemy wśród nich wyróżnić **mikrofile** oraz **makrofile**. Pierwsze są charakterystyczne dla prymitywnych paprotników i widłaków. Przypominają łuskowate wyrostki zbudowane z miękiszu asymilacyjnego i zwykle nie są połączone z resztą rośliny za pomocą wiązek przewodzących. Natomiast u większości roślin naczyniowych liście to duże organy zaopatrzone w skomplikowany system żyłek połączonych

z tkankami przewodzącymi łodygi. Sposób rozmieszczenia liści na łodydze, zwany **ulistnieniem** (**filotaksją**), jest charakterystyczny dla danego gatunku. Wyróżniamy pięć podstawowych typów ulistnienia: **skrętoległe** (Grusza pospolita – *Pyrus communis*), **naprzeciwległe** (Bez czarny – *Sambucus nigra*), **naprzemianległe** (Wiechlinowate, trawy – *Gramineae*), **nakrzyżległe** (Pokrzywa zwyczajna – *Urtica dioica*) oraz **okółkowe** (Pręstka pospolita – *Hippuris vulgaris*).

Rodzaje ulistnienia (fitotaksji)

Skrętoległe	Naprzeciwległe	Naprzemianległe	Nakrzyżległe	Okółkowe
Z każdego węzła wyrasta jeden liść. Linia łącząca nasady liści ma kształt spiralny.	Z każdego węzła wyrastają dwa liście ustawione po przeciwnych stronach pędu. Wszystkie pary liści na łodydze znajdują się w jednej płaszczyźnie.	Z każdego węzła wyrasta jeden liść. Liście kolejnych węzłów ustawione są względem siebie po przeciwnych stronach pędu.	Z każdego węzła wyrastają dwa liście ustawione po przeciwnych stronach pędu. Pary liści w kolejnych węzłach są ułożone względem siebie pod kątem prostym.	Z każdego węzła może wyrastać różna liczba liści (więcej niż 2). Ułożenie liści w kolejnych węzłach jest podobne.



Budowa morfologiczna liścia

Liście są silnie zróżnicowane pod względem morfologii. Czynniki, które mają wpływ na ich wygląd, są: środowisko życia, poziom zaawansowania ewolucyjnego, etap rozwoju rośliny. Na ogół roślina nasienne wytwarza kilka rodzajów liści.

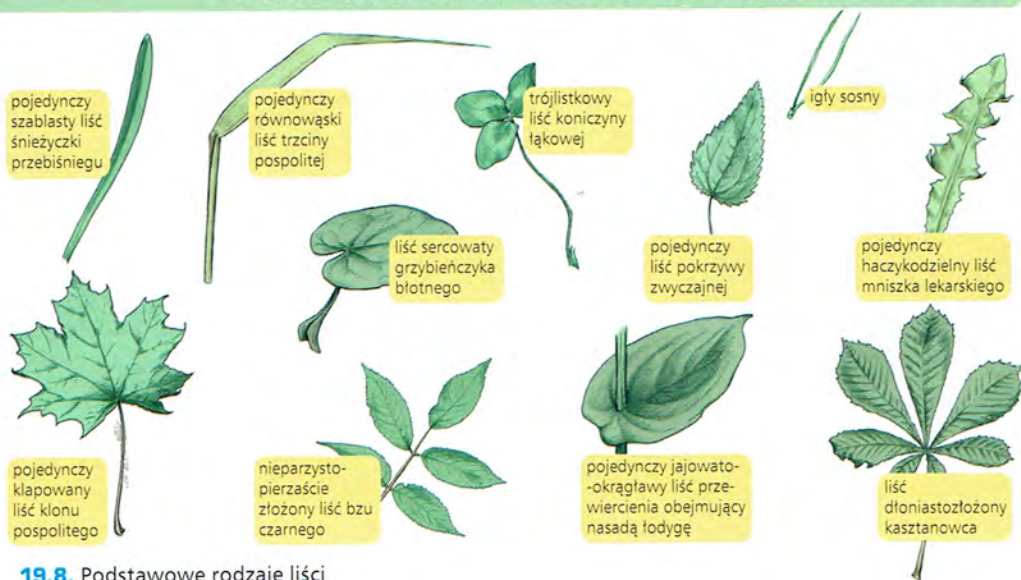
Liścienie są pierwszymi liśćmi, zawiązującymi się jeszcze w nasionie. W nasionach zawierających tkankę zapasową, czyli **bielmo** (np. lnu, maku, tytoniu), liścienie są niewielkich rozmiarów i pośredniczą w przekazywaniu substancji z bielma do zarodka. U roślin, w których nasionach bielmo nie występuje (np. fasola, groch), liścienie są grube i pełnią funkcję organów spięchrzowych. Liścienie po wydostaniu się ponad

powierzchnię ziemi zazielenieniają się i stają się pierwszymi organami asymilacyjnymi rośliny.

Liście dolne to pierwsze liście wykształcające się u podstawy nowego pędu. Zazwyczaj są niewielkie i łuskowate, bez w pełni rozwiniętej blaszki liściowej.

Liście przykwiatowe (liście górne) są silnie zredukowane. Znajdują się w pobliżu kwiatów i kwiatostanów; mogą tworzyć ich okrywę (np. liście otaczające kwiatostan słonecznika).

Liście właściwe stanowią ostateczną i dojrzałą formę liści. Cechuje je olbrzymia różnorodność. W typowym liściu można wyróżnić trzy podstawowe elementy: **blaszkę liściową**, **ogonek** i **nasadę**.



19.8. Podstawowe rodzaje liści

Blaszka liściowa jest przeważnie cienkim i płaskim tworem (wyjątek stanowią np. rurkowate liście asymilacyjne czosnku), rozpartym na rusztowaniu utworzonym przez system wiązek przewodzących (tworzących tzw. **nerwicę** liścia). Schemat ich przebiegu zależy od przynależności systematycznej. Wyróżniamy kilka typów nerwacji: **widlasta** (np. u miłorzębu dwuklapowego), **pierzasta** (np. u grabu), **dłoniasta** (np. u klonu), **równoległa** (u różnych gatunków traw).

Pod względem stopnia złożoności blaszek wyróżniamy liście **pojedyncze (niepodzielone)** oraz **złożone (podzielone)**. Kształty liści o blaszkach niepodzielonych zależą od głębokości wcięć. Liście pojedyncze są ewolucyjnym krokiem w kierunku wytworzenia liści złożonych, czyli składających się z kilku odrębnych elementów zwanych **listkami**. Są one połączone ze wspólnym ogonkiem liściowym zwanym **osadką**. Ułożenie listków może być **dłoniaste** (jak u kasztanowca) lub **pierzaste** (np. u pióropusznika strusiego). Kształt i morfologia blaszki liściowej są nierzadko tak charakterystyczne, że można określić przynależność gatunkową rośliny jedynie na ich podstawie.

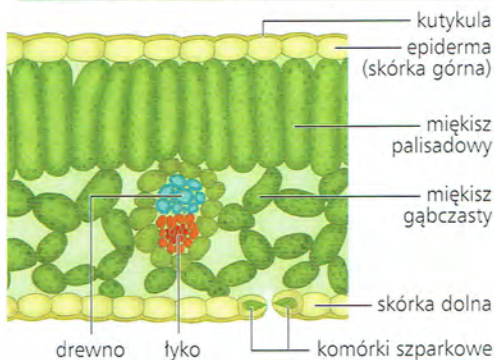
Ogonek liściowy jest elementem łączącym blaszkę liściową z nasadą liścia. Najczęściej wyrasta u podstawy blaszki, ale bywa, że z jej środka (np. u nasturcji). Mówimy wówczas o **liściu tarczowym**. Wiele gatunków roślin (głównie jednoliścienne trawy) nie posiada ogonków li-

ściowych, a blaszka łączy się bezpośrednio z pędem. Taki rodzaj liścia nazywamy **siedzącym**.

Nasada liścia łączy ogonek liściowy z łodygą. U niektórych gatunków (dwuliściennych) nasada wytwarza **przylistki**.

Anatomia liścia

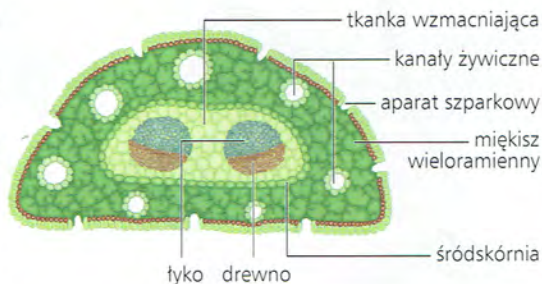
Budowa liścia jest efektem jego specjalizacji idącej w kierunku jak najlepszego przystosowania do sprawnego prowadzenia procesu fotosyntezy. Liść tworzą tkanki: okrywająca (skórka), mięsista (miększa asymilacyjna) oraz przewodząca. Skórka pokryta warstwą kutikuli jest nieprzepuszczalna dla wody i gazów. Wymiana gazowa oraz parowanie wody (transpiracja) odbywają się za pomocą aparatów szparkowych będących wytworem skórki. Przestrzeń pomiędzy dwiema warstwami skórki zajmowana jest przez miększa asymilacyjną (tzw. **mezofil**): **palisadowy**, zlokalizowany pod powierzchnią górnej skórki, oraz **gąbczasty**, zajmujący dolną część liścia. **19.9.1** U roślin żyjących w środowiskach suchych powierzchnię skórki pokrywa gruba warstwa kutyny, która u roślin wodnych prawie nie występuje (w ich skórcie brak również aparatów szparkowych). Często zdarza się, że komórki skórki są wyposażone w dobrze wykształcone chloroplasty. Wewnątrz warstwy mięsistej przebiegają wiązki przewodzące tworzące nierzadko skomplikowany system żyłek liściowych. Najczęściej są to wiązki **kolateralne zamknięte** (składają się z jednej



19.9. Budowa anatomiczna liścia

warstwy tyka i jednej warstwy drewna, a między nimi brak jest kambium). Ich zadaniem jest dostarczanie do liścia wody z solami mineralnymi i odprowadzanie produktów fotosyntezy.

Charakterystyczne liście roślin nagonasiennych (19.10.1) (zwane liśćmi szpilkowymi, igłami lub szpilkami) są przystosowane do przetrwania okresów niedoboru wody. Ich powierzchnia jest znacznie zredukowana, a komórki skórki o zgrubiałych ścianach wytwarzają na zewnątrz grubą warstwę kutykuli nieprzepuszczalną dla wody i gazów. Aparaty szparkowe są rozmieszczone na


 19.10. Przekrój przez igłę sosny (*Pinus sp.*)

całej powierzchni liścia w specjalnych zagłębieniach skórki. Pod skórą znajduje się pojedyncza warstwa sklerenchymy, a poniżej niej mezofil zbudowany z komórek **mięsiska asymilacyjnego wieloramiennego** (u nagonasiennych nie występuje mięsisko palisadowe i gąbczaste). Wzdłuż liścia biegną kanały żywiczne. Centralną część szpilki zajmują dwie wiązki przewodzące otoczone tak zwaną **tkanką transfuzyjną** (przetokową). Ułatwia ona transport wody i asymilatów między mięsiskiem asymilacyjnym a wiązkami przewodzącymi.

PODSUMOWANIE

- Wyróżniamy dwa rodzaje systemów korzeniowych: palowy (z korzeniem głównym) oraz wiązkowy (bez wyodrębnionego korzenia głównego).
- W korzeniu wyróżniamy: stożek wzrostu, strefę wydłużania oraz strefę różnicowania (zwaną strefą włośnikową).
- Na przekroju poprzecznym korzenia i łodygi można wyróżnić: ryzodermę, korę pierwotną, endodermę (śródskórnię) oraz walec osiowy.
- Wtórny przyrost korzenia i łodygi na grubość jest możliwy dzięki obecności kambium.
- W budowie pierwotnej łodygi wyróżniamy: skórkę, korę pierwotną i walec osiowy.
- Liście są organami asymilacyjnymi rośliny, ich ułożenie na pędzie nazywamy filotaksją (ulistnieniem). Wyróżniamy ulistnienie: skrótoległe, naprzeciwległe, naprzemianległe, nakrzyżległe oraz okółkowe.

ZADANIA

1. Na podstawie dostępnych źródeł porównaj dwa typy systemów korzeniowych występujących u roślin nasiennych. Zwróć uwagę na ich znaczenie i funkcjonalność w życiu rośliny.
2. Narysuj i prawidłowo opisz elementy tworzące korzeń o budowie pierwotnej.
3. Scharakteryzuj typy wiązek kolateralnych łodygi i przyporządkuj je do odpowiedniej grupy roślin.
4. Porównaj budowę anatomiczną liścia rośliny okrytonasiennej i nagonasiennej. Wskaż na przystosowania igieł sosny, które pozwalają jej przetrwać okres zimowy.

BIBLIOGRAFIA

Szwejkowska A., Szwejkowski J., *Botanika T. 1 – Morfologia*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007.

20. Modyfikacje organów wegetatywnych roślin nasiennych

Organy roślinne to zespoły tkanek przystosowane do pełnienia określonych funkcji. Korzenie, łodygi oraz liście, czyli **organy wegetatywne** roślin nasiennych, mają za zadanie umożliwić roślinie vegetację: utrzymują ją przy życiu, zapewniając odżywianie oraz sprawny i harmonijny rozwój. Organy te mogą również brać udział w rozmnażaniu. Ma ono zawsze charakter bezpłciowy i nazywane jest rozmnażaniem wegetatywnym. Aby skutecznie opanować zróżnicowane środowiska, rośliny musiały wykształcić szereg daleko idących przystosowań, które oznaczają często całkowitą modyfikację pierwotnej funkcji danego organu.

Modyfikacje korzeni

Korzenie spichrzowe

Ten typ korzeni jest spotykany najczęściej u bylin i wielu roślin uprawnych (np. buraki, marchew). Korzenie spichrzowe są bardzo grube i mięsiste, ponieważ zawierają dużą ilość tkanki spichrzowej. **120.1.1** Korzenie przybyszowe oraz boczne odgałęzienia korzeni głównych również mogą przekształcać się w organy spichrzowe: wykształcają tak zwane bulwy korzeniowe.



20.1. Bulwy korzeniowe dalii

Korzenie podporowe

Spotykane są u roślin o silnie rozwiniętych pędach nadziemnych (łodyga i liście), zwłaszcza u gatunków mających płytki system korzeniowy bądź rosnących na grząskim lub podmokłym gruncie. Głównym ich zadaniem jest stabilizacja rośliny w podłożu. Korzenie podporowe są korzeniami przybyszowymi, czyli wyrastają z pędu. Spośród roślin żyjących w Polsce korzenie podporowe wykształca na przykład kukurydza. Największe korzenie tego typu spotykane są jednak u roślin tropikalnych (figowce, palmy, pandany). **120.2.1**



20.2. Korzenie podporowe u pandana (*Pandanus tectorius*)

Korzenie kurczliwe

Dzięki unikalnej zdolności skracania górnych części korzenia możliwe jest wciąganie rośliny głębiej w glebę. **120.3.1** Następuje to wskutek skracania komórek kory pierwotnej, które obumierają i tracą wodę. U roślin kiełkujących na powierzchni gleby korzenie kurczliwe odpowiadają za umieszczenie pod ziemią dojrzewającego systemu korzeniowego lub fragmentów pędów.



20.3. Korzenie kurczliwe u krokusa (*Crocus* sp.)

Korzenie czepne

Spotykane są u **epifitów** oraz **pnączy**. **120.4.1** Epifity to niebędące pasożytami rośliny, które rosną na powierzchni (gałęziach i pędach) innych roślin, zwłaszcza drzew. Mocowanie zapewniają im właśnie korzenie czepne (występują one np. u różnych gatunków ananasowatych). Pnącza z kolei są najczęściej zakorzenione w glebie, a przybyszowe korzenie czepne wykorzystują do przytwierdzenia się do powierzchni innych roślin, tyczek, murów.

Korzenie oddechowe (pneumatofory)

Spotykane są u roślin rosnących na terenach bagnistych. **120.5.1** Takie podłoże jest ubogie w tlen. Korzenie powietrzne są odgałęzieniami bocznych korzeni rosnących pod ziemią. Wyrastają pionowo w górę (na wysokość nawet 1,5 m). Powietrze wnika do ich wnętrza przez otwory podobne do przetchlinek, skąd kanałami aerenchimy (miększu powietrznego) dociera do położonych głębiej warstw systemu korzeniowego.

Korzenie powietrzne

Są charakterystyczne dla epifitów. **120.6.1** Zazwyczaj zwisające swobodnie w dół, służą roślinie do pobierania wody z powietrza. Odbywa się to dzięki specjalnie zbudowanej skórcie zwanej

welamenem. Ma ona budowę wielowarstwową i składa się z martwych komórek o porowatych ścianach. Gdy jest sucho, komórki welamenu wypełnione są powietrzem. Gdy wilgotność wzrasta, para wodna ulega skropleniu wewnątrz komórek, a gdy pada deszcz – szybko nasiąkają one wodą.

Korzenie roślin pasożytniczych

Są to specjalnie przystosowane korzenie występujące u gatunków pasożytniczych (np. jemióły, łuskiewnika). **120.7.1** Mają postać ssawek, które dzięki wytwarzaniu enzymów lokalnie rozpuszczających ścianę komórkową wnikają do wnętrza rośliny żywiciela, „podłączając” się do jej wiązek przewodzących i bezpośrednio z nich czerpią substancje pokarmowe.

Korzenie przybyszowe

Są to korzenie wyrastające na organach pędowych rośliny. **120.8.1** Zwykle wyrastają z nasady pędu, choć u niektórych roślin mogą także wyrastać z łodygi lub liści (sądzonki liściowe fiołka afrykańskiego). W systemie korzeniowym zbudowanym z korzeni przybyszowych nie ma dominującego korzenia, w związku z tym powstaje pęczek najczęściej cienkich i wiotkich korzeni. Zdolność do tworzenia korzeni przybyszowych pozwala wielu roślinom rozmnażać się wegetatywnie.



20.4. Korzenie czepne bluszczu (*Hedera helix*)



20.5. Korzenie oddechowe cypryśnika błotnego (*Taxodium distichum*)



20.6. Korzenie powietrzne u przedstawiciela epifitycznych storczyków (*Phalaenopsis* sp.)



20.7. Korzenie pasożytnicze jemióły (*Viscum* sp.)



20.8. Kłocze tataraku z widocznym systemem korzeni przybyszowych

Modyfikacje pędów i liści

Bulwy pędowe

Są to podziemne części pędu, pełniące głównie funkcję spichrzową. Trwałość bulw pędowych jest ograniczona do jednego sezonu wegetacyjnego, nie wytwarzają one również korzeni przybyszowych. Typowym przykładem roślin wytwarzających nadziemne bulwy pędowe jest kalarepa, a podziemne – ziemniak. **120.9.1**

Cebule

Są powstałym z przekształconych liści organem podziemnym, pełniącym głównie funkcję spichrzową i przetrwalnikową. Łodyga jest silnie skrócona i zredukowana do tak zwanej **piętki**. Są na niej gęsto osadzone grube i mięsiste liście. Po spodniej stronie piętki wyrastają korzenie przybyszowe, a na jej górnej stronie znajduje się pąk wierzchołkowy, dający wiosną początek pędowi nadziemnemu. Cebule są wytwarzane głównie przez rośliny jednoliścienne (np. cebula, czosnek). **120.10.1** U niektórych roślin ozdobnych, jak hiacynt czy tulipan, służą również do rozmnażania wegetatywnego.



20.9. Bulwy pędowe ziemniaka (*Solanum tuberosum*)



20.10. Cebula uprawna (*Allium cepa*)



20.11. Rozłogi poziomki (*Fragaria* sp.)

Rozłogi

Są to przekształcone długie pędy, płożące się na ziemi lub tuż pod jej powierzchnią. Główną funkcją rozłogów jest rozmnażanie wegetatywne (jak u poziomki i truskawek). **120.11.1** Z wydłużonych międzywęźli wyrastają korzenie przybyszowe.

Kłącza

Jest to najbardziej rozpowszechniony rodzaj wieloletnich pędów podziemnych (występują np. u zawiłca, konwalii, kosaćca, perzu). **120.12.1** Ze względu na budowę są często mylone z korzeniami. O tym, że są przekształconymi pędami, świadczy obecność zredukowanych, łuskowatych liści oraz korzeni przybyszowych. Od korzeni różni je również podział na węzły i międzywęźla. Kłącza mogą zawierać duże ilości materiałów zapasowych; stanowią organy przetrwalnikowe i spichrzowe rośliny.



20.12. Kłącze konwalii (*Convallaria* sp.)



20.13. Przekształcony w gałęziaka pęd opuncji (*Opuntia microdasys*)



20.14. Przekształcone w liściaki ogonki liściowe dzbanecznika (*Nepenthes* sp.)

Gałęziaki

W suchych środowiskach, ze względu na niekorzystne zjawisko transpiracji, rośliny starają się zredukować ilość i powierzchnię liści. Ich funkcje asymilacyjne przejmują spłaszczone pędy, niekiedy przyjmujące kształt liści (tzw. gałęziaki). Zredukowane liście ulegają często przekształceniu w ciernie. Gałęziaki i niezmodyfikowane liście występujące u innych roślin są więc organami analogicznymi pod względem funkcji i budowy, ale różnią się pochodzeniem. Gałęziaki są charakterystyczne dla roślin stref suchych, takich jak kaktusy. **[20.13.]**

Liściaki

Inną modyfikacją liści występującą u roślin środowisk suchych są liściaki. To spłaszczone ogonki liściowe, które przejmują funkcje fotosyntetyczne znacząco zredukowanych blaszek liściowych. **[20.14.]** Młode liście mają często normalnie

zbudowaną blaszkę liściową, dopiero w trakcie dojrzewania ulegają przekształceniom.

Ciernie

Są to ostre, sztywne wyrostki powstające najczęściej z przekształconych liści (np. u kaktusów, berberysu). **[20.15.1]** Mogą też powstawać z przylistków (np. u robinii akacjowej) **[20.16.1]** lub pędów bocznych (np. śliwy, tarniny, głogu, gruszy). **[20.17.1]** Najrzadziej spotykane są ciernie powstające z korzeni (np. z korzeni przybyszowych niektórych gatunków palm). W odróżnieniu od kolców ciernie charakteryzuje obecność wiązek przewodzących połączonych z organami rośliny, na których występują. Ciernie najczęściej spotykane są u kserofitów (roślin środowisk suchych), choć występują również u roślin w innych strefach klimatycznych. Główne ich zadanie polega na ochronie przed zjedzeniem przez roślinożerców.



20.15. Ciernie liściowe u berberysu (*Berberis* sp.)



20.16. Ciernie przylistkowe u robinii akacjowej (*Robinia pseudacacia*)



20.17. Ciernie pędowe u tarniny (*Prunus spinosa*)

Wąsy

Występują u roślin pnących z przekształconych liści (tzw. wąsy liściowe, np. u grochu) lub z łodygi (tzw. wąsy pędowe, np. u winorośli). **120.18.1** Pełnią głównie funkcje organów czepnych, mocujących roślinę do podpory. Zapewniają roślinie tym samym możliwość pięcia się w górę, ułatwiają dostęp do światła. Cechą charakterystyczną wąsów czepnych jest ich wrażliwość na dotyk. Dookoła podpory owijają się na skutek zadziałania bodźca mechanicznego.

Liście pułapkowe

Występują u roślin mięsożernych (takich jak rosziczka, muchołówka **120.19.1**, dzbanecznik **120.20.1**), dla których zwierzęta (głównie owady, ale też pająki, drobne ślimaki) są źródłem azotu. Wynika to z faktu, że rośliny te zasiedlają środowiska wyjątkowo ubogie w azot, jak podłoża skalne, torfowiska. Liście przekształcone w pułapkę służą do wabienia i trawienia zdobyczy, dzięki obecności gruczołów wydzielających enzymy trawienne. Często liście pułapkowe wyposażone są w mechanizm błyskawicznego zamykania się.



20.18. Wąsy czepne winorośli (*Vitis sp.*)



20.19. Liście chwytnie u muchołówki (*Dionaea sp.*)



20.20. Liście pułapkowe u dzbaneczka (*Nepenthes sp.*)

PODSUMOWANIE

- Wśród zmodyfikowanych korzeni wyróżniamy: korzenie spichrzowe, podporowe, kurczliwe, czepne, oddechowe, powietrzne oraz ssawki roślin pasożytniczych.
- Największe korzenie podporowe spotykane są u roślin tropikalnych (figowce, palmy, pandany).
- Rośliny rosnące na powierzchni (gałęziach i pędach) innych roślin to epifity.
- W korzeniach powietrznych epifitów występuje skórka zwana welamenem. Służy do pochłaniania wilgoci z powietrza.
- Przekształcenia pędów i liści obejmują: bulwy pędowe, cebule, rozłogi, kłącza, gałęziaki, liściaki, ciernie, wąsy.
- Żeby ograniczyć transpirację, rośliny pustynne (np. kaktusy) zredukowały liście do postaci cierni. Funkcje asymilacyjne przejął zmodyfikowany pęd (gałęziak).



ZADANIA

1. Określ organ rośliny, którego przekształceniem jest kłącze. Jakie cechy o tym świadczą? Wymień przykłady roślin wytwarzających kłącza i podaj funkcje tych organów.
2. Jakie znaczenie dla roślin żyjących w strefach suchych ma zmniejszenie powierzchni transpiracji? Wyjaśnij, za pomocą jakich modyfikacji dochodzi do tego zjawiska, oraz wytłumacz, w jaki sposób wpływa ono na tempo metabolizmu rośliny.
3. Porównaj ciernie i kolce pod względem budowy oraz pełnionych funkcji.
4. Dlaczego drzewa rosnące w tropikalnych lasach namorzynowych wytworzyły korzenie podporowe?



BIBLIOGRAFIA

Encyklopedia Audiowizualna Britannica – Botanika, Wydawnictwo KURPISZ S.A., Poznań 2006.



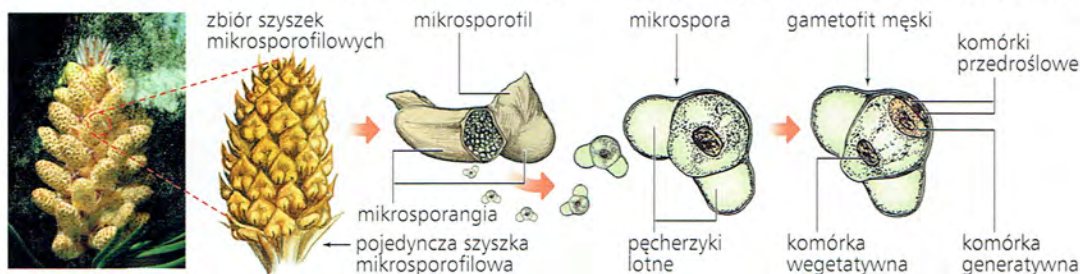
21. Budowa organów generatywnych i cykl rozwojowy nagonasiennych

Rośliny nagonasienne osiągnęły duży sukces w opanowaniu środowiska lądowego. Jednym z kluczowych elementów tego sukcesu stało się wykształcenie sprawnych mechanizmów rozrodczych, niezależniących całkowicie proces rozmnażania od środowiska wodnego. Organy generatywne, czyli kwiaty, powstały jako efekt olbrzymich przekształceń nadziemnych tkanek, żeby zapewnić efektywne przenoszenie komórek płciowych. U roślin nagonasiennych występuje zarówno dwupienność (na jednych osobnikach powstają kwiaty żeńskie, a na innych męskie), jak i jednopienność (oba rodzaje kwiatów wytwarzane są na jednej roślinie).

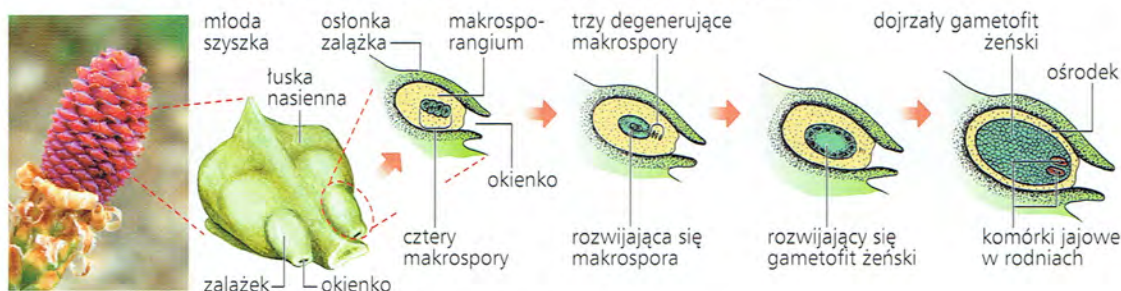
Organy generatywne

Kwiaty roślin nagonasiennych są jednopłciowe. Nie mają okwiatu, a okrywa kwiatowa jest co najwyżej słabo rozwinięta. Przenoszenie pyłku odbywa się głównie za pośrednictwem wiatru. Przykładem rośliny, u której da się zaobserwować większość mechanizmów rozrodczych typowych dla nagonasiennych, jest **sosna zwyczajna** (*Pinus sylvestris*). Jej sporofit mający postać wysokiego drzewa wytwarza **strobile męskie** (mikrostrobile lub inaczej kwiaty męskie) oraz **strobile żeńskie** (makrostrobile lub inaczej kwiaty żeńskie) przystosowane do wiatropylności. Sosna jest rośliną jednopieną (tzn. strobile męskie i żeńskie rosną na tym samym drzewie). Kwiat męski ma postać **szyszki mikrosporofilowej**

lowej (21.1.) zbudowanej z osi kwiatowej oraz ułożonych na niej spiralnie łuskowatych pręcików (**mikrosporofili**), u podstawy których znajdują się dwa **woreczki pyłkowe** (mikrosporangia). Ściana zewnętrzna woreczków pyłkowych jest kilkuwarstwowa. Bezpośrednio pod nią znajduje się warstwa tapetum, a głębiej – archespor. W ścianie tej obecny jest mechanizm otwierający woreczek pyłkowy. Kwiat żeński sosny (21.2.) ma postać dużej szyszki z osi kwiatową, na której ułożone są dwa rodzaje łusek. Zewnętrzne mają charakter wspierający, natomiast umieszczone w ich pachwinach łuski wewnętrzne są łuskami nasennymi (**makrosporofilami**), u których nasady znajdują się po dwa **makrosporangia**.

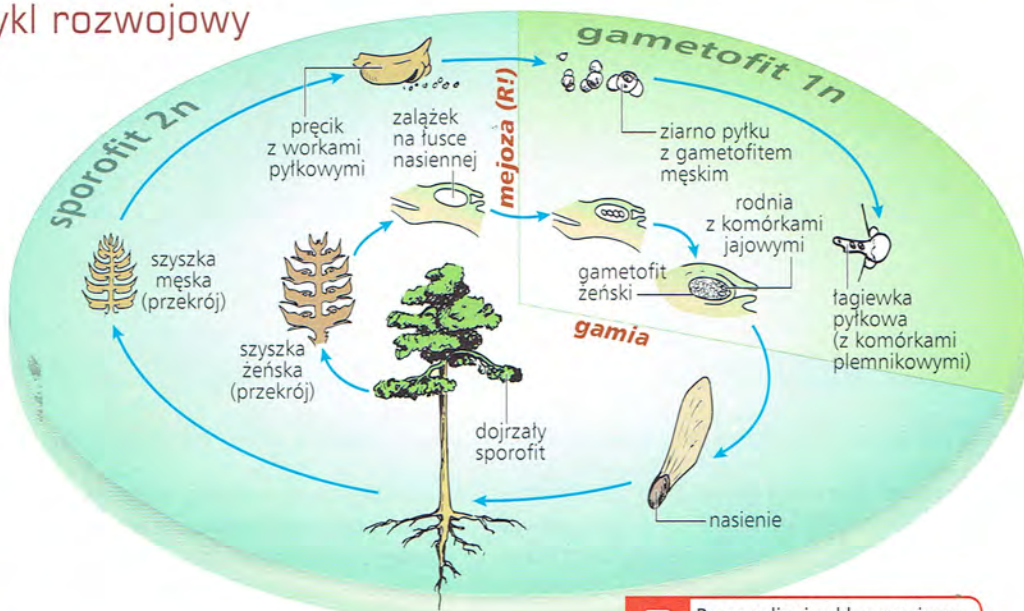


21.1. Budowa szyszki mikrosporofilowej (męskiej) i ziarna pyłku sosny



21.2. Budowa szyszki żeńskiej i gametofitu żeńskiego sosny

Cykl rozwojowy



21.3. Cykl rozwojowy nagonasiennych na przykładzie sosny zwyczajnej

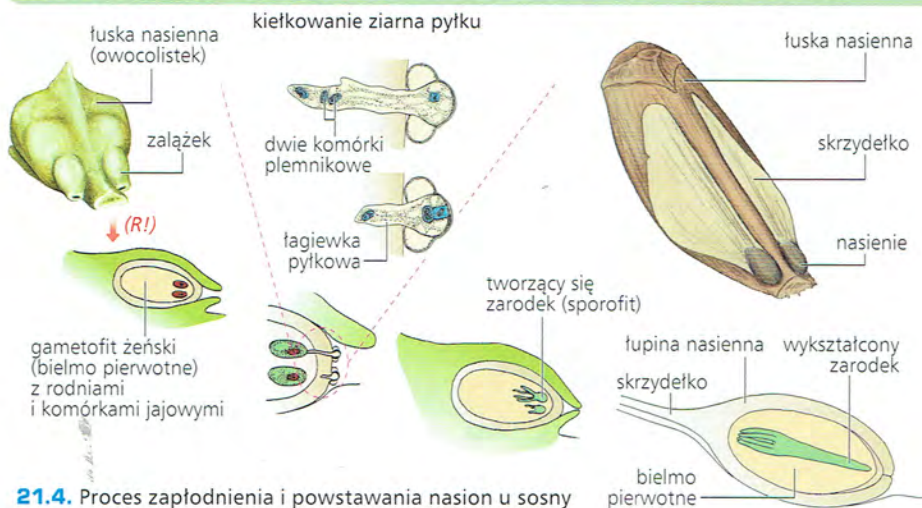
? Przeanalizuj cykl rozwojowy roślin nagonasiennych.

Po podziale mejotycznym z archesporu w środku woreczków pyłkowych powstają haploidalne mikrospory. **21.3.1** Mikrospory przekształcają się w ziarna pyłku opatrzone dwoma workami powietrznymi. Służą one do przenoszenia pyłku przez wiatr. Zanim ziarno pyłku opuści woreczek pyłkowy, dzieli się i powstaje kilkukomórkowy twór będący bardzo zredukowanym przedroślem męskim. Najistotniejsze są w nim dwie komórki: duża **komórka wegetatywna (łagiewkowa)** oraz mniejsza **komórka generatywna**. Pozostałe komórki (najczęściej w liczbie dwóch) ulegają degradacji. **Makrosporangium** zwane jest u nasiennych **ośrodkiem**. Otoczone jest jedną, kilkuwarstwową **oślonką** (integumentem). Ośrodek i oślonka stanowią twór charakterystyczny dla nasiennych, czyli **załążek**. Oślonka na szczycie załążka jest niekompletna i tworzy **okienko (mikropyle)**. Ponieważ na każdej łusce nasiennej są dwa makrosporangia, są też dwa załążki. Jedna z komórek ośrodka powiększa swe rozmiary, aż stanie się komórką archesporialną (**makrosporcocytem**), czyli komórką macierzystą makrospor. Po podziale redukcyjnym powstaje tetrada haploidalnych megaspor. Trzy z nich zamierają, a czwarta rozwija się, wypełniając wnętrze ośrodka. W wyniku wielokrotnych podziałów

makrospora tworzy przedrośle żeńskie zwane u nagonasiennych **bielmem pierwotnym**. W nim, na biegunie skierowanym do okienka, wykształcają się **dwie rodnie**. W każdej z nich znajduje się pojedyncza komórka jajowa. Pozostała część gametofitu żeńskiego przekształca się w tkankę spichrzową magazynującą substancje odżywcze (jest to rozrośnięte bielmo pierwotne).

Proces zapylenia i zapłodnienia

Do zapylenia dochodzi, gdy ziarno pyłku przeniesione przez wiatr upada na okienko załążka, gdzie kiełkuje. Komórka wegetatywna zwana łagiewkową wydłuża się w **łagiewkę pyłkową**, natomiast komórka generatywna dzieli się na dwie gamety męskie zwane **komórkami plemnikowymi** (w przeciwieństwie do typowych plemników są one nieruchome). Łagiewka pyłkowa wnika przez ośrodek, po czym kieruje się w stronę gametofitu żeńskiego. Jedna z komórek plemnikowych dociera za pomocą łagiewki do komórki jajowej i łączy się z nią, w wyniku czego powstaje **diploidalna zygota** (dochodzi do zapłodnienia). **21.4.1** Z zygoty po licznych podziałach powstaje zarodek sporofitu korzystający z substancji zapasowych rozrośniętego bielma. W zarodku można wyodrębnić



21.4. Proces zapłodnienia i powstawania nasion u sosny

zawiązek korzenia, hipokotyl (strefa przejściowa pomiędzy korzeniem a łodygą), zawiązek łodygi (pączek wierzchołkowy) oraz liścienie. Zarodek otoczony haploidalnym bielmem pierwotnym oraz łupiną nasienną powstałą z osłonki zalążka przekształca się w nasiono. U sosny zaopatrzone jest ono w skrzydełko ułatwiające przenoszenie przez wiatr.

Znajdujące się na łusce nasiennej nieosłonięte nasiono (stąd nazwa „nagonasienne”) dojrzewa. U większości drzew iglastych nasiona dojrzewają i są uwalniane w tym samym roku, w którym doszło do zapylenia. U sosny od momentu wytworzenia kwiatostanów żeńskich do uwolnienia nasion upływają dwa lata.

PODSUMOWANIE

- Kwiaty roślin nagonasiennych są jednopłciowe i nie posiadają okwiatu.
- Kwiaty męskie to tak zwane strobile męskie, a kwiaty żeńskie to inaczej strobile żeńskie.
- Mikrospory (ziarna pyłku) są zaopatrzone w dwa worki powietrzne umożliwiające przenoszenie pyłku na duże odległości za pośrednictwem wiatru.
- Dojrzałe ziarno pyłku odpowiada zredukowanemu przedrośłu męskiemu i składa się z komórki wegetatywnej i generatywnej.
- Makrosporangium (zwane ośrodkiem) razem z osłonkami tworzy zalążek.
- Każdy zalążek po podziałach zawiera dwie komórki jajowe zlokalizowane w rodniach. Pozostała część zalążka stanowi materiał zapasowy.
- Pyłek, który upadnie na okienko zalążka, wytwarza ciągućkę pyłkową.
- Powstały w wyniku zapłodnienia zarodek składa się z zawiązka korzenia, hipokotylu oraz zawiązka łodygi i liścieni.

ZADANIA

1. Określ, z jakich komórek tworzących woreczek pyłkowy powstają haploidalne mikrospory.
2. Porównaj zjawiska jednopienności i dwupienności.
3. W okresie pylenia sosny w okienku zalążka pojawia się kropla lepkiego płynu. Zastanów się, jaka jest jego funkcja.
4. Wyjaśnij, dlaczego gamety męskie w ciągućce pyłkowej nazywamy komórkami plemnikowymi, a nie plemnikami.

W INTERNECIE

http://drzewa.nk4.netmark.pl/atlas/_system/gromada_nagonasienne.php

22. Budowa organów generatywnych i cykl rozwojowy okrytonasiennych

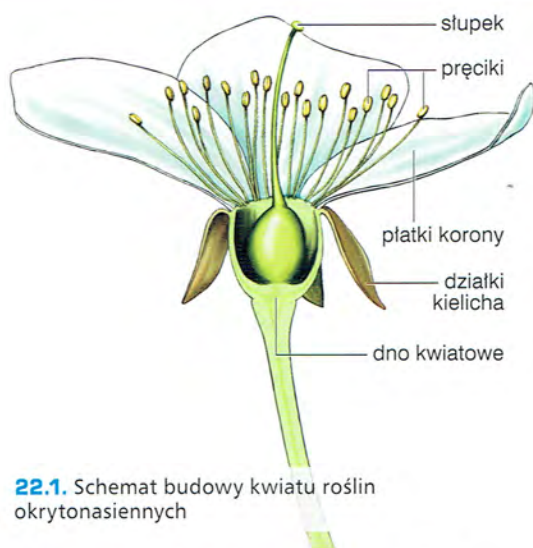
Okrytonasienne są szczytowym osiągnięciem ewolucji, jeśli chodzi o przystosowanie roślin do życia na lądzie. Ich organy generatywne (kwiaty) są bardziej złożone, a także bardziej okazałe i kolorowe niż u nagonasiennych. Dzieje się tak, ponieważ okrytozalążkowe do precyzyjnego rozprzestrzeniania ziaren pyłku w niebywale skuteczny sposób wykorzystują owady (choć istnieją również gatunki wiatropylne i wodopylne). W związku z pojawieniem się owadopylności kwiaty okrytonasiennych produkują też duże ilości słodkiego nektaru. Przystosowania te okazały się opłacalną inwestycją, ponieważ owady po wielokroć zwiększają skuteczność procesu zapylenia i ponieważ są odpowiedzialne za sukces ewolucyjny okrytonasiennych.

Organy generatywne

Kwiat roślin okrytonasiennych jest wysoko wyspecjalizowanym, z reguły obupłciowym organem rozmnażania. Powstaje z merystemów wierzchołkowych, które znajdują się w specjalnych pąkach na szczycie pędów lub w pachwinach liści. Kwiaty, traktowane jako zbiory liści zarodnikowych i liści płonnych, różnią się między sobą znacznie – zarówno kształtem, jak i budową. Zasadniczymi elementami kwiatu są **dno kwiatowe** oraz cztery typy **okółków**: tworzące okwiat **działki kielicha** i **płatki korony**, a także **pręciki** i **słupki**. **22.1.1** Elementy te mogą występować w różnej liczbie. Najczęściej jest ich w okółku trzy (kwiaty trójkrotne) lub pięć (kwiaty pięciokrotne). Trójkrotność jest cechą charakterystyczną dla roślin jednoliściennych, a pięciokrotność – dla dwuliściennych.

Dno kwiatowe jest skróconą osią kłosa zarodnikowego. Może być wklęsłe, płaskie, wypukłe lub poszerzone. Do dna kwiatowego przytwierdzone są pozostałe elementy okwiatu.

Okwiat zbudowany jest z liści kwiatu zwanych **płatkami** i **działkami**. Są one płonne, ułożone w **okółki** (rozmiszczone dokoła centralnej osi kwiatu) i nie biorą udziału w rozmnażaniu. Okwiat może być jednorodny albo zróżnicowany (na zewnętrzny okwiat zwany **kielichem** oraz wewnętrzny zwany **koroną**). Kielich składa się z podobnych do liści, zazwyczaj zielonych działek. Korona natomiast zbudowana jest z różnobarwnych płatków, zdecydowanie większych od działek kielicha. Elementy okwiatu mogą zrastać się ze sobą lub pozostawać wolne. Ich



22.1. Schemat budowy kwiatu roślin okrytonasiennych

najważniejszą funkcją jest osłona młodych pręcików i słupków przed szkodliwym działaniem czynników zewnętrznych. Jeżeli kwiaty zapylane są przez zwierzęta (np. owady), wówczas kolor płatków korony stanowi bardzo istotny czynnik wabiący. Podobną funkcję pełnią również wydzielane przez niektóre płatki lotne olejki nadające roślinie zapach. Pewne gatunki roślin wytwarzają u nasady płatków miodniki odpowiedzialne za wydzielanie słodkiego nektaru. Korona kwiatowa, mimo że pochodzi z przekształconych liści, nie zawiera chloroplastów. Zamiast nich występują **chromoplasty** zawierające barwniki **karotenowe**. Dzięki nim płatki mogą przybierać barwy od żółtej do pomarańczowej. Jeśli zamiast chromoplastów komórki płatków zawierają **antocyjany**, wówczas zabarwienie płatków może być fioletowe, niebieskie bądź czerwone.

:: Ciekawostka

Specyficznym przystosowaniem do owadopylności są przekształcenia kształtu płatków korony. Dobrym przykładem jest występująca u storczykowatych **warżka** (*labellum*). To jeden z sześciu płatków korony wyraźnie różniący się od innych kształtem oraz ubarwieniem. Przekształcenie to umożliwia przywabianie owadów dzięki zjawisku mimikry (upodabnianie wyglądu jednego organizmu do drugiego) – warżka często imituje odwłok owadów. Bywa też zaopatrzona w ostrogę (specjalny wyrostek, na którego końcu znajduje się miódnik).



Ophrys apifera

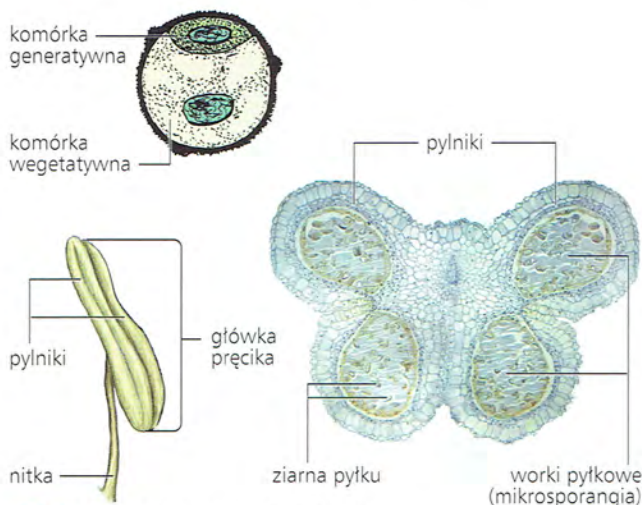


Ophrys insectifera

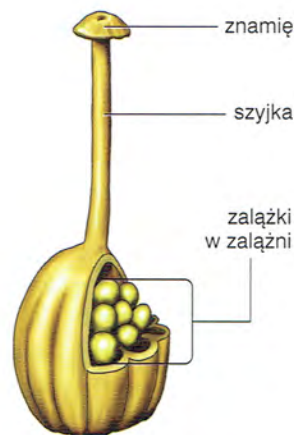
Pręciki występują w kwiecie w różnej liczbie i pod różną postacią, zawsze jednak mają zbliżony plan budowy. **122.2.1** Zasadniczymi elementami pręcika są **nitka pręcikowa** i **główka**. Główka pręcika składa się z dwóch **pylników** połączonych **łącznikiem**, w którym przebiega wiązka przewodząca. W każdym pylniku znajdują się po dwa **woreczki pyłkowe** (razem jest ich cztery), które są funkcjonalnym odpowiednikiem mikrosporangów. Po podziale redukcyjnym (mejotycznym) w woreczkach powstają liczne **ziarna pyłku** (**mikrospory**). Ogół pręcików w kwiecie nazywamy **pręcikowiem**.

Słupek jest żeńskim organem płciowym kwiatu, powstającym w efekcie zrośnięcia się owocolistków. **122.3.1** Stanowi najbardziej wewnętrzny okółek w kwiecie. Wszystkie słupki

wchodzące w skład kwiatu noszą nazwę **słupkowiec**. Zależnie od sposobu zrośnięcia owocolistków tworzy się jeden bądź więcej słupków. Dolna część słupka jest rozszerzona i tworzy **załącznik**, ku górze zwęża się w **szyjkę**, by na szczycie zakończyć się **znamieniem**. Jest ono odpowiedzialne za przyjmowanie ziaren pyłku, przez co odgrywa ważną rolę w procesie zapylania. Ponieważ owocolistki zrastają się szczelnie, tworzą komorę otaczającą znajdujące się wewnątrz **załączki**, a ziarna pyłku nie mają bezpośredniego do nich dostępu. Jest to charakterystyczna cecha roślin okrytozalążkowych. Załączek zbudowany jest z ośrodka i otaczających go osłonek. Liczba załączków w załączni wynosi od jednego do bardzo wielu.



22.2. Schematyczna budowa pręcika



22.3. Budowa słupka kwiatowego z widocznymi załączkami na dnie załączni

Typy zapylenia u okrytonasiennych

Kwiaty mogą występować pojedynczo lub być zebrane w większej liczbie na rozgałęzionych pędach i tworzyć **kwiatostany**. Ich obecność ułatwia proces **zapylenia**, czyli przeniesienia ziaren pyłku z pręcika na znamię słupka. Ponieważ wiele roślin okrytonasiennych ma kwiaty obupłciowe, więc teoretycznie proces ten przebiega z łatwością. Zapylenie w obrębie jednego kwiatu nazywamy **samozapyleciem (autogamią)**. Jest ono powszechne

wśród wielu zbóż. Jednak ze względu na brak możliwości mieszania genów między osobnikami ten typ zapłodnienia jest biologicznie niekorzystny. U wielu roślin następuje zapylenie obcym pyłkiem – **zapylenie krzyżowe**. Zjawisko to nosi nazwę **obcopolności (heterogamii)**.

Rośliny, w celu utrudnienia samozapylenia, wykształciły różne mechanizmy ułatwiające zapylenie krzyżowe.

Mechanizmy chroniące rośliny nasienne przed samozapyleciem

Dwupienność gatunku

Występuje, gdy na jednych osobnikach powstają wyłącznie kwiaty żeńskie, na innych – męskie.



Moczarka kanadyjska
(*Elodea canadensis*)

Przedprątność (protandria)

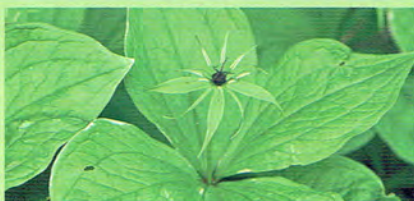
Występuje w kwiatach posiadających zarówno pręciki, jak i słupki; polega na wcześniejszym dojrzeniu pręcików.



Wiesiołek dwuletni
(*Oenothera biennis*)

Przedślupność (protoginia, protoginia)

Polega na wcześniejszym dojrzeniu słupków u kwiatów obupłciowych.



Czworolist pospolity
(*Paris quadrifolia*)

Różnosłupkowość (heterostylia)

Umieszczenie słupków i pręcików na różnej wysokości. W efekcie pyłek z kwiatów długosłupkowych zapyla znamiona kwiatów krótkosłupkowych bądź odwrotnie.



Pierwiosnek lekarski
(*Primula officinalis*)

Samobezpłodność (samopłonność, samoniezgodność)

Zapylenie własnym pyłkiem powoduje, że nie wykształca się łagiewka pyłkowa, a jeżeli się wykształci – wkrótce ginie.



Lucerna siewna
(*Medicago sativa*)

Przenoszenie pyłku odbywać się może za pomocą wiatru, wody oraz przy udziale zwierząt.

Wiatropylność (anemogamia)

Kwiaty roślin wiatropylnych produkują dużo sypkiego, lekkiego pyłku utrzymującego się długo w powietrzu. Znamiona kwiatów wiatropylnych są duże, co ułatwia wychwytywanie ziaren pyłku. Do roślin wiatropylnych należą **trawy, turzycy, leszczyna i brzoza**. **[22.4.1]**

Wodopylność (hydrogamia)

Rośliny hydrogamiczne mają pylniki o uproszczonej budowie. Znamię słupka ma kształt lejki, co znacząco pomaga w wychwytywaniu pyłku. Podobnie jak u wiatropylnych okwiat jest

uproszczony. Do roślin wodopylnych należą nurzaniec, rogatek **[22.5.1]** oraz zostera (tzw. trawa morska).

Zapylenie przez zwierzęta (zoogamia)

Rośliny okrytonasienne, których pyłek rozprzestrzenia się przy udziale zwierząt, stanowią większość. Wytwarzają one kwiaty produkujące wabiący je nektar (koniczyna, chaber, jabłoń). Zwierzęta, poszukując pożywienia, przenoszą pyłek na swoim ciele. Wyróżnia się następujące typy zoogamii: **entomogamia** (owadopylność) **[22.6.1]** – najczęstsza, **ornitogamia** (zapylenie przez ptaki) oraz **chiropterogamia** (zapylenie przez nietoperze).



22.4. Brzoza (*Betula sp.*)



22.5. Rogatek (*Ceratophyllum sp.*)

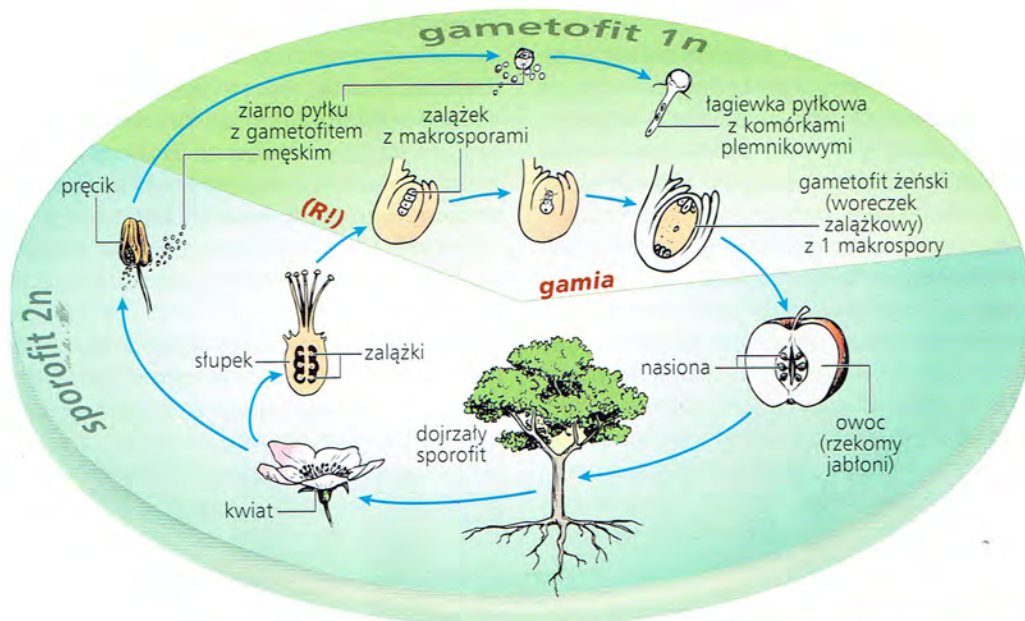


22.6. Koniczyna (*Trifolium sp.*)

Cykl rozwojowy

Woreczek pyłkowy (mikrosporangium) roślin okrytonasiennych znajduje się w główce pręcika i jest otoczony kilkuwarstwową ścianą. Wnętrze tuż pod ścianą zajmuje tapetum bogate w substancje odżywcze, natomiast środek wypełnia archespor. Komórki tkanki archesporialnej dzielą się mitotycznie, w wyniku czego przekształcają się w komórki macierzyste mikrospor (**mikrosporocyty**). Następnie dochodzi do podziału mejotycznego, w efekcie którego z jednego mikrosporocytu powstaje tetrada **mikrospor**. **[22.7.1]** Spory rosną, oddzielają się od siebie i każda otacza się podwójną ścianą zbudowaną z cieńszej, wewnętrznej warstwy (**intyny**) i grubszej, zewnętrznej warstwy (**egzyny**).

Mikrospora przekształca się w ziarno pyłku, które w momencie opuszczenia woreczka pyłkowego jest młodym, silnie zredukowanym gametofitem męskim, składającym się zaledwie z dwóch komórek. Pierwsza to **komórka wegetatywna** (tagiewkowa), druga to **komórka generatywna** (plemnikotwórcza). U wielu gatunków jeszcze w obrębie ziarna pyłku dochodzi do podziału komórki plemnikotwórczej na dwie komórki plemnikowe. Ziarna pyłku wydostają się z dojrzałego, pękniętego woreczka pyłkowego i za pomocą różnych mechanizmów przenoszone są na znamię słupka. Ziarna pyłku okrytozalążkowych rzadko są wyposażone w struktury ułatwiające rozsiewanie



22.7. Cykl rozwojowy okrytonasiennych na przykładzie jabłoni



Przeanalizuj cykl rozwojowy roślin okrytonasiennych.

za pomocą wiatru. Jest tak, ponieważ ta grupa roślin powstała w okresie, gdy na lądzie istniały już owady, które są najwydajniejszym (i najczęstszym) sposobem rozprzestrzeniania ziaren pyłku.

W zalążni powstają zalążki, zbudowane z ośrodka (nucellusa) i dwóch osłonek (integumentów). Nie zamykają one całkowicie zalążka, lecz na jego szczycie tworzą **okienko** (mikropyle). Zalążek przyczepiony jest do zalążni tak zwanym **wieszadłem**. Podobnie jak u nagozalążkowych, jedna z komórek ośrodka powiększa się i przekształca w komórkę archesporialną. Z niej powstaje komórka macierzysta megaspor, czyli megasporocyt. Przechodzi on podział redukcyjny, w którego efekcie powstaje tetrada makrospory. Trzy z nich zamierają, a czwarta się powiększa, aż stanie się gametofitem żeńskim, określanym mianem **woreczka zalążkowego**. Rozwój woreczka zalążkowego zachodzi jeszcze wewnątrz megaspor. Haploidalne jądro megaspor przechodzi trzy podziały mitotyczne. Po pierwszym powstają dwa jądra potomne, które

rozmessezone są na przeciwnych biegunach woreczka zalążkowego. W następstwie dwóch kolejnych podziałów z jednego jądra na każdym biegunie powstają cztery. Liczba jąder w woreczku zalążkowym wynosi ostatecznie osiem. Dwa jądra **biegunowe** (po jednym z każdego bieguna) przemieszczają się do części środkowej woreczka zalążkowego, gdzie tworzą dwujądrową **komórkę centralną** (jądro centralne). Jeżeli jądra komórki centralnej połączą się ze sobą, powstaje **wtórne jądro woreczka zalążkowego**. Na biegunie bliżej okienka tworzy się **trzykomórkowy aparat jajowy**. W jego skład wchodzi **komórka jajowa** oraz dwie komórki pomocnicze zwane **synergidami**. Aparat jajowy jest traktowany jako bardzo zredukowana rodnia. Na biegunie przeciwnym tworzą się trzy komórki zwane **antypodami**.

Porównując okrytozalążkowe do nagozalążkowych, można zauważyć redukcję gametofitu do zaledwie kilku komórek oraz aparat jajowy składający się jedynie z trzech komórek zastępujący właściwą rodnię.

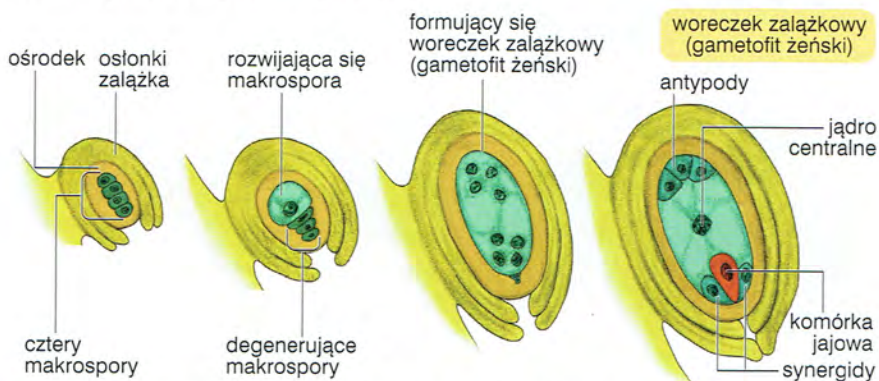
Proces zapylenia i zapłodnienia

Pyłek roślin okrytonasiennych, niezależnie od tego, czy przenoszony jest przez wiatr, czy – przez owady, zawsze pada na znamię słupka (u nagonasiennych pada bezpośrednio na okienko zalążka). Tu kiełkuje. Komórka wegetatywna tworzy łagiewkę pyłkową wrastającą w słupkę, która kieruje się do okienka w zalążku. Dzięki niej dwie nieruchome komórki plemnikowe docierają do wnętrza woreczka zalążkowego, w bliskie sąsiedztwo aparatu jajowego, i obie biorą udział w procesie zapłodnienia. Jedna komórka plemnikowa łączy się z komórką jajową, przez co tworzy się diploidalna zygota. Ulega ona podziałom, w wyniku których przekształca się w zarodek będący zawiązkiem młodego sporofitu. Druga komórka plemnikowa natomiast łączy się z diploidalnym jądrem centralnym (wtórną komórką woreczka

zalążkowego). **122.8.1** W ten sposób powstaje **komórka triploidalna**, która dzieli się wielokrotnie (mitotycznie) i buduje tkankę odżywczą (**bielmo wtórne**). Jako jedyna w roślinie ma ona **jądra triploidalne** i służy rozwijającemu się zarodkowi jako materiał odżywczy.

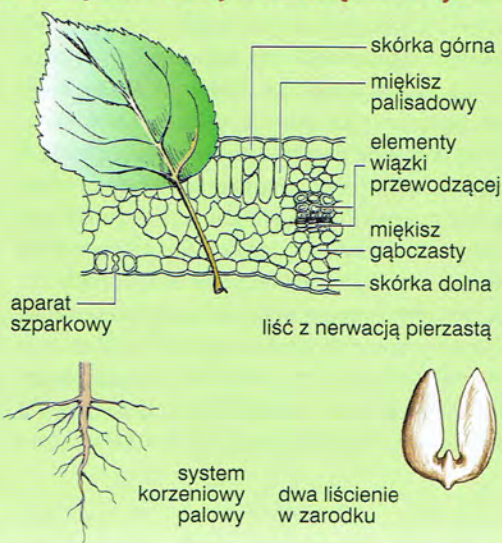
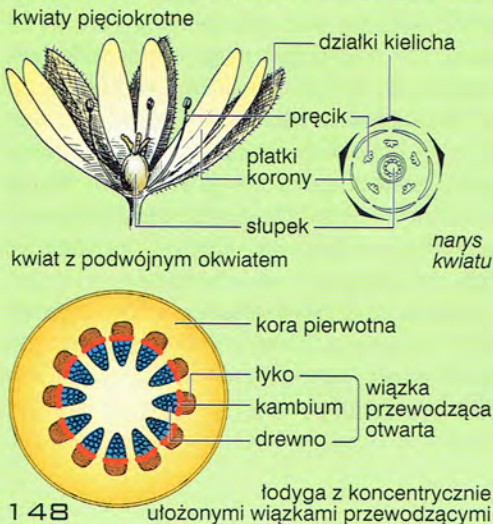
Opisany powyżej proces określamy mianem **podwójnego zapłodnienia**. **122.9.1** Jest on charakterystyczny wyłącznie dla roślin okrytonasiennych i jedyny w swoim rodzaju w świecie organizmów żywych.

Zarodek roślin okrytonasiennych jest zbliżony wyglądem do zarodka nagonasiennych. Zawiera on jednak znacznie zredukowaną liczbę liścieni (jeden lub dwa), w związku z czym okrytonasienne podzielono odpowiednio na jednoliścienne i dwuliścienne.



22.8. Proces powstawania woreczka zalążkowego u rośliny okrytonasiennej

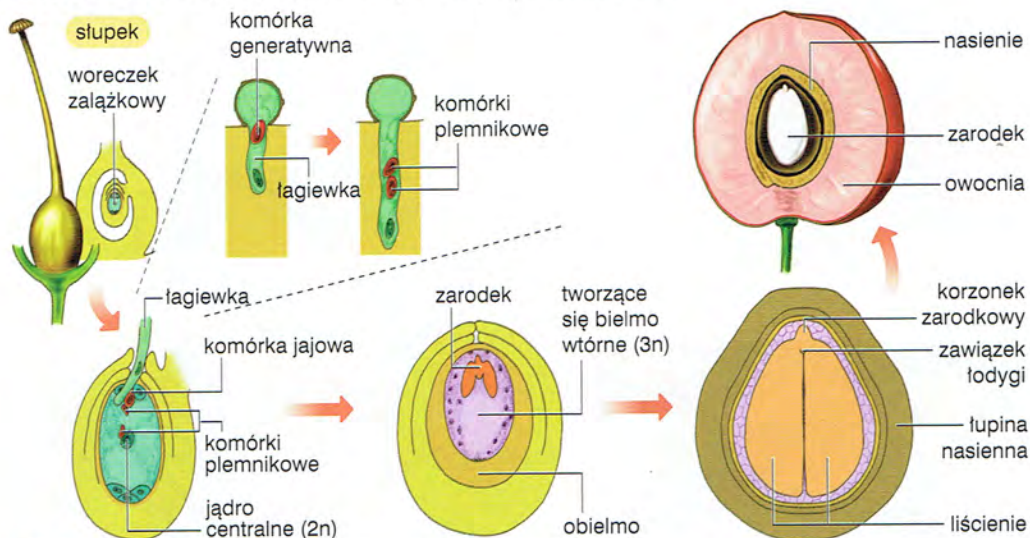
Porównanie jedno- i dwuliściennych okrytozalążkowych



Proces powstawania nasiona

W trakcie formowania się zarodka i bielma wtórnego podwójne osłonki zalążka twardnieją i przekształcają się w łupinę nasienną. W ten sposób zalążek staje się nasionem. **122.9.1** Zadaniem łupiny jest ochrona nasiona przed uszkodzeniem mechanicznym i wysychaniem. Może być ona pokryta tworami ułatwiającymi rozsiewanie nasion, do których należą skrzydełka, włoski lotne lub haczyki. Większość łupin jest zdrewniała. Pozostałością po sznureczku (miejscu przyczepu zalążka do ściany zalążni) jest tak zwany znaczek, natomiast po okienku pozostaje niewielki otworek. Zasadniczą częścią nasiona jest oczy-

wiście zarodek z jednym lub dwoma liścieniami. Pozostałą przestrzeń wypełnia materiał zapasowy w postaci bielma. Zbudowane w ten sposób nasiona nazywamy bielmowymi (występują np. u rącznika pospolitego). Zdarza się, że część lub całe bielmo zostaje zastąpione przez zachowany ośrodek zwany obielmem (np. u buraka zwyczajnego). Jeżeli bielmo zostaje całkowicie wykorzystane w trakcie formowania zarodka, to substancje pokarmowe magazynowane są w liścieniach. Tak jest u fasoli i grochu, które są przykładami roślin wytwarzających nasiona bezbielmowe.

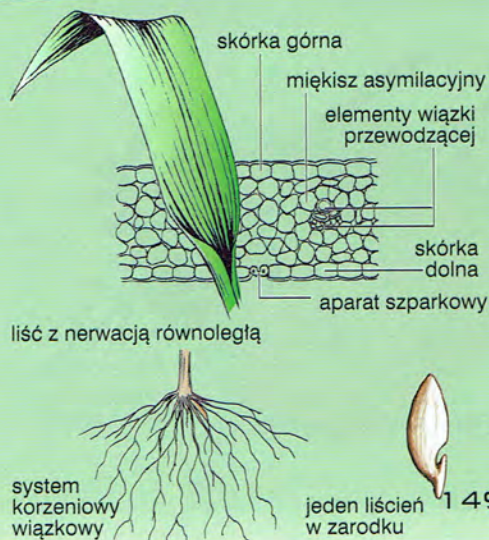
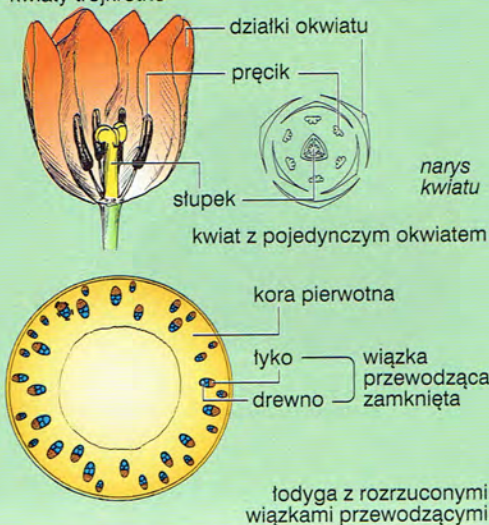


22.9. Proces podwójnego zapłodnienia i powstawanie nasion



Omów różnice w budowie roślin jedno- i dwuliściennych.

kwiaty trójkrotne



Powstawanie owocu

Owoc jest organem charakterystycznym jedynie dla roślin okrytozalążkowych. Typowe owoce zawierają wewnątrz nasiona, a ich brak jest zjawiskiem wyjątkowym. W momencie utworzenia nasiona i w trakcie jego dojrzewania zasycha szyjka słupka i pręciki, a płatki korony najczęściej opadają. Zalążnia rozrasta się, a z jej ściany formuje się **owocnia** (perykarp), która chroni nasiona znajdujące się w owocu i jednocześnie ułatwia ich rozsiewanie. [22.10.]



Mieszek ostróżki



Strąk grochu

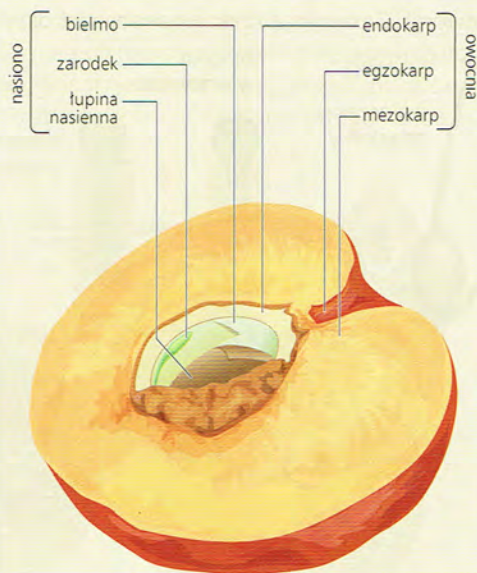


Torebka maku

❖ Ciekawostka

Owocnię budują trzy warstwy:

- egzokarp – jednowarstwowa, cienka powłoka zewnętrzna, która zazwyczaj tworzy skórę owocu;
- mezokarp – warstwa środkowa, czasem o charakterze mięsistej tkanki;
- endokarp – najczęściej kilkuwarstwowa powłoka wewnętrzna, u niektórych gatunków zdrewniała i tworząca pestkę otaczającą nasiono.



Przekrój owocu brzoskwini zwyczajnej (*Persica vulgaris*)



Ziarniak pszenicy



Niełupka słonecznika



Orzech dębu



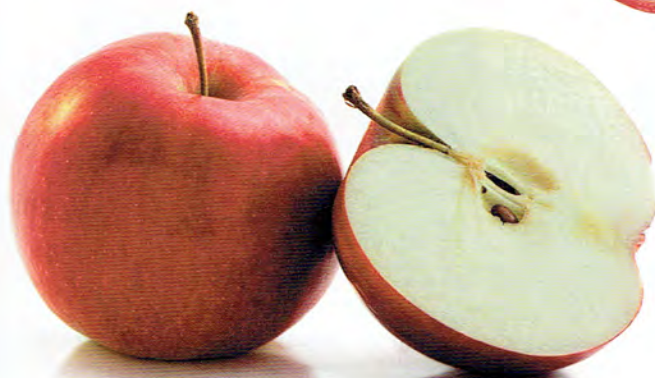
Rozłupnia malwy



Owocostan orzeszkowy morwy



Jagoda pomidora



Owoc rzekomy jabłoni



Pestkowiec czersni



Wielopestko-wiec jeżyny



Wieloorzeszko-wiec truskawki (owoc rzekomy)

22.10. Typy owoców

Sposoby rozsiewania nasion



Anemochoria (wiatrosiewność)

Wiatr jest jednym z czynników umożliwiających skuteczne rozsiewanie nasion i owoców. Elementami wspomagającymi ten proces są skrzydełka lub puchowe pióropusze występujące na przykład u owoców klonu czy mniszka lekarskiego.

Owoc mniszka
lekarskiego

Autochoria (samosiewność)

Istnieją również rośliny, które rozsiewają nasiona bez pośrednictwa wody, wiatru czy zwierząt. Przykładem jest rzeżucha, której owoce pękają w następstwie zmiany ciśnienia powodowanego różnicami w turgorze komórek, a nasiona mogą rozprzestrzeniać się w promieniu wielu metrów.



Rzeżucha

Zoochoria (zwierzęcosiewność)

Owoce roślin rozsiewanych przez zwierzęta wytwarzają zagięte kolce bądź inne elementy czepne, co pozwala na ich przenoszenie nawet na znaczne odległości. Także zjadanie owoców przyczynia się do rozsiewania nasion przez zwierzęta (lupina nasienna zabezpiecza połknięte nasiona przed strawieniem). Owoce niektórych roślin są zagrzebywane w ziemi (np. przez wiewiórki). Nasiona mogą dzięki temu zakiełkować w odpowiednich warunkach.



Owoce łopianu

Hydrochoria (wodosiewność)

Owoce rozprzestrzeniane za pośrednictwem wody muszą wykazywać zdolność długiego utrzymywania się na jej powierzchni. Dla przykładu orzech kokosowy posiada liczne przestwory powietrzne i okrywę korkową. Po znalezieniu się na lądzie, nasiono ukryte wewnątrz owocu kiełkuje, dając początek nowej roślinie.



Orzech kokosowy

Rozsiewanie nasion i owoców

Skuteczne rozsiewanie nasion zapewnia przetrwanie roślinom danego gatunku oraz umożliwia im zasiedlanie terenów o coraz większym zasięgu. Okrytonasienne rozsiewają nasiona, wykorzystując wiatr, wodę, zwierzęta oraz siłę, która powstaje przy pękaniu owoców.

Rozmnażanie wegetatywne

Rośliny okrytonasienne mogą również rozmnażać się bezpłciowo (wegetatywnie). Organami rozmnażania wegetatywnego są zmodyfikowane łodygi, liście bądź korzenie.

Kłacza są to poziomo rosnące łodygi podziemne mające węzły i międzywęzła. Na kłaczach znajdują się łuskowate, zredukowane liście,

a w ich pachwinach pąki boczne. Fragment kłacza mający co najmniej jeden węzeł i pąk w pachwinie liścia może być zaczątkiem nowej rośliny. Kłacza są wytwarzane przez trawy, bambusy, konwalie, szparagi, rabarbar.

Bulwy to silnie skrócone i zgrubiałe łodygi podziemne, magazynujące substancje zapasowe. Bulwy ziemniaka wyrastają jako zgrubienia na końcach podziemnych rozłogów. Na dojrzałej bulwie widoczne są **oczka**, czyli pąki boczne. Powstają one w pachwinach łuskowatych liści, które widoczne są jedynie na młodej, nieoddzielonej od rośliny macierzystej bulwie. Z bulwy wiosną wyrastają nowe pędy nadziemne. Nawet z kawałka bulwy zawierającego pojedyncze oczko może powstać nowa roślina.

Cebule to skrócone łodygi podziemne, do których przytwierdzone są mięsiste liście zawierające substancje zapasowe. Na zewnątrz otoczone są suchymi łuskami. W pachwinach liści znajdują się pąki boczne. Z nich mogą powstać cebule potomne, które po obumarciu cebuli macierzystej tworzą nową, samodzielną roślinę. Oprócz znanej wszystkim cebuli uprawnej, cebule występują u tulipanów, hiacyntów, narcyzów czy lilii.

Rozłogi to łodygi, które płożą się poziomo na powierzchni ziemi. Mają długie międzywęzła. Z pąków przybyszowych tworzących się na rozłogach wykształcają się rośliny potomne, które po obumarciu formy macierzystej stają się samodzielne.

Bulwocebule to łodygi podziemne podobne do cebuli, ale niezawierające materiału zapasowego. Z pąków bocznych mogą powstawać potomne bulwocebule, które po obumarciu formy macierzystej stają się młodymi, odrębnymi roślinami. Bulwocebule wykształcają cyklameny, krokusy i mieczyki.

Odrosty korzeniowe to pędy nadziemne, które rozwijają się z pąków przybyszowych korzeni. Odrost korzeniowy, wytwarzający własne korzenie, może stać się młodą, niezależną rośliną.

Rozmnożki tworzą się na brzegach liści, przy każdym ząbku. Rozmnożki oderwane od liścia stają się młodymi, samodzielnymi roślinami.

PODSUMOWANIE

- Zasadniczymi elementami budującymi kwiat są: dno kwiatowe, działki kielicha, płatki korony oraz pręcikowie i słupkowie.
- Korona kwiatowa, słupki i pręciki, pochodzi z przekształconych liści i nie zawiera chlorofilu.
- Pręciki, czyli męskie organy płciowe kwiatu, składają się z nitki pręcikowej i główki zawierającej cztery woreczki pyłkowe.
- Słupek jest żeńskim organem płciowym kwiatu. Dolna część słupka tworzy zalążnię (zawierającą zalążki), która ku górze zwęża się w szyjkę i na szczycie kończy się znamieniem słupka.
- Kwiaty mogą ulegać samozapyleniu (autogamii), chociaż rośliny bronią się przed tym, stosując różne mechanizmy.
- Przenoszenie pyłku odbywać się może za pomocą wiatru, wody oraz przy udziale zwierząt.
- Gametofit żeński określany jest mianem woreczka zalążkowego.
- U okrytonasiennych dochodzi do podwójnego zapłodnienia: jedna z komórek plemnikowych łączy się z komórką jajową, druga natomiast łączy się z diploidalnym jądrem centralnym (w wyniku czego powstaje komórka triploidalna).
- Okrytonasienne dzielimy na dwie grupy (jedno- i dwuliścienne) uwzględniające ilość liścieni w zarodku.
- Komórki bielma wtórnego stanowią materiał zapasowy dla rozwijającego się zarodka do czasu, gdy ten będzie w stanie prowadzić proces fotosyntezy.
- Wśród mechanizmów służących rozsiewaniu nasion roślin okrytonasiennych wyróżniamy: anemochorię (wiatrosiewność), hydrochorię (wodosiewność), zoochorię (zwierzęcosiewność) oraz autochorię (samosiewność).
- Rośliny okrytonasienne mogą się również rozmnażać wegetatywnie za pomocą: kłączy, bulw, cebul, rozłogów, odrostów korzeniowych oraz rozmnożek.

ZADANIA

1. Wyjaśnij, co to jest anemogamia.
2. Jakie znaczenie miało wykształcenie kolorowej korony kwiatowej u roślin okrytonasiennych oraz poświęcenie przez te rośliny wydatku energii na wytworzenie słodkiego nektaru?
3. Porównaj budowę ziarna pyłku roślin nagonasiennych i okrytonasiennych.
4. Oceń, który ze sposobów zapobiegania przez rośliny samozapyleniu jest twoim zdaniem najmniej efektywny. Odpowiedź uzasadnij.

W INTERNECIE

http://drzewa.nk4.netmark.pl/atlas/_system/gromada_okrytonasienne.php

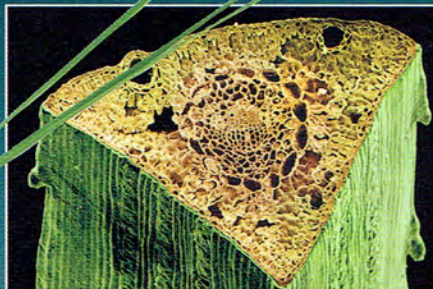


PORÓWNANIE NASIENNYCH

Pierwszymi roślinami nasienne były nagonasienne, które pojawiły się w permie (paleozoik) i dominowały w erze mezozoicznej. Należą do nich głównie drzewa i krzewy, wśród których przeważają rośliny iglaste (np. sosna). Okrytonasienne pojawiły się w kredzie (mezozoik). Należą do nich drzewa, krzewy i rośliny zielne. Wśród okrytonasiennych wyróżnia się trzy klasy: magnoliowe (np. magnolia), rośliny jednoliścienne (np. trawy) oraz dwuliścienne (np. jabłoń).

Przekrój przez igłę

Liście nagonasiennych mają postać długich i wąskich igieł. Aparaty szparkowe występują na całej powierzchni skórki. Mięszys asymilacyjny jest typu wieloramiennego. W liściach obecne są kanały żywiczne i warstwy tkanki wzmacniającej zlokalizowanej pod skórą.



Budowa szyszki żeńskiej

Szyszka żeńska zbudowana jest z łusek nasiennych (makrosporofili). Na górnej powierzchni każdej łuski znajdują się dwa niczym nieosłonięte zalążki.



Budowa szyszki męskiej

Szyszka męska zbudowana z okółkowo ułożonych pręcików (mikrosporofili). Mają one łuskowaty kształt i zawierają po dwa worki pyłkowe. U większości gatunków pyłek przenoszony jest przez wiatr.



Wiązki przewodzące

Elementami przewodzącymi wodę i sole mineralne są cewki. Asymilaty są natomiast przewodzone przez komórki sitowe.

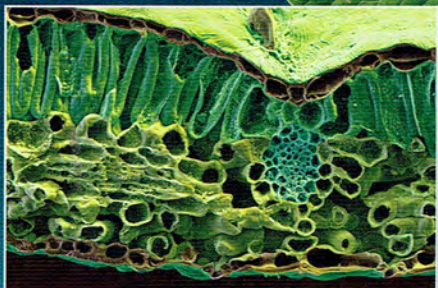
Budowa nasiona

Nasiona nagozalążkowych są zbudowane z bielma pierwotnego i nie mają żadnej osłonki (są nagie). Kiedy szyszka żeńska dojrzeje, jej zdrewniałe łuski się rozchylają, a znajdujące się w niej nasiona wypadają i są roznoszone przez wiatr.



Przekrój przez liść

Liście roślin okrytonasiennych to organy bardzo zróżnicowane pod względem morfologicznym. Aparaty szparkowe znajdują się z reguły na spodniej ich stronie. U dwuliściennych miękisz asymilacyjny występuje pod postacią miękiszu palisadowego i gąbczastego, a u jednoliściennych – jedynie w postaci miękiszu gąbczastego.

**Budowa kwiatu**

Kwiat jest obupłciowy: elementy żeńskie tworzą słupek, a męskie mają postać pręcików. Okwiat bywa bardzo kolorowy, co jest związane z wykształceniem owadopylności. U roślin wiatropylnych (traw) kwiat ulega znacznej redukcji. W większości przypadków pyłek przenoszony jest na słupek przez zwierzęta (głównie owady).

Budowa owocu

Po wykształceniu nasiona, ściany zalążni oraz innych elementów kwiatu ulegają przekształceniu w owoc. Stanowi on ochronę dla rozwijającego się zarodka, a słodki miąższ sprzyja rozprzestrzenianiu nasion za pośrednictwem zwierząt.

Wiązki przewodzące

Elementami przewodzącymi wodę i sole mineralne są naczynia i cewki. Asymilaty przewodzone są głównie przez rurki sitowe.



- 1) Porównaj budowę kwiatu okrytonasiennych i szyszki nagonasiennych.
- 2) Wskaż elementy o wspólnym pochodzeniu oraz różnice w budowie nasiennych.

23. Systematyka i znaczenie roślin nasiennych

Systemy taksonomiczne stosowane w botanice zmieniały się w ciągu wieków. Początkowo określano pokrewieństwo roślin na podstawie cech morfologicznych, anatomicznych oraz biochemicznych. Pod koniec XX wieku największą popularność zdobył **system klasyfikacji Cronquista** (1981) i **Reveala** (1999). Od początku XXI wieku prowadzi się badania molekularne nad systemem klasyfikacyjnym roślin nasiennych. Opierają się one głównie na analizie DNA pochodzącego z chloroplastów.

Podział roślin nagonasiennych (*Pinophyta*)

Według najnowszych badań z zastosowaniem metod molekularnych wśród nagonasiennych wyróżniono **4 klasy**: sagowce (*Cycadopsida*), miłorzębowe (*Ginkopsida*), iglaste, szpilkowe (*Pinopsida*), gniotowe (*Gnetopsida*).

Klasa: sagowce (*Cycadopsida*)

Należą tutaj rośliny przypominające nieco wyglądem paprocie drzewiaste lub palmy. **123.1.1** Charakteryzują się zwykle bardzo krótkim pniem zwieńczonym na szczycie pióropuszem dużych, pierzastych liści. Sagowce są dwupienne (kwiaty męskie i żeńskie rosną na różnych osobnikach). Plemniki są zaopatrzone w wici, ale obecność wody nie jest istotna dla procesu zapłodnienia. Mimo iż kiedyś sagowce były powszechnymi roślinami lądowymi, dzisiaj stanowią grupę reliktową i są rzadko spotykane (głównie w krajach strefy podzwrotnikowej i międzyzwrotnikowej). Najnowsze badania wskazują, że rośliny należące do tej klasy mogą stanowić tak zwany **klad bazalny**, czyli grupę taksonomiczną, od której biorą swój początek wszystkie inne grupy nagonasiennych.

Klasa: miłorzębowe (*Ginkopsida*)

Mimo iż rośliny te, począwszy od triasu, przeżywały olbrzymią ekspansję, do dzisiaj zachował się tylko jeden gatunek – **miłorząb dwukłapowy**. **123.2.1** Charakterystyczną jego cechą są wachlarzowate liście z dychotomiczną (dwudzielną) nerwacją. To roślina dwupienna, której plemniki są ruchliwe wyposażone aż w 200 wici, a zalążki mają dwuwarstwową osłonkę.



23.1. Sagowiec (*Cycas* sp.)



23.2. Miłorząb dwukłapowy (*Ginkgo biloba*)



23.3. Modrzew europejski
(*Larix decidua*)



23.4. Sosna limba
(*Pinus cembra*)



23.5. Świerk pospolity
(*Picea abies*)

Klasa: iglaste, szpilkowe (*Pinopsida*)

To klasa obejmująca blisko 550 gatunków drzew i krzewów. Ich charakterystyczną cechą są wieloletnie liście w postaci igieł, które nie opadają na zimę. Wyjątek stanowi **modrzew europejski** **23.3.1**, który jako jedyny spośród żyjących w Polsce iglastych co roku traci liście. To roślina jednopienna, o liściach rosnących w gęstych pęczkach (20–40 sztuk) na pędach krótkich lub pojedynczo na pędach długich. Niewielkie szyszki wyrastają na całej długości pędu.

Najbardziej znanym przedstawicielem iglastych jest **sosna zwyczajna**. To wysokie drzewo, którego długie liście szpilkowe wyrastają po dwa z krótkopędów. Sosna jest rośliną jednopienną o rozdzielnopłciowych wiatropylnych kwiatach.

Do krajowych gatunków z rodzaju sosna należy podlegająca prawnej ochronie krzewiasta **kosodrzewina** **23.6.1**, **sosna limba** **23.4.1** i **sosna błotna**.

Świerk pospolity **23.5.1** to jednopienne drzewo dorastające do 40 metrów wysokości. Charakteryzuje się igłami o przekroju kwadratowym, wyrastającymi równomiernie bezpośrednio z gałęzi. Szyszki są duże, wyrastają pionowo z dół na końcach gałęzi.

Jodła pospolita **23.7.1** ma pojedyncze płaskie igły z charakterystycznymi dwoma paskami nalotu woskowego pod spodem. Szyszki w przeciwieństwie do świerku sterczą pionowo do góry.



23.6. Kosodrzewina (*Pinus mugo*)



23.7. Jodła pospolita (*Abies alba*)

23.8. Jałowiec pospolity (*Juniperus communis*)23.9. Cis pospolity (*Taxus baccata*)

Do iglastych zaliczamy również jałowiec pospolity, cis pospolity oraz sekwoję wieczniezieloną. **Jałowiec pospolity** **[23.8.1]** jest dwupienym krzewem charakteryzującym się okółkowym ustawieniem krótkich, kłujących igieł. Łuski nasienne ulegają przekształceniu i tworzą **szyszkojagodę** zawierającą 3 nasiona.

Cis pospolity **[23.9.1]** to dwupienne drzewo lub krzew osiągający w Polsce wschodnią granicę swojego zasięgu. Liście spłaszczone, lekko wygięte, niekłujące, osadzone pojedynczo na krótkim ogonku. Dojrzałe nasiona otacza czerwona, mięsista **osnówka**. Igły zawierają trujący alkaloid – **taksynę** (szkodliwą m.in. dla zwierząt). Cis podlega w Polsce prawnej ochronie. **Sekwoja wieczniezielona** **[23.10.1]** to olbrzymie drzewo. Dowodem może być przedstawiciel tego gatunku rosnący w Parku Narodowym

Redwood w USA. **Hyperion**, bo taką nosi nazwę (niczym jeden z mitologicznych greckich tytanów), to najwyższe opisane dotąd drzewo świata. Mierzy 115,61 metra!

23.10. Sekwoja wieczniezielona (*Sequoia sempervirens*)

Klasa: gniotowe (*Gnetopsida*)

Współcześnie traktowane są jako grupa reliktoowa. Wykazują wiele cech typowych dla roślin okrytonasiennych, jak: obecność naczyń w drewnie (zamiast cewek, jak u pozostałych nagonasiennych), występowanie okrywy kwiatowej, obupłciowość kwiatów i owadopylność. Gametofit ulega dalszej, znaczącej redukcji, podobnie jak u okrytonasiennych. Przykładem rośliny należącej do tej klasy jest występująca tylko na pustyni Namib **welwiczja**

przedziwna **[23.11.1]** Jest to roślina drzewiasta, o bardzo krótkim i zgrubiałym pniu (o ok. 1,2 m średnicy), wystająca nad powierzchnię gruntu (na wysokość ok. 50 cm). Welwiczja wyposażona jest tylko w dwa taśmowate liście, które rosną przez całe życie rośliny, czyli około 100 lat. Kwiaty są owadopylne, jednopłciowe.

23.11. Welwiczja przedziwna (*Welwitschia mirabilis*) rosnąca na pustyni Namib

:: Ciekawostka

Cisy są roślinami wyjątkowo długowiecznymi. Najstarszy przedstawiciel tego gatunku w Polsce rośnie w Henrykowie Lubańskim i według szacunków może mieć nawet 1250 lat! Cis jest również jedną z pierwszych roślin, które uzyskały prawną ochronę. W roku 1423 król Władysław Jagiełło wydał zakaz wycinki drzewa cisowego, aby ograniczyć jego eksport. Cis był bowiem wykorzystywany do wyrobu wysokiej jakości łuków. Znalazło to odzwierciedlenie w jego nazwie łacińskiej (*taxus* oznacza łuk).



Podział roślin okrytonasiennych (*Magnoliophyta*)

Okrytozalążkowe zajmują obecnie w świecie roślin pozycję dominującą pod względem liczby gatunków i mnogości środowisk, w których żyją. Należą tu zarówno drobne rośliny zielne, jak również krzewy i potężne drzewa dorastające do wysokości kilkudziesięciu metrów. Charakterystyczną cechą wszystkich okrytonasiennych jest przykrycie zaląż-

ków przez zrosnięte owocolistki (słupki), skrajna redukcja gametofitu oraz unikalne **podwójne zapłodnienie**. System klasyfikacyjny APG III (ang. *Angiosperm Phylogeny Group*) wyodrębnia wśród okrytonasiennych trzy główne kłady (grupy monofiletyczne): **jednoliścienne**, **magnoliowe** oraz **dwuliścienne właściwe**.

Jednoliścienne (*Liliopsida*)

Do tej grupy zalicza się rośliny zielne, wodne, użytkowe (w tym zboża, trawy pastewne, trzcinę cukrową, bambus) oraz rośliny ozdobne. Formy drzewiaste spotykane są rzadko (we florze polskiej nie występują). Wśród jednoliściennych systematycy wyróżnili kilka rzędów.

Rząd: tatarakowce (*Acorales*)

Stanowią kład bazalny (od niego wywodzą się inne rzędy jednoliściennych). Przedstawicielem tej grupy w Polsce jest **tatarak zwyczajny**. **23.12.1** Roślina ta (wysokości do 150 cm) wytwarza kłacz, występuje na brzegach wód i terenów bagnistych.

Rząd: żabieńcowce (*Alismatales*)

Należą tu rośliny zielne, zarówno wodne, jak i błotne. U niektórych (np. u **strzałki wodnej**)

23.13.1 spotykana jest heterofolia. U części gatunków wodnych pyłek jest przenoszony za pomocą wody, a samo zapłodnienie odbywa się pod wodą.

Rząd: pandanowce (*Pandanales*)

Do tego rzędu należą przede wszystkim wysokie rośliny bagienne i nadmorskie (lasz namorzynowe) mające silnie zdrewniałe łodygi.

23.14.1 Cechą charakterystyczną tych roślin są korzenie podporowe zapobiegające przewróceniu, zwłaszcza podczas odpływu. Łodyga bywa często spiralnie skręcona, dzięki czemu liście zdają się układać spiralnie na pędzie. Kwiaty są jednopłciowe. Należą tu głównie rośliny krzewiaste, rzadziej drzewiaste.



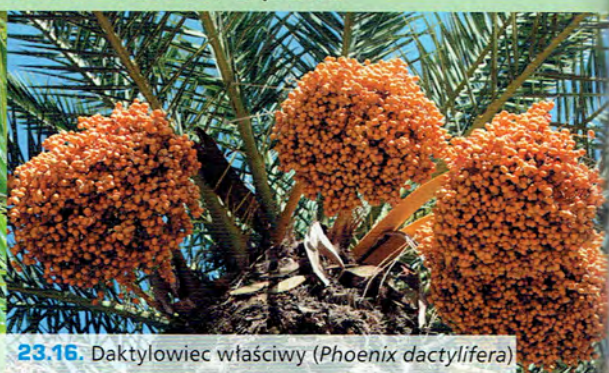
23.12. Tatarak zwyczajny (*Acorus calamus*)



23.13. Strzałka wodna (*Sagittaria sagittifolia*)



23.14. Pandan (*Pandanus sp.*)

23.15. Kokos właściwy (*Cocos nucifera*)23.16. Daktylowiec właściwy (*Phoenix dactylifera*)

Rząd: arekowce (*Arecales*)

Należą tu gatunki zamieszkujące głównie strefy klimatu tropikalnego, określane jako palmy. Wiele z nich wykazuje wtórny przyrost korzenia na grubość, co umożliwia im osiągnięcie znacznych rozmiarów. Przykładami są drzewiaste palmy kokosowe 23.15.1 i daktylowe 23.16.1 o grubych pniach, na szczycie których znajdują się pióropusze pierzastych liści.

Rząd: liliowce (*Liliales*)

Do rzędu tego zaliczamy głównie wieloletnie rośliny zielne, wytwarzające organy przetrwalnikowe w postaci kłączy, bulw lub cebul. Kwiaty są obupłciowe. Owocem jest sucha torebka lub jagoda. Nasiona wytwarzają bielmo. Przedstawicielem jest lilia. 23.17.1

23.17. Lilia bulwkowata (*Lilium bulbiferum*)23.18. Szparag lekarski (*Asparagus officinalis*)

Rząd: szparagowce (*Asparagales*)

Do tego rzędu należą głównie byliny. Przykładem może być **szparag lekarski** 23.18.1, ceniony ze względu na walory smakowe (jadalne są tylko młode pędy rośliny, zwane zwyczajowo szparagami). Do szparagowców zaliczamy również storczyki.

Rząd: wiechlinowce (*Poales*)

Wiele roślin zaliczanych do tego rzędu ma charakterystyczną „trawiastą” budowę. W kilku grupach kwiaty mogą być owadopylne, jednak u większości są one niewielkie i przystosowane do wiatropylności. Należą tutaj popularne rośliny uprawne. 23.19.1

23.19. Owies (*Avena sp.*)



23.20. Banan zwyczajny (*Musa paradisiaca*)



23.21. Imbir lekarski (*Zingiber officinale*)

Rząd: imbirowce (*Zingiberales*)

Są szeroko wykorzystywane: **imbir** **123.21.1** stanowi podstawę wielu kuchni świata (np. indyjskiej), a owoce **banana** **123.20.1** są jednymi z najczęściej eksportowanych.

:: Ciekawostka

Magnoliowe (*Magnoliidae*) to grupa dwuliściennych uważana za najprymitywniejszą i posiadającą najwięcej cech przodków okrytonasiennych (np. drewno wtórne zbudowane z cewek). Żyją w klimacie tropikalnym, mają postać krzewów lub niewielkich drzew. Przykładem są magnolie rosnące na Dalekim Wschodzie czy pieprz czarny, wykorzystywany jako przyprawa.

Magnolie to jedne z pierwszych na Ziemi roślin kwiatowych. Ich skamieniałości są znajdowane w osadach trzeciorzędowych sprzed około 60 milionów lat. Okazale i wzbudające podziw kwiaty magnolii rosną na gałęziach pojedynczo, składają się z wielu elementów ustawionych spiralnie. Magnolie są zapylane przez chrząszcze, ponieważ w czasach, gdy powstawały, nie istniały jeszcze ani pszczoły, ani motyle! To dlatego kwiaty magnolii nie produkują nektaru, a jedynie słodką, nektaropodobną wydzielinę.



Kwiat magnolii (*Magnolia* sp.)



Pieprz czarny (*Piper nigrum*)

Dwuliścienne (*Magnoliopsida*)

Należą tu rośliny wytwarzające dwa liście w zarodku, o łodygach zdrewniałych lub zielnych, zdolnych do wtórnego przyrostu na grubość dzięki obecności kambium wiązkowego. Ich drewno w przeciwieństwie do magnoliowych jest zbudowane z naczyń. Dwuliścienne są grupą roślin współcześnie najliczniejszą, obejmującą ponad 200 tysięcy gatunków. Wśród dwuliściennych właściwych wyróżniono wiele rzędów należących do różnych linii rozwojowych (kladów). Do najważniejszych i najbardziej znanych należy kilka z nich.

Rząd: jaskrowce (*Ranunculales*)

Należą tu najczęściej rośliny zielne **123.22., 23.23.1** (bardzo rzadko krzewy i drzewa) strefy klimatu umiarkowanego i chłodnego. Większość kwiatów cechuje symetria promienista. Owocem jest najczęściej mieszek (rzadko jagoda).

Rząd: bukowce (*Fagales*)

Należą tu głównie rośliny drzewiaste, chociaż spotyka się również krzewy. Są w większości jednopienne i wiatropylne. Stanowią główny trzon lasów liściastych w strefie klimatu umiarkowanego. Liście są niepodzielone, o brzegu najczęściej ząbkowanym, opadają na zimę. Kwiaty przeważnie zebrane w wiatropylne **kotki**. Owocem jest na ogół suchy orzech. Przedstawicielami są buk zwyczajny **123.26.1**, dąb szypułkowy **123.24.1**, leszczyna pospolita **123.25.1**, brzoza brodawkowata. **123.27.1**



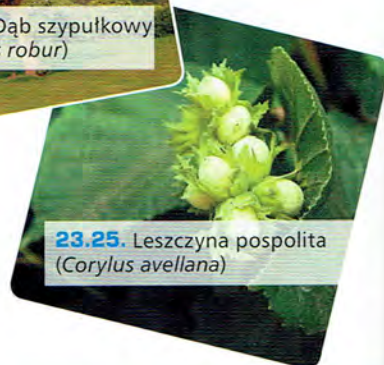
23.22. Jaskier ostry (*Ranunculus acer*)



23.23. Mak polny (*Papaver rhoeas*)



23.24. Dąb szypułkowy (*Quercus robur*)



23.25. Leszczyna pospolita (*Corylus avellana*)



23.26. Buk zwyczajny (*Fagus sylvatica*)



23.27. Brzoza brodawkowata (*Betula pendula*)

Rząd: malpigiowce (*Malpighiales*)

Do rzędu tego należy blisko 16 tysięcy gatunków roślin (zarówno drzewiastych, krzewów, jak i drobnych roślin zielnych). Typowym przedstawicielem jest **fiolęk leśny** **123.29.1** To bylina mająca niewielkie ząbkowane listki i kwiaty o charakterystycznym kolorze. Owocem jest zwykle torebka. Na powierzchni nasiona znajduje się **elajosom**, czyli chętnie zjadane przez mrówki **ciałko mrówcze** (struktura zbudowana z warstwy tłuszczu). Zabierając nasiona do mrowiska i gubiąc je, mrówki przyczyniają się do ich rozprzestrzenienia. Innymi przedstawicielami są topola osika i wierzbą biała.



23.28. Wiśnia pospolita (*Cerasus sp.*)



23.29. Fiołek leśny (*Viola reichenbachiana*)



23.30. Pokrzywa zwyczajna (*Urtica dioica*)

Rząd: różowce (*Rosales*)

Jest to rząd bardzo zróżnicowany. Należą tu zarówno rośliny zielne (np. **pokrzywa zwyczajna** **123.30.1**), jak i drzewa (np. **wiśnia pospolita** **123.28.1**, **śliwa domowa**, **jabłoń domowa**). Liście ułożone są najczęściej skrętolegle, a ich brzeg jest zwykle nierówny (tzw. brzeg piłkowany). Dno kwiatów różowców ma postać hypancjum, czyli silnie zagłębionej i wąskiej gardzieli.

Rząd: dyniowce (*Cucurbitales*)

Należą tu głównie rośliny zielne (nieliczne formy drzewiaste), występujące głównie w klimacie tropikalnym i subtropikalnym. Wiele z nich zostało skutecznie zaadaptowanych do warunków panujących w klimacie umiarkowanym. Owocami są mięsiste jagody różnego kształtu i wielkości (mogą dochodzić nawet do 200 kg). Przedstawicielami są dynia zwyczajna, ogórek siewny i arbuz zwyczajny. **123.31.1**



23.31. Arbuz zwyczajny (*Citrullus lanatus*)

Rząd: mydleńcowce (*Sapindales*)

Do tego rzędu należą przede wszystkim rośliny drzewiaste występujące głównie w strefie tropikalnej lub subtropikalnej.

123.32., 23.33.1 Wiele z gatunków zostało introdukowanych w Europie (również w Polsce), stało się często podstawową florą lasów, borów, jak również miejskich parków. Ich owocem może być torebka lub orzech.



23.33. Kasztanowiec zwyczajny (*Aesculus hippocastanum*)



23.32. Klon (*Acer sp.*)



23.34. Koper ogrodowy (*Anethum graveolens*)

Rząd: astrowce (*Asterales*)

Jest to jedna z najbardziej zaawansowanych ewolucyjnie grup roślin dwuliściennych. Na terytorium Polski występują wyłącznie gatunki zielne, podczas gdy na świecie spotykane są też formy drzewiaste. Do tego rzędu zaliczanych jest blisko 27 800 gatunków (np. **mniszek lekarski** **123.35.1**, **rumianek pospolity** oraz **słonecznik zwyczajny**). **123.36.1**

Rząd: selerowce (*Apiales*)

Do tego rzędu zalicza się rośliny o liściach ułożonych skrętolegle, kwiatach bardzo drobnych, często zebranych w baldach. Owocem jest naj-

:: Ciekawostka

Warto pamiętać, że cały pęd nadziemny **ziemniaka** zawiera silnie trującą **solaninę**! Jedynym jadalnym elementem rośliny są powszechnie wykorzystywane w gospodarstwie domowym bulwy pędowe. Jeśli jednak na skutek przemoczenia lub długotrwałego nasłonecznienia skórka bulwy się zazieleśni, oznacza to, że bulwa również jest trująca. Nie powinno się jej spożywać!



częściej rozłupnia (bardzo rzadko pestkowiec lub jagoda). W obrębie tego rzędu występują gatunki uprawne (**marchew, koper**). **123.34.1**

Rząd: psiankowce (*Solanales*)

Należy tu około 2500 gatunków roślin (najczęściej zielnych) rozprzestrzenionych na niemal wszystkich kontynentach. Ich owocem jest najczęściej jagoda. U niektórych gatunków (np. **ziemniak**) użytkowaniu podlegają wyłącznie bulwy pędowe zlokalizowane pod ziemią, natomiast **pomidora zwyczajnego** hoduje się głównie dla jego mięsistych jagód.

23.35. Mniszek lekarski (*Taraxacum officinale*)



23.36. Słonecznik zwyczajny (*Helianthus annuus*)



Znaczenie nasiennych

Rośliny nasienne pełnią wiele rozmaitych, często kluczowych funkcji w przyrodzie oraz gospodarce i życiu człowieka. **Nagonasienne** mimo niewielkiej liczby gatunków występują na wszystkich kontynentach, biorą udział w tworzeniu zbiorowisk roślinnych. Na półkuli północnej, w strefie klimatu umiarkowanego zimnego, występują natomiast **borealne lasy** iglaste: w Eurazji jest to **tajga**, w której rosną przede wszystkim świerki, sosny oraz modrzewie, a w Ameryce Północnej to **puszcza kanadyjska**. W jej granicach spotykamy świerki (biały, czarny, sitkajski) oraz modrzew amerykański. Również w Polsce drzewa iglaste tworzą zbiorowiska roślinności: sosna zwyczajna tworzy **bory sosnowe** (na nizinach), świerk – świerczyny, czyli **bory świerkowe** (w górach). W rejonie Gór Świętokrzyskich występują natomiast **bory jodłowe**. Nagonasienne mają olbrzymie znaczenie dla **gospodarki człowieka**. Ze względu na swoje cechy (szybki wzrost, długość pni i niewielkie wymagania glebowe) dostarczają największej ilości drewna na potrzeby przemysłu drzewnego, w tym meblarskiego i budownictwa. Często wykorzystuje się zwłaszcza drewno sosnowe. Wykorzystywane są również uzyskiwane z sosny: kora, szyszki, pąki, korzenie oraz żywica. Pozyskuje się z nich głównie olejki eteryczne wykorzystywane następnie w prze-

myśle farmaceutycznym i perfumeryjnym. Przykładem rośliny nagonasiennej o właściwościach leczniczych jest młórzęb dwuklapowy: zawiera on substancje opóźniające efekty starzenia i wzmacnia naczynia krwionośne. **Okrytonasienne** stanowią trzon szaty roślinnej na naszej planecie, odgrywają olbrzymią rolę w prawidłowym funkcjonowaniu ekosystemów. Zasadniają większość ekosystemów lądowych, licznie występują również w wodach słodkich. Dzięki zdolności do fotosyntezy są zasadniczym producentem materii organicznej i tlenu atmosferycznego. Stanowią pierwsze ogniwo łańcuchów pokarmowych, a dla człowieka są jednym z podstawowych źródeł pokarmu. Większość roślin uprawnych to rośliny okrytonasienne. Mają wielkie znaczenie także jako pasza dla zwierząt hodowlanych. Są wykorzystywane w produkcji leków i używek oraz papieru, tektury, sklejk, kauczuku i barwników. Ponad 200 gatunków roślin okrytonasiennych jest w Polsce objętych **ochroną gatunkową** (m.in.: arnika górską, dyptam jesionolistny, goździk okazały, niemal wszystkie gatunki pierwiosnka, wszystkie gatunki rosiczki). Spośród gatunków zielnych spotykane są również liczne **rośliny trujące**, takie jak: czworolist pospolity (*Paris quadrifolia*), arnika górską (*Arnica montana*) czy szale jadowity (*Cicuta virosa*).

PODSUMOWANIE

- Współczesna systematyka wyróżnia 5 klas nagonasiennych: sagowce, młórzębowe, iglaste, gniotowe oraz cyprysowe.
- Najnowszy system klasyfikacji roślin zakłada podział okrytozalążkowych na jednoliścienne, magnoliowe oraz dwuliścienne właściwe.
- Kład jednoliściennych obejmuje rzędy: tatarakowce, żabieńcowce, pandanowce, liliowce, szparagowce, arekowce, wiechlinowce oraz imbirowce.
- Wśród dwuliściennych właściwych wyróżniamy między innymi: bukowce, jaskrowce, malpigowce, różowce, dyniowce, mydleńcowce, astrowce, selerowce, psiankowce.

ZADANIA

1. Dlaczego rośliny nasienne wymienione w tym rozdziale zostały objęte ochroną gatunkową? Oceń, jakie to mogło mieć znaczenie i jakie były tego przyczyny.
2. Scharakteryzuj wybraną grupę systematyczną roślin nasiennych.

BIBLIOGRAFIA

- Szweykowska A., Szweykowski J., *Botanika T. 2 – Systematyka*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007.
- Kremer B. P., *Przewodnik drzewa i krzewy*, Multico, Warszawa 1995.

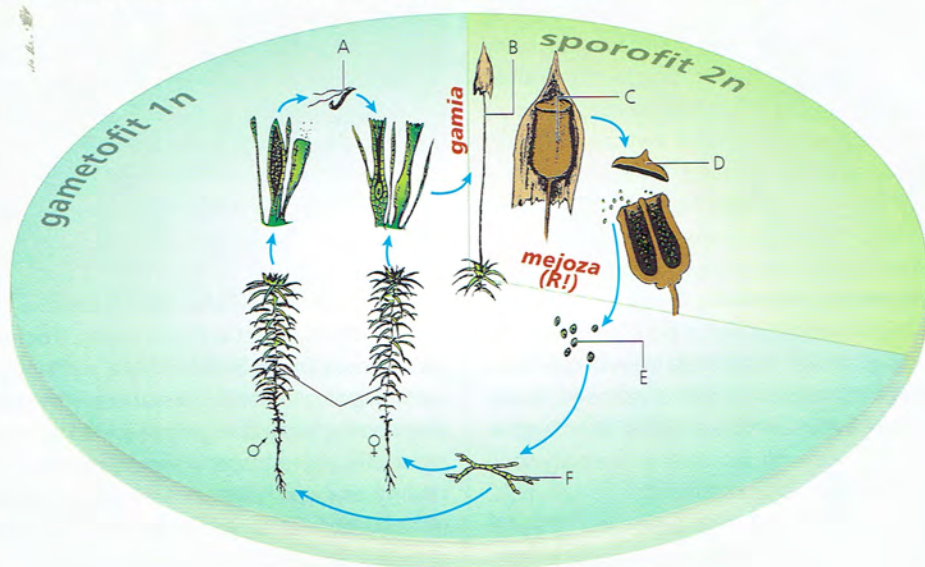


Zadanie 1. (1 pkt)

Na podstawie rysunku przedstawiającego kuksonię (*Cooksonia*) wyjaśnij znaczenie pojęcia telom.

**Rysunek do zadania 2. i 3.**

Na schemacie przedstawiono cykl rozwojowy mchów na przykładzie mchu płonnika.

**Zadanie 2. (2 pkt)**

Spośród określeń podanych niżej wybierz te, które są charakterystyczne dla tej grupy pionierskich roślin, i przyporządkuj je do odpowiedniego symbolu (A–F).

plemnik, wieczko, komórka jajowa, plemnica, seta, przedrośle, zarodnia, zawijka, kupka zarodni, spletek, liść zarodnionośny, czepek, pęd wiosenny, zarodnik, pęd letni, sprężyca, rozmnożka, rodnia

A – B – C – D – E – F –

Zadanie 3. (1 pkt)

Na podstawie analizy rysunku wyjaśnij pojęcie przemiany pokoleń u mchu płonnika.

Zadanie 4. (2 pkt)

Wyjaśnij, dlaczego mszaki są w tak dużym stopniu uzależnione od środowiska wodnego. Przytocz co najmniej dwa argumenty.

Zadanie 5. (1 pkt)

Wśród podanych nazw rodzajowych paprotników wybierz te, których przedstawiciele żyją w środowisku wodnym.

narecznica, salwinia, skrzyp, poryblin, widliczka, widtak, pióropusznik

Zadanie 6. (2 pkt)

Przyporządkuj gatunkom paprotników (A–E) odpowiadające im nazwy grup linii rozwojowych (1–6).

- | | |
|-------------------------|--------------------------------|
| A. narecznica samcza | 1. paprocie różnazarodnikowe |
| B. salwinia pływająca | 2. paprocie jednakozarodnikowe |
| C. poryblin jeziorny | 3. widliczki |
| D. widliczka ostrozębna | 4. widlaki różnazarodnikowe |
| E. widłak goździsty | 5. skrzypowe |
| | 6. widlaki jednakozarodnikowe |

Zadanie 7. (2 pkt)

Narecznica samcza, jak większość paproci, ma duże, zielone liście, w młodszym stadium rozwoju zwinięte w kształt przypominający pastorał. Na ich spodniej stronie mieszczą się zarodnie, które nigdy nie występują pojedynczo, lecz w (...1...), i które mogą być okryte chroniącą je tak zwaną (...2...). Zarodnie zbudowane są z jednowarstwowej ściany, wewnątrz pokrytej dwoma warstwami tkanki wyścielającej, czyli (...3...), oraz zarodnikotwórczej, czyli (...4...).

Uzupełnij tekst określeniami wybranymi spośród podanych niżej.

sporokarp, sporofilostan, trofofil, zawijka, archespor, kupki, mikrosporangium, tapetum, syngamia

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.

Tekst do zadań 8. i 9.

„Zarodniki tego gatunku mogą kiełkować nawet po 7 latach od wytworzenia. Gdy już do tego dojdzie, na początku powstaje pięciokomórkowy twór, który ma szansę przerodzić się w przedrośle tylko i wyłącznie wtedy, gdy zwiąże się z grzybem mikoryzowym. Małe, około 2 centymetrowe przedrośle żyje pod ziemią kosztem grzybowego symbionta. Górna, rozszerzona część przedrośla może z czasem wyrastać ponad powierzchnię ziemi i się zazieleniać. Tworzące się na jednopiennym przedroślu rodnie i plemnie dojrzałość płciową osiągają dopiero po kilkunastu latach (12–15)!”.

Z. Podbielkowski, *Rozmnażanie się roślin*, Warszawa 1982.

Zadanie 8. (1 pkt)

Podaj nazwę grupy paprotników, której dotyczy powyższy opis.

Zadanie 9. (1 pkt)

Gatunki paprotników przedstawionych w opisie podlegają ścisłej ochronie.

Podaj argument przemawiający za słusnością takiego działania.

Zadanie 10. (1 pkt)

Włókna lnu używane do wyrobu materiałów i ubrań są niezwykle wytrzymałe na zerwanie.

Napisz, jaki typ tkanki reprezentują włókna lnu i jaką botaniczną nazwę stosujemy do ich opisu.

Zadanie 11. (2 pkt)

Do podanych nazw różnych typów komórek (1–5) dopasuj odpowiadający im rodzaj tkanki (A–D).

- | | |
|----------------------|------------------------|
| 1. ksylem | A. tkanka przewodząca |
| 2. sklereidy | B. tkanka wzmacniająca |
| 3. kolenchyma | C. tkanka okrywająca |
| 4. miękisz gąbczasty | D. tkanka miękiszowa |
| 5. epiderma | |

Zadanie 12. (1 pkt)

Na rysunku przedstawiono pewien typ tkanki.

Na podstawie analizy charakterystycznych elementów rysunku odpowiedz, co to za typ tkanki i jaką pełni funkcję.



Zadanie 13. (2 pkt)

Na rysunku przedstawiono modyfikację korzeni występującą jako przystosowanie do życia pewnej grupy roślin.

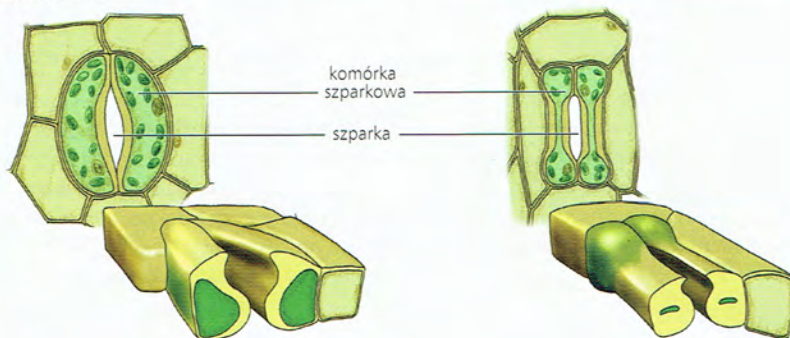
Nazwij ten typ modyfikacji korzeni i podaj przykład rośliny, która się nim charakteryzuje.



Zadanie 14. (1 pkt)

Rysunek przedstawia budowę aparatu szparkowego roślin dwuliściennych.

Opisz mechanizm osmotyczny związany z procesem otwierającym i zamykającym aparaty szparkowe.



Zadanie 15. (2 pkt)

Narysuj schematycznie wiązkę przewodzącą otwartą występującą u roślin dwuliściennych.

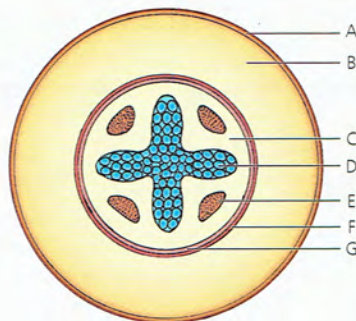
Zaznacz na rysunku, gdzie względem położenia wiązek znajdują się centrum walca osiowego i ryzoderma. Wskaż strzałkami kierunek odkładania nowych komórek w wyniku działalności kambium.

Zadanie 16. (2 pkt)

Na rysunku przedstawiającym budowę pierwotną korzenia zaznacz elementy opisane strzałkami. Skorzystaj z haseł podanych niżej.

śródkórnia, kora pierwotna, skórka, drewno pierwotne, walec osiowy, okólnica, tyko pierwotne

A - B - C - D -
E - F - G -



Zadanie 17. (3 pkt)

Kwiaty roślin okrytozalążkowych są zazwyczaj obupłciowe, jednak samopylność (autogamia) jest zjawiskiem niepożądanym.

Wyjaśnij, dlaczego rośliny okrytozalążkowe unikają samozapylenia. Wymień i krótko scharakteryzuj dwa przykłady mechanizmów, za pomocą których rośliny te zabezpieczają się przed autogamią.

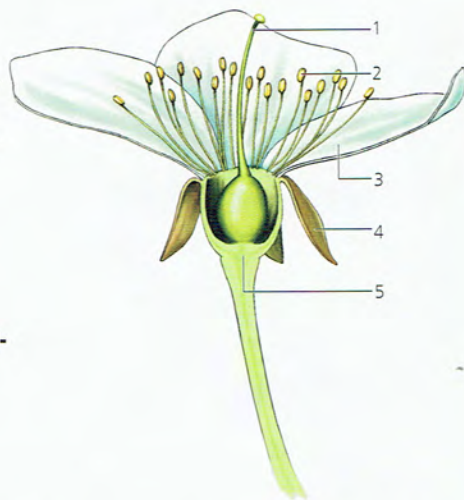
Zadanie 18. (3 pkt)

Na schemacie przedstawiono budowę kwiatu rośliny okrytonasiennej.

Nazwij elementy budowy kwiatu rośliny okrytonasiennej (1–5) wskazane na rysunku.

1.
2.
3.
4.
5.

Rozstrzygnij, podając jeden argument, czy przedstawiony kwiat jest wiatro- czy owadopylny.

**Zadanie 19. (3 pkt)**

Przyporządkuj podane niżej nazwy roślin do grup odpowiadających ich sposobowi zapylania.
trawy, koniczyna, turzycy, nurzaniec, leszczyna, jabłoń, rogatka, chaber, trawa morska

- A. wodopylne
- B. wiatropylne
- C. zapylane przez zwierzęta

Zadanie 20. (2 pkt)

Do podanych nazw organów rozmnażania wegetatywnego (A–E) dobierz odpowiadające im opisy (1–6).

- | | |
|--------------|--|
| A. bulwy | 1. łodygi o długich międzywęzłach płożących się po ziemi |
| B. kłącza | 2. tworzące się na brzegach liści, przy każdym ząbku |
| C. cebule | 3. silnie skrócone i zgrubiałe łodygi podziemne, magazynujące substancje zapasowe |
| D. rozłogi | 4. pędy nadziemne, rozwijające się z pąków przybyszowych |
| E. rozmnóżki | 5. skrócone łodygi podziemne, do których są przytwierdzone mięsiste liście pełniące funkcję spichrzową |
| | 6. łodygi podziemne mające węzły i międzywęzła |

Zadanie 21. (2 pkt)

Wskaż dwa nieprawidłowe zdania dotyczące roślin nasiennych.

- A. Komórki pomocnicze, które znajdują się tuż obok komórki jajowej, to antypody.
- B. U roślin dwuliściennych dominuje równoległa nerwacja liści.
- C. W czasie podwójnego zapłodnienia u okrytozalążkowych powstaje komórka triploidalna.
- D. Egzokarpem nazywamy cienką powłokę zewnętrzną, zwykle tworzącą skórę owocu.





PRZEGLĄD RÓŻNORODNOŚCI ORGANIZMÓW – GRZYBY

24 | Budowa grzybów. Charakterystyka workowców

25 | Charakterystyka sprężniowców i podstawczaków

26 | Związki symbiotyczne i znaczenie grzybów

24. Budowa grzybów. Charakterystyka workowców

Większość **grzybów** to organizmy lądowe. Grupa ta jest niezwykle zróżnicowana i obejmuje ponad 80 tysięcy gatunków. Mimo olbrzymich różnic w morfologii wszystkie grzyby należą do eukariotów, komórki ich są zatem wyposażone w otoczone błonami jądro oraz mitochondria.

Grzyby jako organizmy heterotroficzne

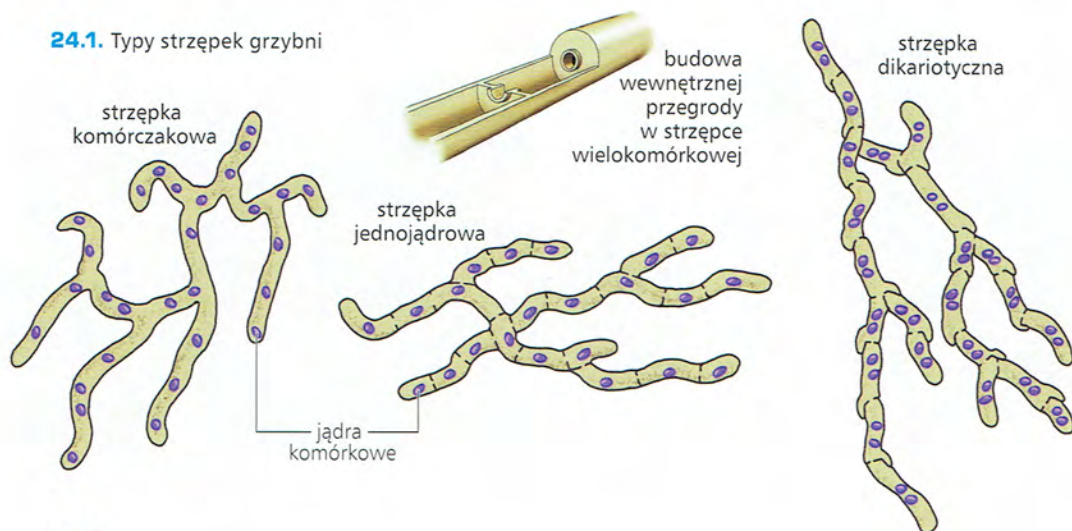
Takie cechy, jak występowanie ściany komórkowej oraz brak zdolności ruchu, sprawiały, że przez wiele lat zaliczano grzyby do królestwa roślin. Obecnie jednak, gdy stwierdzono, że podobieństwo do roślin jest tylko pozorne, grzyby są traktowane jako odrębne królestwo. Charakterystyczne cechy grzybów to: chitynowa ściana komórkowa (przynajmniej w niektórych stadiach cyklu życiowego) oraz brak chlorofilu, co oznacza, że nie są one zdolne do przeprowadzania fotosyntezy. W wakuolach i ścianach komórkowych mogą natomiast występować specyficzne barwniki, które nadają grzybom kolor właściwy dla danego gatunku. Materiałem zapasowym grzybów są **glikogen**, **tłuszcze** oraz **wolutyna** (organiczny związek wykorzystywany np. w syntezie ATP).

Wszystkie bez wyjątku grzyby są organizmami cudzożywymi, jednak w przeciwieństwie do innych heterotrofów nie mają zdolności pożerania pokarmu (np. na drodze fagocytozy). Celem jego zdobycia wydzielają zewnątrzkomórkowo enzymy rozkładające

podłoże, by następnie wchłoniąć niezbędne substancje pokarmowe w prostej postaci. Pod względem sposobów pozyskiwania pokarmu wśród grzybów wyróżniamy: **saprofity** odżywiające się martwą materią organiczną (np. muchomor, pieczarka), **pasożyty** czerpiące substancje odżywcze z innych żywych organizmów (np. buławinka czerwona czy rdza żdźbłowa) oraz **grzyby symbiotyczne** (m.in.



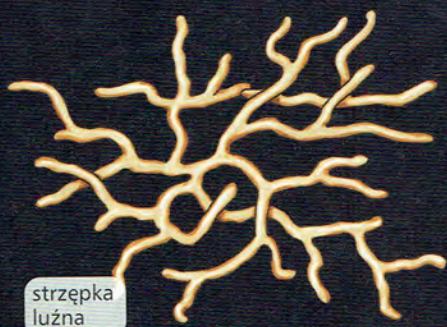
24.1. Typy strzępek grzybni



żyjące w symbiozie z korzeniami roślin nasiennej). Grzyby mogą oddychać zarówno tlenowo, jak i beztlenowo w zależności od dostępności tlenu w środowisku. Plecha grzybów (**grzybnia**, **mycelium**) składa się z dużej ilości nitkowatych, wielokomórkowych elementów (tzw. **strzępek**), które nie tworzą tkanek. W strzępkach grzybów wielokomórkowych występują poprzeczne, perforowane ściany (**septy**). Dzielą one strzępki na komórki zawierające jedno lub więcej jąder. **[24.1.]** Pory w septach pozwalają na przemieszczanie się organelli. Strzępki niepodzielone przybierają formę olbrzymiej, wielojądrowej komórki.

Noszą one nazwę **komórczakowych** (cenocyticznych).

Struktura przestrzenna strzępek jest bardzo zróżnicowana. **[24.2.]** W większości wypadków są one ułożone luźno, a tworzona przez nie plecha nazywana jest nitkowatą lub luźną. Wiele grzybów wytwarza (zwykle podczas rozmnażania) plechy zbudowane z ciasno ułożonych strzępek, spletających się na kształt tkanki. Noszą one nazwę plechy **plektenchymatycznej**. Typowym jej przykładem są **owocniki** (np. pieczarki). Duże owocniki u workowców i podstawczaków zawierają warstwy rodzajowe: hymenium i hymenofor.



strzępka luźna



strzępka zbita (plektenchymatyczna)

24.2. Struktura przestrzenna strzępek grzybów

Klasyfikacja grzybów

Jednoznaczna klasyfikacja grzybów jest trudna i w znacznej mierze oparta na charakterystyce sposobów rozmnażania oraz typach wytwarza-

nych owocników. Podstawowy podział wyróżnia cztery typy grzybów.

PODZIAŁ KRÓLESTWA GRZYBÓW

Workowce (Ascomycota)



- Drożdże (*Saccharomyces cerevisiae*)

Podstawczaki (Basidiomycota)



- Pieczarka (*Agaricus campestris*)

Sprzężniowce (Zygomycota)



- Rozłóżek czerniejący (*Rhizopus nigricans*)

Skoczkwce (Chytridiomycota)



- (*Synchytrium endobioticum*)

Typ: workowce (*Ascomycota*)

Workowce to najliczniejsza grupa grzybów, obejmująca obecnie ponad 30 000 gatunków. Grzybnia workowców jest dobrze rozwinięta, zbudowana ze strzępek podzielonych septami. Ich zarodniki (**spory**) tworzą się w zarodniach o kształcie **worków**. Grzyby workowe rozmnażają się bezpłciowo (za pomocą zarodników konidialnych) i płciowo. **Konidia** (określane jako tzw. **zarodniki letnie**) powstają na końcach wyspecjalizowanych strzępek zwanych **konidioforami**. Ich rola polega na szybkim rozprzestrzenianiu nowych grzybnii. Barwa i struktura zarodników konidialnych uwarunkowana jest przynależnością gatunkową. Proces ten można określić jako rozmnażanie wegetatywne. Workowce rozmnażają się również przez wytwarzanie haploidalnych zarodników (zwykle ośmiu) w wydłużonych zarodniach zwanych workami. Wytworzenie worka następuje w konsekwencji procesu płciowego zwanego **gametangioogamią**. Uczestniczą w nim dwa gametangia: wielojądrowa **lęgnia** i wielojądrowa **plemnia**. Wśród workowców wyróżniamy gatunki **heterotalliczne** i **homotalliczne**. Pierwsze potrzebują do koniugacji dwóch grzybnii, drugie są samopłodne i mają zdolność koniugacji w obrębie tej samej grzybni. Niezależnie od tego podziału proces płciowy rozpoczyna się od zrośnięcia dwóch strzępek oraz przelania za pomocą włostka zawartości plemni do lęgny (**plazmogamia**). **124.3.1**

Jądra układają się parami (jedno jądro żeńskie i jedno męskie), nie zlewają się, lecz tworzą tak zwane **jądra sprzężone**. Wędrują one do wyrastających z lęgny **strzępek worko-**

twórczych, które na tym etapie są **dikariotyczne**. Szczytowy fragment strzępki workotwórczej zagina się haczykowato. Para jąder sprzężonych dzieli się mitotycznie, w efekcie czego powstają cztery jądra potomne. Dwa z nich (różnopłciowe) zostają oddzielone poprzeczną ścianą na szczycie haczyka. Dopiero tutaj następuje **kariogamia**, czyli zlanie się jąder i powstaje **diploidalne jądro zygotyczne**. Zygota przechodzi mejozę, w wyniku której powstają cztery jądra haploidalne. Te zaś po pojedynczej mitozie dają osiem jąder haploidalnych. Każde z nich otoczone cytoplazmą przekształca się w zarodnik zwany **askosporą**. Komórka, w której powstają, nazywa się zarodnią, czyli workiem. Uwalniając się z worka i padając na podłoże, askospory wytwarzają haploidalne grzybnie z lęgniemi i plemniami. U workowców następuje oddzielenie plazmogamii i kariogamii, a procesy te zachodzą w różnych miejscach. Mamy tu zatem do czynienia z przemianą faz jądrowych (haploidalną, dikariotyczną oraz ograniczoną do zygoty diploidalnej).

Do workowców zaliczamy również **drożdże** (ponad 300 gatunków). Są to grzyby prymitywne, rzadko wytwarzające worki. Są jednokomórkowe i jednojądrowe. Często tworzą nieregularne skupienia zwane grzybnią rzekomą lub **pseudomycelium**. Rozmnażają się przez pączkowanie, przy czym nowo powstałe komórki często pozostają połączone. Rozmnażanie płciowe polega na zlaniu się dwóch komórek i wytworzeniu diploidalnej zygoty, która w wyniku podziału mejotycznego daje cztery haploidalne zarodniki. U drożdży nie tworzą się owocniki.

Wybrane gatunki workowców



Dziezka pomarańczowa (*Aleuria aurantia*)



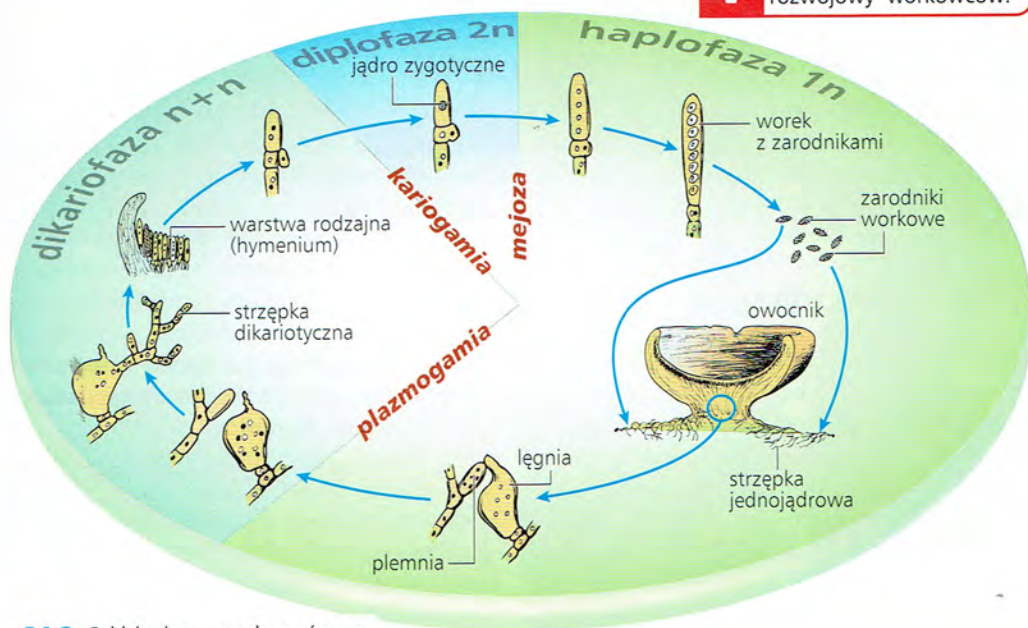
Trufia (*Tuber* sp.)



Smardz jadalny (*Morchella esculenta*)



Przeanalizuj cykl rozwojowy workowców.



24.3. Cykl życiowy workowców na przykładzie dzieżki pomarańczowej

:: Ciekawostka

Butawinka czerwona jest pospolitym pasożytem z grupy workowców atakującym trawy, najczęściej żyto. Jej grzybnia plektenchymatyczna ma postać fioletowo-czarnego **sporyszu**. Sporysz zawiera około 30 alkaloidów (m.in. ergotaminę i ergokorninę). Powodują one skurcze mięśni gładkich, podnoszą lub obniżają ciśnienie krwi, mogą wywołać poronienie, zatrzymanie akcji serca, martwicę kończyn lub halucynacje. Spożycie 5–10 g świeżego sporyszu jest dla człowieka śmiertelne.

PODSUMOWANIE

- Grzyby należą do eukariontów, mają jądro komórkowe otoczone błonami, mitochondria oraz inne organelle charakterystyczne dla tej grupy organizmów.
- Wszystkie grzyby są heterotrofami, nie mają plastydów ani barwników fotosyntetycznych.
- Grzyby mogą być jednokomórkowe lub wielokomórkowe, jednak nie tworzą tkanek.
- Ciało grzyba wielokomórkowego nosi nazwę grzybni (mycelium). Tworzą ją liczne rozgałęziające się strzępki.
- Workowce rozmnażają się bezpłciowo (przez zarodniki konidialne), jak i płciowo (wytwarzając haploidalne zarodniki nazywane askosporami).

ZADANIA

1. Porównaj zjawiska homotalliczności i heterotalliczności.
2. Scharakteryzuj proces gametangio gamii oraz opisz jej znaczenie dla workowców.
3. Określ znaczenie grzybni plektenchymatycznej dla procesu tworzenia owocników grzybów.

W INTERNECIE

<http://www.grzyby.pl>



Kropidlak
(*Aspergillus* sp.)



Pędzlak
(*Penicillium* sp.)



25. Charakterystyka sprzężniowców i podstawczaków

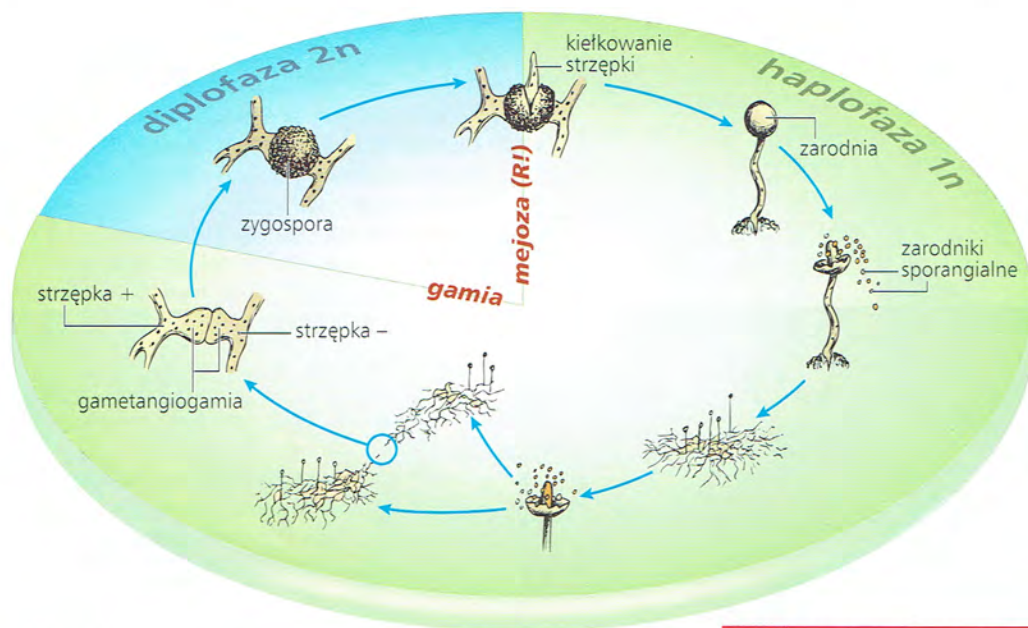
Bardzo liczną grupą grzybów, liczbą gatunków ustępującą jedynie workowcom, są **podstawczaki**. Do **sprzężniowców** należą natomiast grzyby typowo lądowe, liczące jedynie około 300 gatunków. Obie grupy grzybów rozmnażają się zarówno bezpłciowo, jak i płciowo.

Typ: sprzężniowce (*Zygomycota*)

Mają dobrze rozwiniętą grzybnie zbudowaną z haploidalnych strzępek, w których nie występują septy (pojawiają się one tylko w celu oddzielenia gametangiów). Plecha sprzężniowców jest zatem wielojądrowym komórczakiem. Faza diploidalna występuje u nich jedynie na etapie tworzenia zygoty. Do tej grupy grzybów należą pasożyty roślin i zwierząt, a także gatunki saprofityczne. Przedstawicielami sprzężniowców są m.in. **rozłóżek czerniejący** (*Rhizopus nigricans*) oraz **pleśniak biały** (*Mucor mucedo*) **125.2.1**, które powodują pleśnienie pieczywa.

Sprzężniowce rozmnażają się płciowo i bezpłciowo. Rozmnażanie bezpłciowe zachodzi za

pomocą nieruchomych haploidalnych zarodników sporangialnych zwanych **aplanosporami** oraz za pomocą **konidiów**. Spory mogą być przez pewien czas formami przetrwalnikowymi. Rozmnażanie płciowe zachodzi tylko pomiędzy różnymi typami koniugacyjnymi oznaczonymi jako „+” i „-” (są to więc grzyby heterotaliczne). **125.1.1** Ma ono charakter gametangiogamii. Każde gametangium jest kompletnym, wielojądrowym organem płciowym niewykazującym szczególnego zróżnicowania morfologicznego. Zawarte w nim haploidalne jądro oznaczane jest jako „+” lub „-” w zależności od typu koniugacyjnego grzybni, w obrębie której powstało.



25.1. Cykl rozwojowy sprzężniowców na przykładzie pleśniaka białego



Przeanalizuj cykl rozwojowy sprzężniowców.

Po złąciu gametangiów pochodzących z różnych grzybni powstaje diploidalna zygota. Po otoczeniu się wielowarstwową, grubą ścianą przekształca się ona w **zygospore**. Zygospora często przez wiele miesięcy jest nieaktywna. Przed kiełkowaniem dochodzi w niej do mejozy, po której zygospora rozpoczyna tworzenie strzępek nowej grzybni (zazwyczaj niewielkich rozmiarów). Na jej końcu tworzy się **sporangium**, czyli zarodnia z haploidalnymi zarodnikami, których ilość wzrasta w wyniku licznych podziałów mitotycznych. Z zarodników powstaje grzybnia mogąca rozmnażać się bezpłciowo bądź płciowo.

:: Ciekawostka

Najbardziej pierwotną grupą obecnie żyjących grzybów są **skoczkowe**, niegdyś uważane za protisty grzybopodobne. Skoczkowe są z reguły grzybami wodnymi, charakteryzują się prostym cyklem rozwojowym, tworzą na pewnym etapie komórki opatrzone wiciami (pozostałość po przodkach). W tej grupie odnajdujemy zarówno gatunki saprobiontyczne, jak i pasożytnicze (gatunek z rodzaju *Synchytrium* wywołuje chorobę zwaną rakiem ziemniaczanym).



25.2. Przedstawiciel sprzężniowców – pleśniak biały (*Mucor mucedo*)

Typ: podstawczaki (*Basidiomycetes*)

Do podstawczaków należą zarówno formy jednokomórkowe, jak i plechowate, tworzące okazałe owocniki. Typowymi przedstawicielami są grzyby kapeluszowe (np. borowik), huby czy purchawki oraz formy typowo pasożytnicze, jak głównie czy rdze. Grzybnia podstawczaków jest **dikariotyczna** (z jądrami sprzężonymi), a proces dikariotyzacji jest zaznaczony mocniej i trwa dłużej niż u workowców. Grzybnia składa się z delikatnych strzępek, które podzielone są septami na komórki. Podobnie jak u workowców septy są perforowane, co umożliwia przepływ cytoplazmy między komórkami. Podstawczaki wytwarzają buławkowate zakończenia strzępek, na których tworzą się zarodniki. Zakończenia te to **podstawki**, czyli **bazydia**.

Owocniki podstawczaków produkują miliony zarodników podstawkowych, czyli **bazydiospor**. W sprzyjającym środowisku każda z nich ma możliwość dać początek **grzybni pierwotnej**.

Podobnie jak u workowców, tak i u podstawczaków rozmnażanie płciowe polega na plazmogamii i kariogamii. **125.3.1** Procesy te oddalone są od siebie w czasie. Podstawczaki nie wytwarzają organów rozmnażania płciowego, czyli gametangiów (obecnych u workowców). Mamy tu do czynienia z somatogamią. Uczestniczą w niej należące do przeciwnych typów koniugacyjnych (oznaczanych jako „+” i „-”) strzępki grzybni pierwotnej zbudowane z komórek monokariotycznych (mających jedno jądro). Podczas kopulacji dochodzi do

plazmogamii, czyli zlania się cytoplazmy komórek grzybni uczestniczących w procesie. Jądra się nie zlewają, lecz tak jak u workowców tworzą **jądra sprzężone**. W ten sposób powstaje grzybnia wtórna o dwujądrowych komórkach. Grzybnia taka rozrasta się i tworzy owocniki, których wygląd zależy od przynależności gatunkowej. W szczytowych komórkach owocnika dochodzi do kariogamii, czyli zlania się jąder sprzężonych. W ten sposób powstaje jądro zygotyczne, które podlega mejozie. Komórka zygotyczna przekształca się w **podstawkę**, czyli **bazydium** o kształcie maczugowatym. Na podstawie tworzą się cztery wyrostki, do których przechodzą cztery haploidalne jądra powstałe w wyniku mejozy. Z nich tworzą się cztery zarodniki podstawkowe, czyli **bazydiospory**. Rozwijają się one na zewnątrz podstawki (są to więc **egzospory**). Podczas gdy askospory workowców formują się wewnątrz worka (są to **endospory**).

Podstawki tworzą się na spodniej części kapelusza zwanej **hymenoforem**. Może on mieć kształt rurek ściśle ułożonych obok siebie (np. u borowika czy maślaka), blaszek (np. u pieczarki, kurki czy muchomora) lub znajdować się wewnątrz owocnika (np. u purchawki).

:: Ciekawostka

Rdza żółtobłowa jest groźnym pasożytem zbóż, powodującym znaczne straty w rolnictwie. Charakteryzuje się skomplikowanym cyklem życiowym. Do rozwoju potrzebuje dwóch żywicieli: liści berberysu i trawy (np. pszenicy). Zarodniki grzyba są przenoszone przez wiatr lub owady (muchy), dlatego pasożyt może porażać duże obszary upraw. Cechą rdzy żółtobłowej jest brak owocników.



Hymenofor zawiera **hymenium**, czyli **warstwę rodzajną**, w której znajdują się olbrzymie ilości podstawek oddzielonych od siebie przez tzw. komórki płonne. Do podstawczaków należą wiele grzybów kapeluszowych, których owocniki (zwane **bazydiokarpem**) złożone są z trzonu i kapelusza. Potocznie to właśnie owocniki określa się jako grzyby.

Wybrane gatunki podstawczaków

Borowik szlachetny
(*Boletus edulis*)

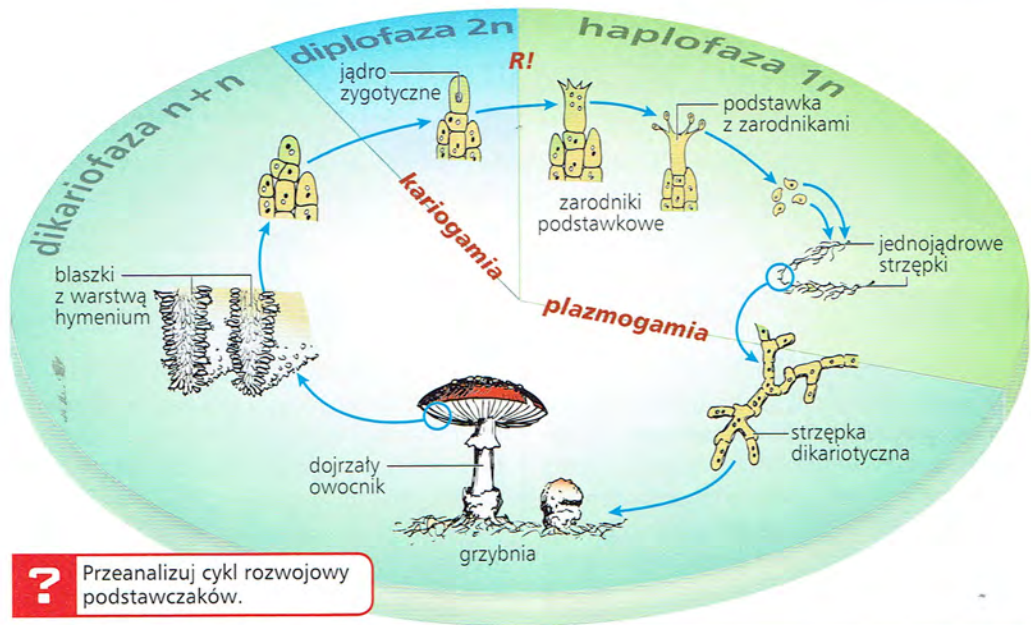
Muchomor czerwony
(*Amanita muscaria*)



Huba drzewna (*Polyporus fomes*)



Wymień inne znane ci gatunki podstawczaków.



25.3. Cykl rozwojowy podstawczaków na przykładzie muchomora czerwonego



PODSUMOWANIE

- Sprzężniowce w procesie płciowym wytwarzają zygospory będące zarodnikami przetrwalnikowymi.
- Przedstawicielem sprzężniowców jest rozłóżek czerniejący, powodujący pleśnienie pieczywa.
- W procesie płciowym podstawczaki wytwarzają zarodniki haploidalne nazywane bazydiosporami.
- Do podstawczaków zalicza się większość tak zwanych grzybów kapeluszowych.

ZADANIA

1. Podaj nazwę struktury, w jaką przekształca się diploidalna zygota powstała w wyniku złączenia się gametangiów pochodzących z różnych grzybní u pleśniaka białego.
2. Określ nazwę i znaczenie warstwy zbudowanej z olbrzymiej ilości podstawek oddzielonych komórkami płonnymi.
3. Przeprowadź obserwację hymenoforu pieczarki, borowika i purchawki. Wyjaśnij jego znaczenie.
4. Oceń słuszność określenia hetrotallicznych strzępek sprzężniowców symbolami „+” i „-”.

BIBLIOGRAFIA

Snowarski M., *Grzyby. Spotkania z przyrodą*, Warszawa 2010.

26. Związki symbiotyczne i znaczenie grzybów

Symbioza to współżycie dwóch organizmów oparte na obustronnej korzyści. **Pasożytnictwo** jest natomiast zależnością, w której jeden organizm czerpie korzyści kosztem drugiego. Oba typy zależności występują w królestwie grzybów.

Porosty

Przykładem pierwszego z nich są porosty (*Lichenes*), roślinne organizmy symbiotyczne określane mianem **grzybów zlichenizowanych**. Składają się z dwóch komponentów: grzyba i glonu. Komponentem grzybowym (**mykobiontem**) są zazwyczaj workowce, zdecydowanie rzadziej – podstawczaki. Samożywny składnik porostu (**fotobiont**) stanowią najczęściej zielenice zaliczane do protistów.

Zarówno grzyby, jak i glony mogą żyć osobno, jednak gdy tworzą układ symbiotyczny, czerpią wzajemne korzyści. Glon dostarcza grzybowi substancje pokarmowe niezbędne do życia (przede wszystkim węglowodany), a grzyb chroni glon przed wysychaniem, gdyż dostarcza mu wodę z solami mineralnymi. Istnieje teoria twierdząca, że niektóre gatunki grzybów i glonów tworzące porosty nie mogą funkcjonować osobno. Taką symbiotyczną zależność niezbęd-

ną do przetrwania każdego z gatunków w niej uczestniczących określa się mianem **mutualizmu**. Według innej teorii porosty są przykładem kontrolowanego pasożytnictwa grzyba na fototroficznym glonie (to tzw. **helotyzm**).

Pod względem budowy porosty to organizmy plechowate. Kształt plechy jest formowany przez komponent grzybowy, co wynika z obecności chityny w jego ścianach komórkowych. Grzyb nadaje również sztywność porostowi.

Znanych jest około 20 tysięcy gatunków porostów, różnych pod względem komponentów, form i barw plechy. Wyróżnia się trzy podstawowe rodzaje plech: **skorupiaste** (płaskie i ściśle przylegające do podłoża, na którym rosną, np. do skały), **listkowate** (spłaszczone, podobne do klapowanych liści, nie przylegają jednak ściśle do podłoża) oraz **krzaczkowate** (rosnące pionowo, rozgałęzione na wzór małych krzaczków).

TYPY MORFOLOGICZNE PLECH POROSTÓW

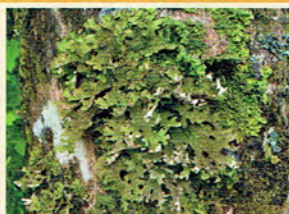
Skorupiaste



- Literak właściwy (*Graphis scripta*)

Żyje w Polsce, jest jednak zagrożony wyginieciem. Większość literakowatych to gatunki egzotyczne występujące głównie w tropikach.

Listkowate



- Granicznik płucnik (*Lobaria pulmonaria*)

Rośnie na powierzchni drzew oraz skałach. Dawniej stosowany był w medycynie ludowej. Obecnie w Polsce podlega ochronie gatunkowej.

Krzaczkowate



- Chrobotek reniferowy (*Cladonia rangiferina*)

Dobrze rośnie na glebach kwaśnych, piaszczystych. Jest spotykany w borach sosnowych. W Polsce podlega ochronie gatunkowej.

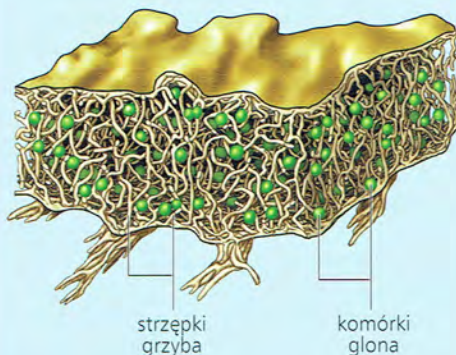
Nie tylko morfologia plechy może się różnić. Wyróżniamy także dwa związane z budową wewnętrzną typy anatomiczne plech porostów: plechę **homeomeryczną**, w której komponenty

grzybowe i glon są rozmieszczone równomiernie (brak wyodrębnionych warstw), i plechę **heteromeryczną**, w której komponenty ułożone są warstwowo.

ANATOMICZNE ZRÓŻNICOWANIE PLECH POROSTÓW

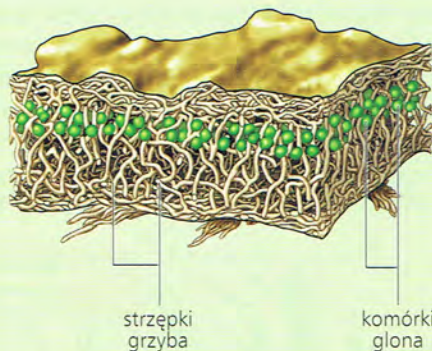
Plecha homeomeryczna

Plecha nie jest zróżnicowana na warstwy: korową, miąższową ani glonową. Fotobiont (którym najczęściej jest sinica) rozmieszczony jest równomiernie w całej objętości plechy.



Plecha heteromeryczna

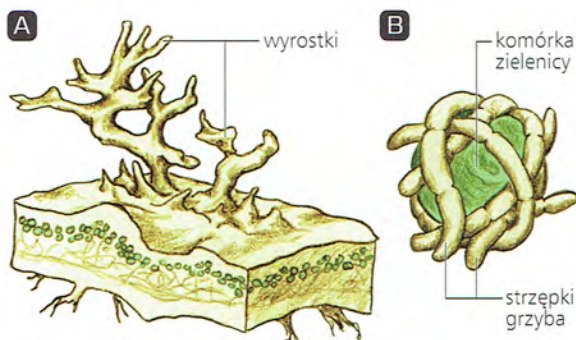
Plecha porostu zróżnicowana na warstwy: korową górną, glonową, rdzeniową oraz korową dolną. Fotobiont zlokalizowany jest jedynie w warstwie glonowej. Ten typ plechy jest najbardziej typowy.



Porosty rozmnażają się bezpłciowo przez fragmentację plechy, za pośrednictwem tzw. **urwisków (sorediów)** i **wyrostków (izydów)**. **26.1.1** Komponent grzybowy może rozmnażać się płciowo, tworząc owocniki i zarodniki charakterystyczne dla swojej grupy.

Znaczenie porostów

1. Uczestniczą w procesach glebotwórczych jako **organizmy pionierskie**, czyli takie, które są w stanie przetrwać w środowisku ekstremalnym.
2. Są organizmami wskaźnikowymi, czyli **bioindykatorami**. W dużych miastach i ośrodkach przemysłowych ich obecność lub jej brak świadczą o stopniu zanieczyszczenia powietrza (im większe zanieczyszczenie, tym mniej porostów).
3. Znajdują zastosowanie jako substancje lecznicze (płucnica islandzka), a także w przemyśle farmaceutycznym i perfumeryjnym.



26.1. Formy rozmnażania porostów: A) wyrostki, B) urwistki

4. Służą jako pokarm dla zwierząt (np. reniferów) i dodatek do pasz. W okresach głodu były wykorzystywane jako pokarm także przez człowieka (np. krusznica jadalna).
5. Wykorzystuje się je w lichenometrii. To metoda określania wieku na przykład podłoża skalnego czy budowli na podstawie pomiarów plech porostów.

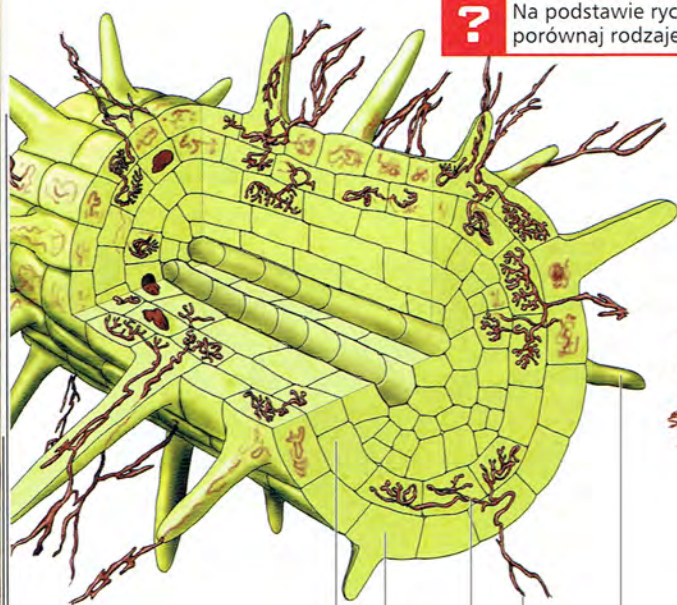
Mikoryza

Niektóre gatunki grzybów przystosowały się ewolucyjnie do symbiotycznego współżycia z korzeniami roślin (zarówno roślin zielnych, jak i drzew). Zjawisko to nosi nazwę **mikoryzy**. Dzięki niej komórki grzybni są zaopatrywane w organiczne asymilaty (przede wszystkim cukry), roślina natomiast zyskuje znaczące zwiększenie powierzchni wchłaniania wody i soli mineralnych. Grzyby produkują również substancje o charakterze hormonalnym i witaminowym, które działają pobudzająco na wzrost i różnicowanie komórek korzenia. Wydzielając do środowiska enzymy trawienne, grzyby doprowadzają do rozkładu substancji organicznych zawartych w glebie. Stają się one w ten sposób łatwo dostępne dla roślin. Wyróżniamy dwa podstawowe typy mikoryzy: **wewnętrzną (endotroficzną)** **126.2.1** oraz **zewnątrzną (ektotroficzną)**. **126.3.1** W mikoryzie wewnętrznej strzępki grzyba wnikają bezpośrednio do wnętrza komórek korzenia. Na

zewnątrz obecność grzyba jest prawie niezauważalna. Wzrost korzenia zostaje zaburzony, a włosniki korzeniowe nie ulegają deformacji ani zanikowi. Mikoryza wewnętrzna jest charakterystyczna głównie dla roślin zielnych (np. pszenicy, kukurydzy, żyta).

Mikoryza zewnętrzna polega na tym, że strzępki grzyba wnikają tylko do kory pierwotnej korzenia, gdzie wypełniają przestrzenie międzykomórkowe, ale nie wnikają jednak do wnętrza komórek. Korzenie boczne zostają niemal całkowicie oplecione przez cenocytowe (czyli niepodzielone na komórki) strzępki grzyba, który tworzy wokół nich tak zwaną mufkę. Strzępki przejmują funkcje włosników korzeniowych, które zanikają. Zahamowaniu ulega przyrost korzenia na długość. Ten typ mikoryzy jest charakterystyczny głównie dla drzew (np. sosny, śliwy, dębu, jabłoni, gruszy). Obecność grzyba mikoryzowego bywa niezbędna dla wzrostu i rozwoju danego drzewa.

? Na podstawie rycin porównaj rodzaje mikoryzy.

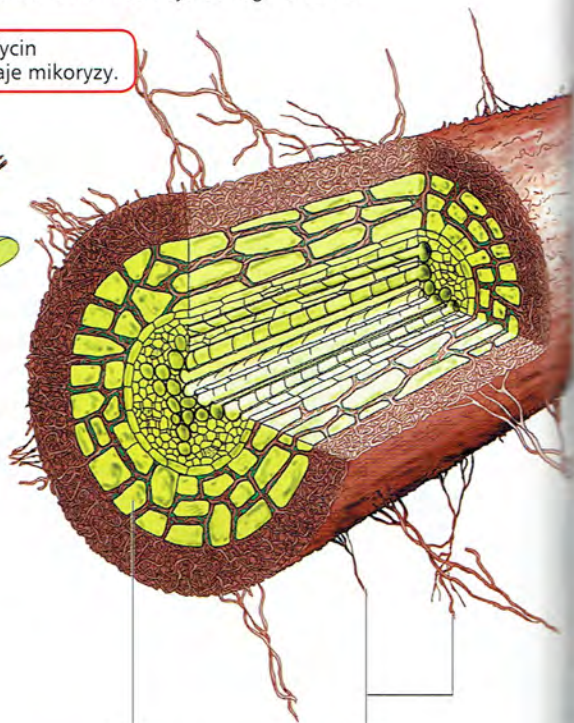


komórki
korzenia

strzępki
grzyba

włosniki

26.2. Schemat mikoryzy wewnętrznej (endotroficznej)



komórki
korzenia

strzępki
grzyba

26.3. Schemat mikoryzy zewnętrznej (ektotroficznej)

Choroby wywoływane przez grzyby

Mimo iż zdecydowana większość grzybów to organizmy wolno żyjące, część z nich przystosowała się do pasożytniczego trybu życia. Pasożytnicze grzyby wywołują wiele chorób roślin (tzw. **mikozy**) oraz zwierząt i człowieka (tzw. **grzybice**). Grzybice spotykane u ludzi to choroby wysoce zakaźne, nierzadko trudno je zdiagnozować, a ich leczenie jest długotrwałe. Dzieli się je na grzybice skóry (**dermatofitozy**) oraz grzybice narządowe (**grzybice głębokie**). Te ostatnie mogą przebiegać z objawami **fungemii** (obecności grzybów we krwi) lub bez nich.

Czynnikami sprzyjającymi rozwojowi grzybów są przede wszystkim: wysoka temperatura, wilgoć oraz brak światła. Dlatego baseny, sauny, wspólne prysznice są miejscami, w których

istnieje wysokie ryzyko zarażenia grzybicą. Do najczęściej spotykanych chorób grzybiczych należy grzybica stóp, którą Światowa Organizacja Zdrowia uznała za chorobę cywilizacyjną. Łatwo się nią zarazić, jeśli chodzi się boso lub nosi nieodpowiednie obuwie.

Najważniejszą zasadą profilaktyki chorób grzybiczych jest stosowanie podstawowych zasad higieny: używanie oddzielnych ręczników oraz niepożyczanie rzeczy osobistych (zwłaszcza bielizny i skarpetek), stosowanie odpowiednich środków myjących oraz noszenie przewiewnego obuwia. Warto także używać preparatów odkażających po wizycie w miejscach publicznych (basen, siłownia, sauna), a w razie podejrzenia infekcji skontaktować się z dermatologiem.

PODSUMOWANIE

- Niektóre grzyby wchodzą z korzeniami roślin w układ symbiotyczny zwany mikoryzą.
- Porosty, czyli grzyby lichenizujące, to symbiotyczne organizmy złożone z komponentu grzybowego i glonu.
- Grzyby saprofityczne biorą udział w procesach glebotwórczych.
- Wiele grzybów znajduje powszechne zastosowanie w przemyśle (spożywczym, farmaceutycznym).
- Grzyby powodują również znaczne straty materialne (np. w rolnictwie), wywołują choroby roślin, zwierząt i człowieka, a także niszczą artykuły spożywcze i towary (powodując ich pleśnienie).

ZADANIA

1. Przeprowadź obserwację porostów rosnących w twojej okolicy. Określ typ plechy oraz stopień zanieczyszczenia powietrza w okolicy (zastosuj w tym celu skalę porostową).
2. Określ rodzaj zależności międzygatunkowej występującej między organizmami tworzącymi porost.
3. Wskaż elementy, za pomocą których następuje bezpłciowe rozmnażanie porostów.
4. Nazwij rodzaj, do jakiego należy grzyb produkujący pierwszy odkryty antybiotyk – penicylinę.

BIBLIOGRAFIA

- Siwulski M., *Uprawiamy grzyby w ogrodzie*, Warszawa 2004.
- Pegler D., *Grzyby Polski i Europy*, Warszawa 2003.

W INTERNECIE

<http://www.grzyby.net>



ZNACZENIE GRZYBÓW

Grzyby są kluczowym składnikiem ekosystemów, ponieważ rozkładają martwą materię organiczną, dzięki czemu przyczyniają się do jej obiegu w przyrodzie. Wszystkie grzyby są bez wyjątku cudzożywne. Zaliczamy do nich zarówno gatunki pasożytnicze, jak i takie, które wchodzą w układy symbiotyczne. Wiele grzybów i porostów podlega ochronie gatunkowej.

W PRZYRODZIE

Liczne gatunki grzybów są **pasożytami** roślin i zwierząt. Dobrym przykładem pierwszej grupy są huby drzewne. Do pasożytów zwierząt należą z kolei dermatofity atakujące powłoki skórne.



Tworząc **układy symbiotyczne**, grzyby wpływają na środowisko, w którym występują. Znakomitym przykładem są porosty będące organizmami pionierskimi i bioindykatorami wykorzystywanymi do określania stopnia zanieczyszczenia powietrza (tzw. skala porostowa).



Duże znaczenie dla prawidłowego funkcjonowania ekosystemów ma **mikoryza**, ocenia się bowiem, że blisko 90% drzew wymaga do prawidłowego wzrostu i rozwoju obecności w glebie grzyba mikoryzowego.

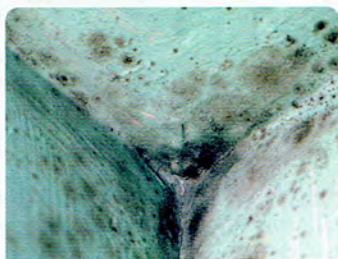


Grzyby jako **destruenci** (saprofity) rozkładający martwą materię organiczną odgrywają istotną rolę w utrzymaniu równowagi ekologicznej na Ziemi. Biorą udział w procesach glebotwórczych, gdyż trawią pozakomórkowo złożone substancje organiczne na związki proste. Uwalniane w tych procesach azot, węgiel i inne pierwiastki biorą udział w cyklu biogeochemicznym, dzięki czemu wzbogacają i użyźniają glebę.



Zastanów się, jakie skutki dla roślin miałyby zniknięcie grzybów mikoryzowych.

W **przemysle spozywczym** grzyby stosuje sie do produkcji alkoholu i pieczywa (drozdz), a takze serow pleśniowych. Walory smakowe niektórych gatunków grzybów sprawiają, że wykorzystuje się je powszechnie jako surowiec kulinarny. Należy jednak pamiętać, że spożycie niektórych grzybów, jak muchomor sromotnikowy (*Amanita phalloides*), krowiak podwinięty (*Paxillus involutus*) czy borowik szatański (*Boletus satanas*), może być dla ludzi niebezpieczne i prowadzić do zatruc zagrażających życiu.



Grzyby chorobotwórcze nie tylko wywołują grzybicę (ich przyczyną są dermatofity i drożdżycę). Gatunki występujące w pomieszczeniach mogą powodować u ludzi tak zwany **syndrom niezdrowego budynku** (SBS; ang. *sick building syndrome*). Polega on na występowaniu przykrych dolegliwości, jak bóle i zawroty głowy, mdłości oraz podrażnienia błon śluzowych. Objawy te mogą być wywołane zarodnikami grzybów lub pleśnią oraz produktami ich przemiany materii unoszącymi się w powietrzu.

Wiele gatunków wykorzystuje się w **przemysle farmaceutycznym** do produkcji antybiotyków (m.in. pędzlak *Penicillium notatum* używany do produkcji penicyliny) oraz witamin A, B2, B12.

Grzyby powodują również **pleśnienie zbóż**, produktów spożywczych (także tych magazynowanych), materiałów budowlanych, drewna i odzieży. Warto tu wspomnieć o takich gatunkach grzybów, jak rozłózek czerniejący (*Rhizopus nigricans*) czy pleśniak biały (*Mucor mucedo*). Do gatunków pasożytniczych, powodujących olbrzymie straty w rolnictwie, należą: śnieć karłowa pszenicy (*Tilletia controversa*), butawinka czerwona (*Claviceps purpurea*) i wywołujący suchą zgniliznę *Fusarium coeruleum*.



Zadanie 1. (2 pkt)

Przyporządkuj wymienionym gatunkom grzybów (A–D) odpowiadające im opisy (1–5).

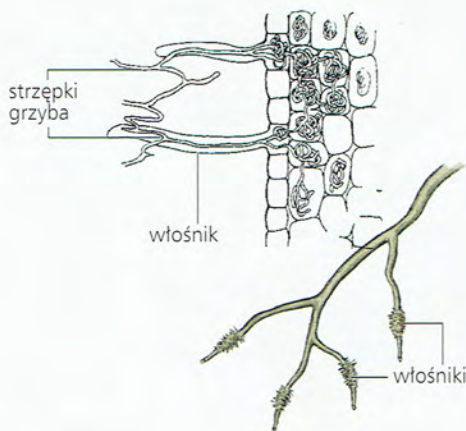
- | | |
|-------------------------|--|
| A. rozłóżek czerniejący | 1. Odpowiada za produkcję antybiotyku – penicyliny. |
| B. pędzlak | 2. Dzięki zdolności do fermentacji jest stosowa w browarnictwie. |
| C. drożdże | 3. Wytwarza zarodniki workowe. |
| D. pieczarka | 4. Powoduje pleśnienie pieczywa. |
| | 5. Wytwarza zarodniki podstawkowe. |

A B C D

Zadanie 2. (2 pkt)

Na rysunku przedstawiono schemat procesu mikoryzy.

Napisz, jaki to rodzaj mikoryzy, i wymień przykład rośliny, u której spotykamy ten typ symbiozy ze strzępkami grzyba.



Rodzaj mikoryzy:
 Gatunek rośliny:

Zadanie 3. (2 pkt)

Wyjaśnij różnice pomiędzy heterotallicznością a homotallicznością u grzybów.

Heterotalliczność:

Homotalliczność:

Zadanie 4. (1 pkt)

Porównaj relacje pomiędzy symbiontami w przypadku mikoryzy (drzewo-grzyb) i porostów (glon-grzyb). Zwróć uwagę na stopień uzależnienia symbiontów od siebie oraz na to, co każdy z nich wnosi do tej symbiozy i co dzięki niej zyskuje.

Zadanie 5. (2 pkt)

W obrębie worka u workowców powstaje ostatecznie 8 jąder haploidalnych, które następnie przekształcają się w dojrzałe zarodniki zwane askosporami. Po opuszczeniu worka i opadnięciu na podłoże zarodniki kiełkują w nową grzybnie.

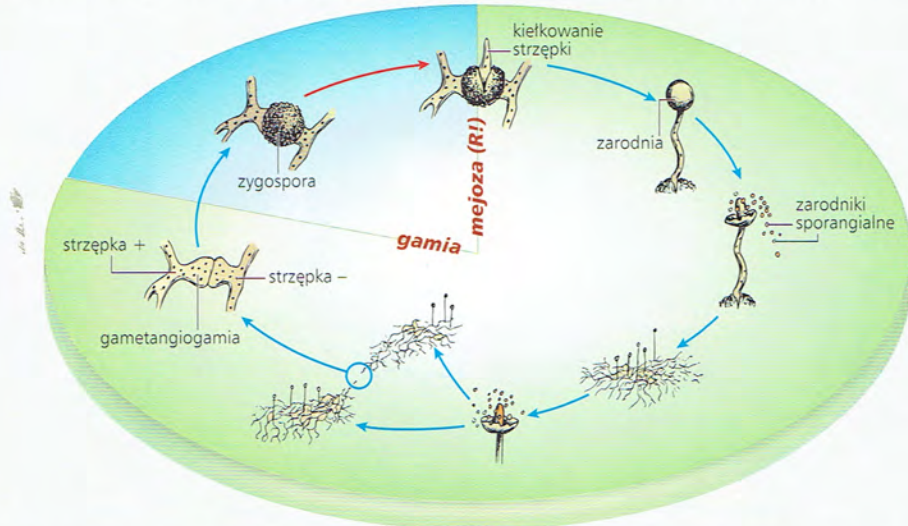
Podaj nazwę sposobu rozmnażania, wskutek którego pojawiają się opisywane askospory. Czy wszystkie askospory powstające u workowców są identyczne pod względem genetycznym? Uzasadnij odpowiedź.

Zadanie 6. (1 pkt)

Narysuj tabelę, w której umieścisz wymienione gatunki porostów. Następnie dla każdego z nich podaj prawidłową nazwę charakterystycznego typu plechy.
 chrobotek reniferowy, literak właściwy, granicznik płucnik

Zadanie 7. (3 pkt)

W ukazanym na schemacie cyklu rozwojowym pleśniaka białego, który należy do sprzężniowców, dochodzi do zlania się gametangiów pochodzących ze strzępek „+” i „-”. Z powstałej zygospory kielkuje po pewnym czasie strzępka wytwarzająca na swoim szczycie sporangium (zarodnię). Tuż przed kielkowaniem musi dojść w zygosporze do podziału redukcyjnego (mejozy).



Podaj nazwę procesu poprzedzającego mejozę opisaną wyżej. Odpowiedz, dlaczego u sprzężniowców w odniesieniu do strzępek koniugujących grzybni stosujemy określenie „+” i „-”, a nie lęgni i plemni, jak na przykład u workowców. Wskaż, które pokolenie – haploidalne czy diploidalne – jest dominujące u pleśniaka białego.

Zadanie 8. (3 pkt)

Poniższe gatunki grzybów zaklasyfikuj w tabeli do odpowiedniego typu.

purchawica olbrzymia, pleśniak biały, pędzlak, borowik szlachetny, muchomor czerwony, maślak zwyczajny, dziezka pomarańczowa, smardz jadalny, drożdże piekarnicze, trufła, huba drzewna, rozłózek czerniejący, kropidlak

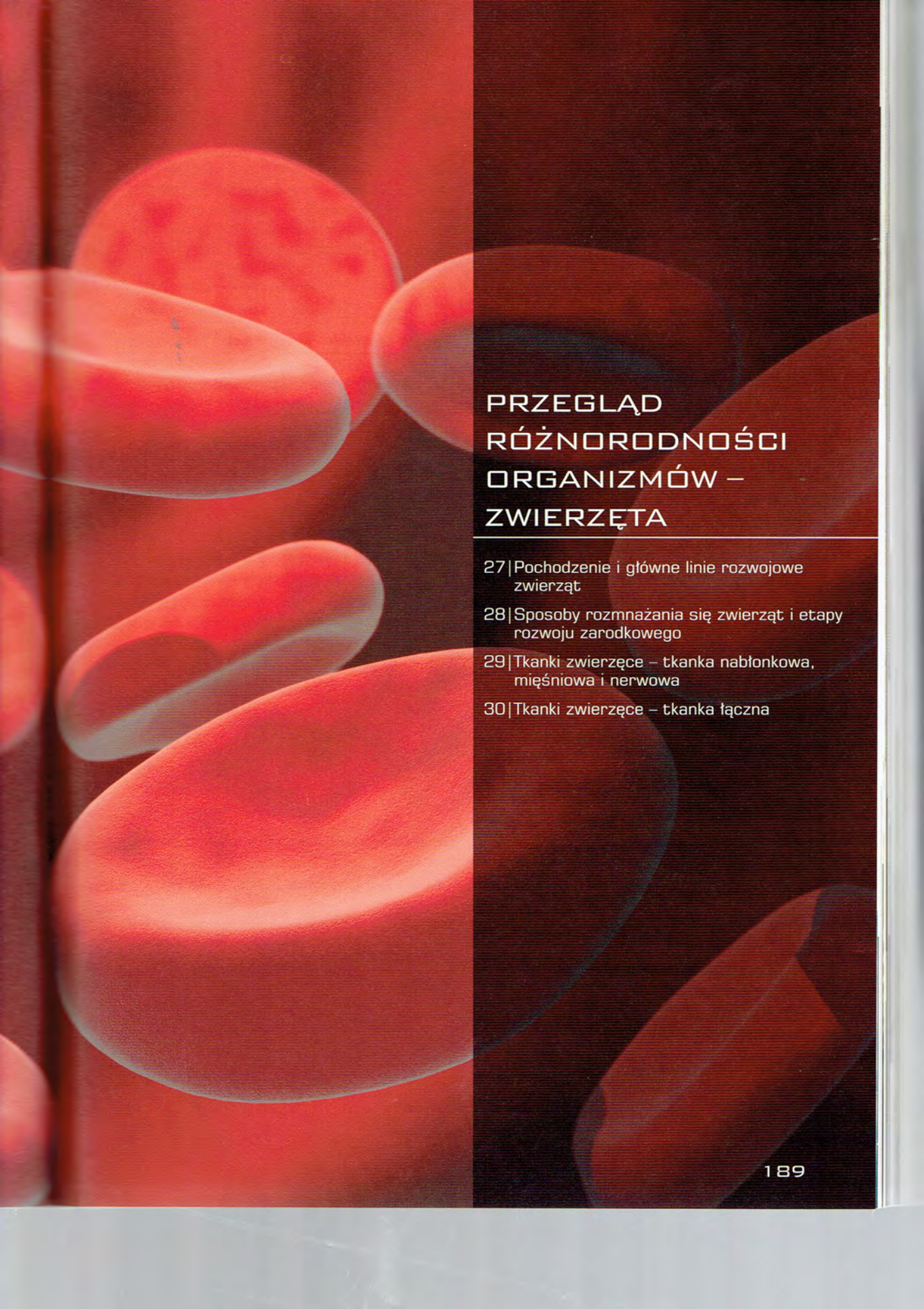
Typ	Gatunki
workowce	
sprzężniowce	
podstawczaki	

Zadanie 9. (2 pkt)

Wskaż dwa zdania zawierające błędne informacje dotyczące grzybów.

1. Plecha zbudowana z ciasno ułożonych strzępek nosi nazwę grzybni plektenchymatycznej.
2. Workowce mogą się rozmnażać bezpłciowo za pomocą zarodników konidialnych.
3. U jednokomórkowych drożdży nie zaobserwowano rozmnażania płciowego.
4. Zlanie się gametangiów u sprzężniowców prowadzi do wytworzenia zygospory.
5. U podstawczaków organy rozmnażania płciowego mają postać plemni i lęgni podobnie jak u workowców.
6. W warstwie rodzajnej (hymenium) u podstawczaków podstawki oddzielone są od siebie tak zwanymi komórkami płonnymi.
7. Zjawisko helotyizmu występującego u porostów jest przejawem kontrolowanego pasożytnictwa.





PRZEGLĄD RÓŻNORODNOŚCI ORGANIZMÓW – ZWIERZĘTA

27| Pochodzenie i główne linie rozwojowe zwierząt

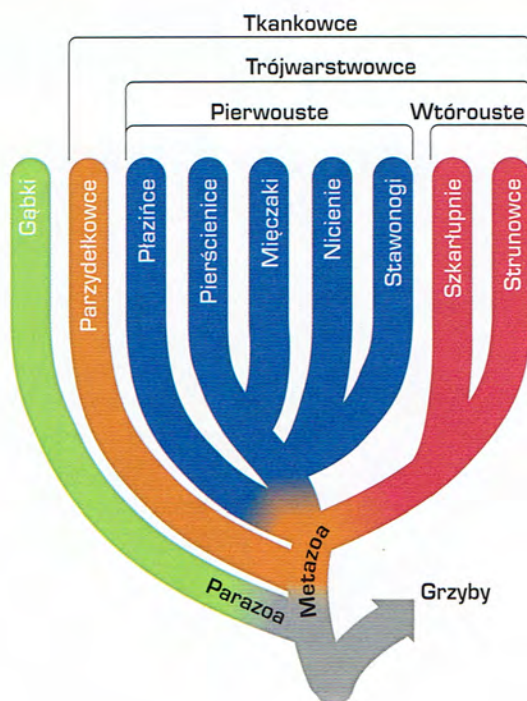
28| Sposoby rozmnażania się zwierząt i etapy rozwoju zarodkowego

29| Tkanki zwierzęce – tkanka nabłonkowa, mięśniowa i nerwowa

30| Tkanki zwierzęce – tkanka łączna

27. Pochodzenie i główne linie rozwojowe zwierząt

Do **królestwa zwierząt** (*Animalia*) zaliczamy wielokomórkowe organizmy cudzożywne, zbudowane z komórek eukariotycznych pozbawionych ściany komórkowej. Jako heterotrofy zwierzęta muszą dostarczać organizmowi pokarm będący zarówno materiałem budulcowym, jak i źródłem energii. W tym celu większość zwierząt wykształciła różne przystosowania do aktywnego poruszania się. Dzięki tej zdolności udało im się skolonizować niemal wszystkie środowiska występujące na Ziemi.



Pochodzenie zwierząt

Pierwsze zwierzęta powstały prawdopodobnie w **oceanie prekambryjskim**, a woda do teraz pozostaje dla większości ich potomków środowiskiem życia. Dzieje się tak, ponieważ spośród trzech typów środowisk występujących na naszej planecie – lądowego, słodkowodnego i słonowodnego – właśnie to ostatnie zapewnia zwierzętom najbardziej sprzyjające warunki rozwoju (jest izotoniczne dla większości grup wobec płynu tkankowego i zapewnia odpowiednią

wyporność). Prawdopodobnie przodkami zwierząt były **heterotroficzne protisty** obdarzone zdolnością ruchu i magazynujące glikogen. Ewolucja od form jednokomórkowych do złożonych organizmów tkankowych przebiegała przez stadium kolonijne. W przeciwieństwie do roślin, zwierzęta wytworzyły wyspecjalizowane tkanki już w środowisku wodnym. Wytworzenie tkanek stało się konieczne w związku z aktywnym trybem życia.

Podstawowe linie rozwojowe zwierząt

W królestwie zwierząt wyróżnia się dwa podkrólestwa: **beztkankowce** (*Parazoa*), zwane pseudozwierzętami, oraz **tkankowce** (*Eumetazoa*), czyli zwierzęta właściwe.

Królestwo: *Animalia* – zwierzęta

Podkrólestwo: *Parazoa* – beztkankowce

Typ: *Porifera* – gąbki

Typ: *Placozoa* – płaskowce

Podkrólestwo: *Eumetazoa* – tkankowce

Do podkrólestwa *Parazoa* należą dwa najprymitywniejsze typy zwierząt, w tym gąbki. **127.1.1**

Mimo że *Parazoa* są grupą bardzo starą, to (jak dowodzą kopalne formy gąbek) od czasu powstania w erze prekambryjskiej praktycznie nie zmieniły się pod względem morfologicznym.

Odkryte skamieniałości wskazują, że pod koniec neoproterozoiku, w okresie zwanym **ediakarem** (od 630 do 542 mln lat temu), żyły najstarsze znane zwierzęta wielokomórkowe. Organizmy te nazwano **fauną ediakarańską**. Były one pierwszymi przedstawicielami zwierząt właściwych. *Eumetazoa* zgodnie z najnowszym systemem klasyfikacyjnym dzieli się na dwie grupy (niemające rangi taksonomicznej): **Radiata** (promieniste) **127.2.1** oraz **Bilateralia** (zwierzęta dwubocznie symetryczne).

Podkrólestwo: *Eumetazoa* – zwierzęta właściwe

(tkankowce)

(bez rangi) *Radiata* – promieniste

Typ: *Cnidaria* – parzydełkowce

Typ: *Ctenophora* – żebropławcy

Grupa określana mianem **promienistych** charakteryzuje się promienistą symetrią ciała. W toku ewolucji ten typ budowy okazał się nie-

27.1. Przedstawiciel gąbek – nadechnik stawowy (*Spongilla lacustris*)



wystarczający, by sprawnie przeciwstawiać się prądowi wody. Dlatego też liczni przedstawiciele tej grupy prowadzą osiadły tryb życia lub unoszą się swobodnie w toni wodnej. Drugą grupę stanowią pozostałe zwierzęta, których pierwotni przodkowie przypominali dzisiejsze płazińce, a więc organizmy o ciele dwubocznie symetrycznym i grzbietobrzusnie spłaszczonym. **Symetria dwuboczna** okazała się najlepszym przystosowaniem do aktywnego poruszania się i dała ostatecznie początek dwóm podstawowym liniom rozwojowym zwierząt: **pierwoustym i wtóroustym**.

Pierwoústie i wtórouste to umowne grupy nazywane niekiedy supertypami. Wyodrębniono je na podstawie sposobu wykształcania otworu gębowego. U **pierwoustych** powstaje on z otworu gastruli (pragęby). U **wtóroustych** pierwotny otwór gębowy (pragęba) przekształca się u dorosłego zwierzęcia w otwór odbytowy, a otwór gębowy powstaje wtórnie po przeciwnej stronie ciała.

27.2. Przedstawiciele: A) parzydełkowców – chelbia modra (*Aurelia aurita*), B) żebropławów – *Bathocyroe fosteri*



Najnowszy system klasyfikacyjny uwzględnia podział typu strunowców na jednostki taksonomiczne o randze gromady. Największe zmiany dotyczą dotychczasowej gromady ryb, która została rozbita na kilka gromad, do których należą różne grupy pierwotnie wodnych kręgowców, takich jak: *Actinopterygii* (ryby promieniopłetwe), *Sarcopterygii* (ryby mięśniopłetwe), *Elasmobranchii* (ryby spodoustę: rekiny i płaszczyki) i *Holocephali* (chimery – dotąd zaliczane do zlikwidowanej – jednak niekiedy wciąż stosowanej – grupy chrzęstnoszkieletowych).

:: Ciekawostka

Do zwierząt dwubocznie symetrycznych (*Bilateria*) należą również: prostopływe (*Orthonectida*), rombownice (*Rhombzoa*) i szczecioszczękie (*Chaetognatha*). Organizmy należące do tych trzech typów nie są zaliczane do żadnej grupy pierwoustych i wtóroustych. Mają niewielkie rozmiary i często są pasożytami większych zwierząt morskich.



Podkrólestwo: *Eumetazoa* – zwierzęta właściwe
(bez rangi): *Bilateria* – zwierzęta dwubocznie symetryczne
(bez rangi): *Protostomia* – zwierzęta pierwoustę
Typ: *Platyhelminthes* – płazińce
Typ: *Nematoda* – nicienie
Typ: *Annelida* – pierścienice
Typ: *Arthropoda* – stawonogi
Typ: *Mollusca* – mięczaki
(bez rangi): *Deuterostomia* – zwierzęta wtórouste
Typ: *Echinodermata* – szkarłupnie
Typ: *Hemichordata* – półstrunowce
Typ: *Chordata* – strunowce
Gromada: *Cephalochordata* – beczaszkiowce
Gromada: *Appendicularia* – ogonice
Gromada: *Ascidacea* – żachwy
Gromada: *Thaliacea* – sprzągle
Gromada: *Cephalaspidomorphi* – minogi
Gromada: *Myxini* – śluzice
Gromada: *Elasmobranchii* – spodoustę
Gromada: *Actinopterygii* – ryby promieniopłetwe
Gromada: *Sarcopterygii* – mięśniopłetwe
Gromada: *Holocephali* – chimery
Gromada: *Amphibia* – płazy
Gromada: *Reptilia* – gady
Gromada: *Aves* – ptaki
Gromada: *Mammalia* – ssaki

PODSUMOWANIE

- Zwierzęta to organizmy cudzożywne, w większości złożone z tkanek.
- Można je znaleźć we wszystkich środowiskach występujących na Ziemi, najwięcej gatunków żyje w wodach słonych.
- Pierwsi przodkowie dzisiejszych zwierząt pojawili się już w okresie prekambryjskim.
- Podstawowy podział królestwa zwierząt, uwzględniający zdolność tworzenia i obecność tkanek, wyodrębnia beztkankowce (*Parazoa*) oraz tkankowce (*Eumetazoa*).

ZADANIA

1. Omów słuszność przyjętego w zoologii kryterium podziału zwierząt na pierwoustę i wtórouste.
2. Wyjaśnij, dlaczego środowisko morskie było najbardziej optymalne dla rozwoju zwierząt.
3. Porównaj wartość adaptacyjną bilateralnej symetrii ciała i symetrii promienistej.
4. Dlaczego doszło do wykształcenia różnych tkanek u zwierząt i roślin? Porównaj tempo tego procesu u obydwu grup organizmów.

BIBLIOGRAFIA

Najpiękniejsza historia zwierząt, oprac. zbiorowe, Wydawnictwo Cyklady, Warszawa 2002.

28. Sposoby rozmnażania się zwierząt i etapy rozwoju zarodkowego

Prymitywni przodkowie zwierząt rozmnażali się zarówno bezpłciowo, jak i płciowo. U zwierząt o złożonej budowie nastąpiła całkowita dominacja pokolenia **diploidalnego** (odpowiadającego sporofitowi roślin) nad **haploidalnym**, którego jedyną pozostałością są gamety. Im większy jest stopień złożoności i ewolucyjnego zaawansowania zwierząt, tym mniejszy udział w ich rozwoju ma rozmnażanie bezpłciowe. U strunowców ten typ rozmnażania zanikł całkowicie. Cykl życiowy przebiegający z przemianą faz jądrowych i pokoleń uległ zatem zanikowi na rzecz pojedynczego organizmu diploidalnego.

Rozmnażanie bezpłciowe

Efektem rozmnażania bezpłciowego (wegetatywnego) jest powstanie organizmu identycznego genetycznie z organizmem macierzystym (nie zachodzą wówczas procesy zapewniające zmienność gatunkową). Rozmnażanie bezpłciowe jest ewolucyjnie starsze, toteż charakteryzuje zwierzęta o prymitywnej budowie ciała. Ponieważ nie wymaga obecności dwóch osobników, jest szczególnie istotne dla zwierząt osiadłych (gąbki, parzydełkowce), poruszających się wolno (szkarłupnie) lub niektórych pasożytów (tasiemce). Istotne jest też, że w optymalnych warunkach jeden osobnik może w krótkim czasie dać początek licznej populacji.

Częste u protistów **rozmnażanie przez podział** jest formą rozmnażania bezpłciowego, która u wielokomórkowych organizmów tkankowych występuje rzadko. Ponieważ różnice między organizmem potomnym a macierzystym są na ogół niedostrzegalne, określa się je jako **organizmy siostrzane**. Wyróżnia się dwa typy podziału. Podział przebiegający w poprzek osi ciała nazywany jest **poprzecznym** (wśród zwierząt spotykany jest u wirków oraz

:: Ciekawostka

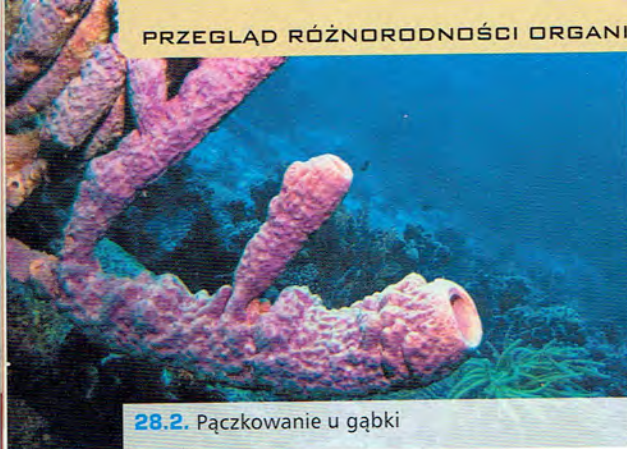
Wysoki stopień złożoności budowy zwierząt tkankowych uniemożliwia im korzystanie z wymienionych sposobów rozmnażania bezpłciowego. Mimo to u niektórych pasożytniczych błonkówek istnieje możliwość wytworzenia nawet kilku tysięcy identycznych pod względem genetycznym osobników potomnych z jednego zapłodnionego jaja. Zjawisko takie nosi nazwę **wielozarodkowości** (**poliembrionii**).

pierścienic – skąposzczetów i wieloszczetów), **128.1.1** natomiast podział zgodny z kierunkiem osi ciała określa się jako **podłużny** (jest typowy dla niektórych polipów koralowych).

Strobilizacja to unikalny sposób podziału poprzecznego występujący u parzydełkowców, w cyklu rozwojowym których pojawiają się stadia meduzy i polipa (jak np. chętbia modra – *Aurelia aurita*). Zwierzę przytwierdzone do podłoża w postaci osiadłego polipa ulega wielokrotnym podziałom poprzecznym, w wyniku których powstają efyry (młode meduzy). Rosnąc, przekształcają się one w postaci dorosłe.

28.1. Przedstawiciel pierścienic – wieloszczet





28.2. Pączkowanie u gąbki

28.3. Wyplawek (*Digestia sp.*)

Pączkowanie to typ rozmnażania bezpłciowego występujący u osiadłych pierwotniaków, nielicznych wielokomórkowców, drożdży oraz gąbek. **128.2.1** Charakterystyczną cechą pączkowania jest to, że dość łatwo jest odróżnić organizm macierzysty od potomnego (który jest mniejszy). Poza tym pączkowanie może zachodzić w wielu miejscach organizmu rodzicielskiego jednocześnie. Organizmy potomne mogą po zakończeniu pączkowania pozostawać związane z organizmem rodzicielskim (tworząc kolonię) lub też stać się odrębnym organizmem.

Regeneracja to zdolność odtwarzania utraconych fragmentów organizmu charakterystyczna dla zwierząt o różnym stopniu złożoności budowy. O rozmnażaniu na drodze regeneracji możemy mówić jednak wyłącznie w sytuacji, gdy niewielki fragment ciała jest zdolny do odtworzenia całego organizmu. Najlepiej zjawisko regeneracji rozwinęło się u polipów oraz stułbiopławów, które są w stanie się odtworzyć nawet z pojedynczej komórki. Duże zdolności regeneracyjne posiadają również wyplawki (potrafią odtworzyć cały organizm z fragmentów stanowiących 1/279 część długości ciała). **128.3.1**

Rozmnażanie płciowe

Rozmnażanie płciowe zapewnia **zmienność genetyczną**, która jest kluczowym warunkiem adaptacji organizmów do zróżnicowanych warunków środowiska. Zwierzęta rozmnażające się bezpłciowo mają również zdolność do rozmnażania płciowego, a kręgowce rozmnażają się wyłącznie w ten ostatni sposób. Mechanizmy rozmnażania płciowego kształtowały się w królestwie zwierząt stopniowo. Przejawem zaawansowania ewolucyjnego może być na przykład stopień zróżnicowania gamet uczestniczących w procesie płciowym. U prymitywnych organizmów (np. u protistów) występują ruchliwe komórki płciowe nieodróżnione morfologicznie (tzw. **izogamety**) lub różniące się wielkością (tzw. **anizogamety**). Natomiast u zwierząt w rozmnażaniu płciowym dominuje model **gamet oogamicznych**, w którym olbrzymia, nieruchoma komórka jajowa łączy się z wielokrotnie mniejszym, poruszającym się za pomocą wici plemnikiem (pozbawione wici

plemniki niektórych stawonogów, płazińców, nicieni oraz pierścienic poruszają się ruchem pełzakowatym). Komórki jajowe osiągają wielkość od kilkudziesięciu mikrometrów do nawet kilkunastu centymetrów (np. u strusia). Różna jest również ilość zawartego w nich materiału zapasowego, co pozwala na wyodrębnienie **jaj alecytalnych** (pozbawionych żółtka), **oligolecytalnych** i **mezoolecytalnych** (o średniej zawartości żółtka), a także **polilecytalnych** (najbardziej zasobnych w substancje zapasowe).

Gamety zwierząt powstają w wyspecjalizowanych gruczołach rozrodczych zwanych gonadami. Obecność obu typów gonad u jednego osobnika, czyli **obojnactwo (hermafrodytyzm)**, ma charakter pierwotny. Występuje najczęściej u ewolucyjnie najprymitywniejszych form zwierząt. U organizmów obojniaczych często dochodzi do zapłodnienia krzyżowego. Samozapłodnienie uniemożliwia ujawnienie się pełnej zmienności genetycznej. Konieczne stało się zatem wyod-

rębnienie płci. **Rozdzielno płciowość** oznacza zróżnicowanie osobników jednego gatunku na żeńskie (czyli **samice** produkujące komórki jajowe) oraz męskie (czyli **samce** wytwarzające plemniki). Obecność gonad odpowiednich dla danej płci (jajników u samic lub jąder u samców) nosi nazwę **pierwszorzędowych cech płciowych**. Różnice w budowie dróg wyprowadzających gamety (drogi rodne samicy, prącie u samców) to **drugorzędowe cechy płciowe**. Natomiast różnice między płciami niezwiązane bezpośrednio z rozrodem (np. upierzenie pawia, zarost na twarzy mężczyzny) to **trzeciorzędowe cechy płciowe**. Z obecnością licznych trzeciorzędowych cech płciowych łączy się zjawisko dymorfizmu płciowego (morfologicznego zróżnicowania płci).

Zapłodnienie i rozwój embrionalny

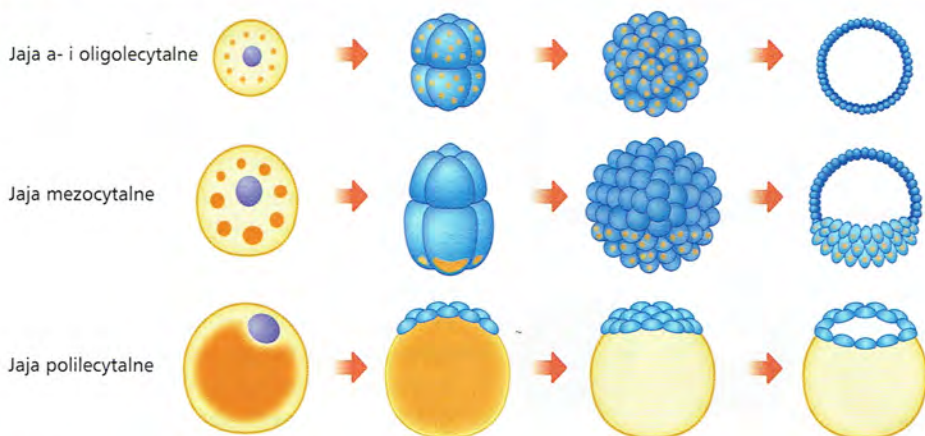
W czasie kontaktu płciowego osobników odrębnych płci dochodzi do dwóch zjawisk następujących po sobie. Pierwsze z nich to zaplemnienie, polegające na zbliżeniu się komórek rozrodczych. Może ono być zewnętrzne (np. polewanie ikry mleczkiem przez samca u ryb) lub wewnętrzne (gdy dochodzi do wprowadzenia plemników do dróg rodnych samicy). Później następuje zapłodnienie, czyli połączenie gamet (w środowisku zewnętrznym lub w organizmie). Powstająca w jego wyniku zygota odpowiada poziomem skomplikowania budowy i funkcji organizmowi jednokomórkowemu. Dalszy jej rozwój rozpoczyna etap **bruzdkowania**

128.4.1, polegającego na wielokrotnych, mito-

tycznych podziałach komórek zarodka zwanych **blastomerami** (w wyniku pierwszych pięciu podziałów powstają odpowiednio 2, 4, 8, 16 i 32 blastomery). W stadium 16 i 32 blastomerów dochodzi zwykle do zdeterminowania stref organotwórczych w zarodku. Z badań prowadzonych przez profesora Andrzeja Tarkowskiego na zarodkach mysich wynika, że bruzdkujące komórki po czwartym podziale (stadium 16 blastomerów) zachowują pełną **totipotencję**, czyli zdolność do utworzenia całkowicie funkcjonalnego organizmu. Wykonując piąty podział (stadium 32 blastomerów), ulegają przekształceniu w komórki **pluripotencjalne** (w których wstępnie zaznaczone jest położenie przyszłych tkanek i narządów). Rozdzielenie ich na tym etapie grozi powstaniem poważnych wad rozwojowych (np. przepukliny jelitowej), co wynika z częściowej determinacji funkcji komórek. Proces bruzdkowania może mieć u różnych gatunków odmienny przebieg, w zależności od zasobności komórki jajowej w żółtko.

:: Ciekawostka

Mechanizm polegający na oddzielaniu się blastomerów prowadzi w naturze do powstania **bliźniąt jednojajowych**. Maksymalna liczba bliźniąt jednojajowych (np. u człowieka jako przedstawiciela ssaków) wynosi zatem aż 16, choć wiadomo, że ze względów fizjologicznych jest ona niemożliwa do osiągnięcia.



28.4. Różny przebieg bruzdkowania w zależności od ilości żółtka w komórce jajowej

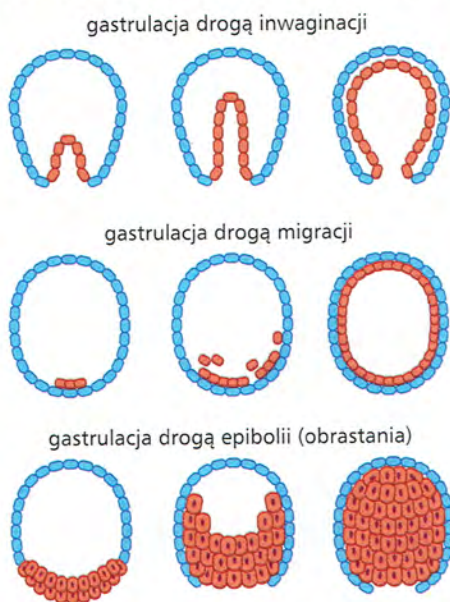
Powstały w wyniku bruzdkowania wielokomórkowy zarodek (tzw. **morula**) przypomina grudkę komórek i składa się z co najmniej 32 blastomerów. Ten etap rozwoju odpowiada etapowi organizmu kolonijnego w filogenezie zwierząt. Po osiągnięciu stadium moruli tempo podziałów komórkowych spada, powiększeniu ulegają natomiast przestrzenie międzykomórkowe. Proces ten prowadzi do wytworzenia wewnątrz zarodka jamy wypełnionej płynem (składa się on głównie z wody i wydzielin komórkowych). Zarodek na tym etapie rozwoju nosi nazwę **blastuli**, a wypełniającą jego wnętrze przestrzeń nazywa się **pierwotną jamą ciała – blastocelem**.

U człowieka i innych ssaków podziały zachodzą w miarę równomiernie i w równym tempie. Powstała w ich efekcie blastula (tzw. **blastocysta**) jest sferycznie symetryczna. Inaczej jest na przykład u płazów, u których w czasie bruzdkowania powstają dwa rodzaje komórek: **makromery** i **mikromery**. Z kolei u ptaków, mających olbrzymie komórki jajowe z dużą ilością żółtka (tzw. jaja polilecyltalne), występuje **bruzdkowanie częściowe tarczowe**, w wyniku którego powstaje silnie spłaszczona **blastula** połączona z kulą żółtka.

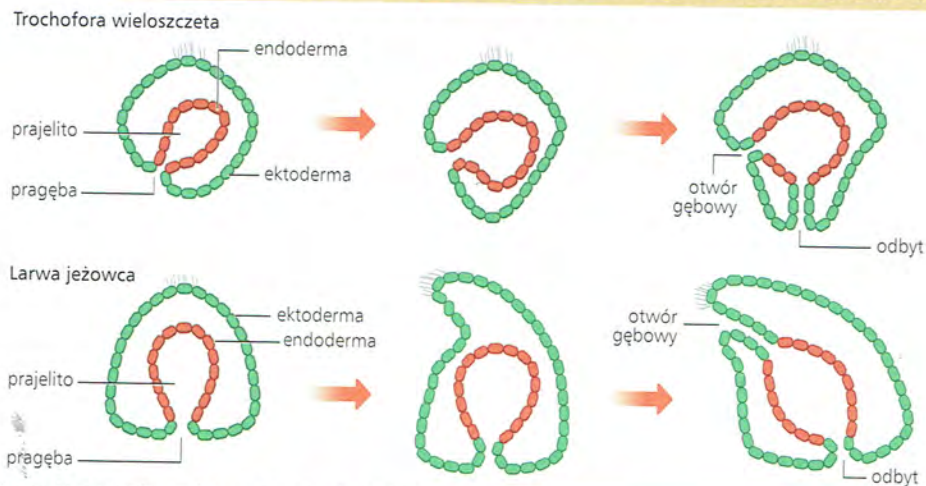
Kolejny etap rozwoju zarodka nosi nazwę **gastrulacji**. [28.5.] W jego trakcie część komórek przedostaje się do wnętrza blastuli, dzięki czemu

powstaje druga warstwa komórek. U ssaków gastrulacja polega na wpukleniu się części komórek jednego bieguna blastuli do jej wnętrza (**mechanizm inwaginacji**). U jamochłonów z kolei gastrulacja zachodzi na skutek **migracji** części komórek do wnętrza pierwotnej jamy i jest najprawdopodobniej najwcześniejszym przykładem tego procesu. U płazów cechujących się asymetryczną budową amfiblastuli gastrulacja zachodzi na skutek tak zwanej **epibolii**. Duże i wolno dzielące się makromery zostają otoczone przez szybko dzielące się mikromery. W wyniku gastrulacji dochodzi do utworzenia **gastruli**, składającej się z dwóch niewyspecjalizowanych warstw komórek zarodkowych: zewnętrznej **ektodermy** i wewnętrznej **endodermy** (nazywanych listkami zarodkowymi). Pomiędzy nimi znajduje się silnie spłaszczona pierwotna jama ciała. Z wpuklenia endodermalnego tworzy się jama zwana **prajelitem**, do której prowadzi otwór zwany **pragębą** (blastoporem). Na etapie gastruli zatrzymał się rozwój gąbek i parzydełkowców (choć u gąbek obie warstwy nie mają jeszcze charakteru typowych tkanek). W kolejnym etapie dochodzi do utworzenia trzeciej warstwy komórek, zwanej **mezodermą** (czyli trzecim listkiem zarodkowym). Wówczas ustalona zostaje również ostateczna pozycja otworu gębowego i odbytowego. Cecha ta jest podstawą podziału zwierząt na **pierwouste** oraz **wtórouste**. [28.6.]

U zwierząt pierwoustych otwór gębowy powstaje w miejscu pragęby, a odbytowy tworzy się wtórnie mniej więcej po przeciwnej stronie ciała. Trzeci listek zarodkowy u **pierwoustych zwierząt trójwarstwowych** powstaje na dwa sposoby. U form najprymitywniejszych (płazińców i nicieni) komórki zewnętrznej warstwy (ektodermy) migrują do wnętrza pierwotnej jamy ciała, gdzie tworzą strukturę pozbawioną cech tkanki (tzw. **mezenchymę**). U nicieni dodatkowo obserwowany jest proces tworzenia się zaczątków wtórnej jamy ciała (**pesudocelomy**). Z kolei u form bardziej złożonych (np. pierścienic, mięczaków i stawonogów) trzeci listek zarodkowy powstaje ze specjalnego blastomeru, z którego w wyniku podziału powstają dwie **prakomórki mezodermalne** zlokalizowane po obu stronach pragęby. W wyniku licznych podziałów tworzą one w obrębie pierwotnej



28.5. Trzy różne rodzaje gastrulacji zachodzące u zwierząt



28.6. Rozwój otworów gębowych w dwóch głównych liniach rozwojowych zwierząt: pierwoustych (na górze) i wtóroustych (na dole)

? Porównaj rozwój otworu gębowego u zwierząt pierwoustych i wtóroustych.

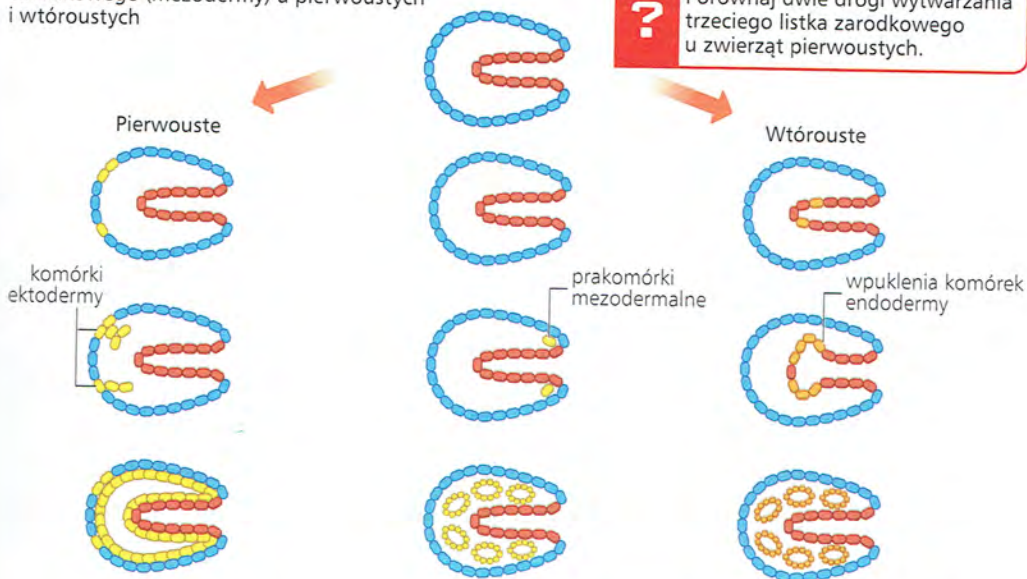
jamy ciała szeregowo ułożone pęcherzyki zwane **somitami**. Przestrzeń zamknięta wewnątrz somitów nosi nazwę **wtórnej jamy ciała (celomy)**.

W przypadku **zwierząt wtóroustych** otwór gębowy wykształca się wtórnie mniej więcej po przeciwnej stronie prągęby przekształcającej się ostatecznie w otwór odbytowy. Proces formowania się trzeciego listka zarodkowego u tej grupy zwierząt jest również odmienny od wyżej opisanych. Następuje on w wyniku uwypuklenia się prajelity złożonego z komórek endodermi, z których także tworzą się pęcherzyki zwane

somitami zamykające wewnątrz obszar wtórnej jamy ciała, czyli celomy. Po wykształceniu funkcjonalnej mezodermy [28.7.1] rozpoczyna się etap **organogenezy**, czyli kształtowania narządów wewnętrznych. U wszystkich trójwarstwowców z danego listka zarodkowego powstają te same struktury.

W procesie organogenezy kręgowców jako jedno z pierwszych powstają mózg, struna grzbietowa oraz rdzeń kręgowy. Struna grzbietowa indukuje powstawanie cewki nerwowej. Jej przednia część jest znacznie większa od reszty i daje początek mózgowiu. Pozostała przekształ-

28.7. Mechanizm powstawania trzeciego listka zarodkowego (mezodermy) u pierwoustych i wtóroustych



? Porównaj dwie drogi wytwarzania trzeciego listka zarodkowego u zwierząt pierwoustych i wtóroustych.

Struktury wytwarzane z poszczególnych listków zarodkowych

Ektoderma	Mezoderma	Endoderma
• układ nerwowy ośrodkowy i obwodowy, przysadka mózgowa • narządy zmysłów, komórki czuciowe, siatkówka oka, nabłonek zmysłowy • zewnętrzna warstwa skóry (naskórek) wraz z przydatkami • nabłonek jamy ustnej, jamy nosowej oraz odbytnicy • rdzeń nadnerczy, soczewka oka, szkliwo zębów • błony płodowe: owodnia, kosmówka	• tkanka nabłonkowa wyściełająca jamy ciała (opłucną, otrzewną, osierdzie) • mięśnie szkieletowe oraz serce • układ wydalniczy (nerki i nabłonek pokrywający moczowody) • jądra i jajniki oraz kora nadnerczy • tkanki łączne (kości, chrząstki, krew i limfa) • skóra właściwa, zębina • współtworzy wszystkie błony płodowe	• wyściółka nabłonkowa jelita • gruczoły trawienne (wątroba, trzustka) oraz nabłonek pęcherzyka żółciowego • nabłonek krtani, tchawicy i płuc • gruczoły dokrewne (tarczyca, przystarczycę, grasicę) • struna grzbietowa • błony płodowe: omocznia, pęcherzyk żółtkowy

ca się w rdzeń kręgowy. W czasie gdy rozwija się układ nerwowy, zaczynają się kształtować inne narządy. Wątroba, trzustka, tarczyca oraz płuca (będące narządami pochodzenia endodermalnego) wyodrębniają się już w pięciodniowego płodu jako uchyłki przewodu pokarmowego. Swoje funkcje fizjologiczne pierwsze podejmują serce i układ krążenia.

Rola błon płodowych, łożyska. Rozwój prosty i złożony

W rozwoju zwierząt wyróżnia się trzy podstawowe typy reprodukcji: jajorodność, jajożyworodność i żyworodność. Najbardziej pierwotna jest wśród nich **jajorodność** (oviparia), która polega na produkcji komórek jajowych, zapładnianych następnie w organizmie samicy lub poza nim. Po etapie zapłodnienia dalszy rozwój zarodków odbywa się w środowisku zewnętrznym. Jajorodność jest najbardziej rozpowszechnionym sposobem reprodukcji wśród zwierząt, począwszy od prymitywnych tkankowców aż po należące do kręgowców gady i ptaki. U nielicznych gatunków zwierząt pojawia się nieco zmodyfikowany typ jajorodności zwany **jajożyworodnością** (ovoviviparia). Polega on na dłuższym przebywaniu zapłodnionych jaj w drogach rodnych samicy. Wyklucie się z osłon jajowych zachodzi zwykle tuż po złożeniu jaj lub nawet jeszcze w drogach rodnych samicy (przypomina wtedy żyworodność). Jajożyworodność spotykana jest w świecie owadów, pajęczaków, roztoczy, ryb i gadów. **Żyworodność** (viviparia), polega na zapładnianiu komórek jajowych w obrębie dróg rodnych samicy, a następnie ich dalszym rozwoju wewnątrz organizmu matki. Żyworodność różni się od jajożyworodności tym, że rozwijający się zarodek przez cały czas jest odżywiany

przez organizm matki za pośrednictwem łożyska lub zbliżonych do niego struktur (np. łożysko woreczka żółtkowego u niektórych rekinów). Zarodki opuszczają ciało matki po okresie zwanym ciążą i są w pełni ukształtowane. U ryb, płazów i gadów żyworodność występuje rzadko, u ssaków zdecydowanie dominuje, wyjątkami są jajorodne dziobak i kolczatka. Jedyną gromadą kręgowców, która nie wykształciła żadnych form żyworodności, są ptaki.

Zarodki wszystkich lądowych kręgowców otoczone są przez **błony płodowe: omocznie, owodnie, pęcherzyk żółtkowy i kosmówkę**. Powstają one z listków zarodkowych, ale nie tworzą ciała zarodka, dlatego określa się je mianem struktur pozazarodkowych. Ich obecność jest przejawem adaptacji do lądowego trybu życia. Ostanowią zarodek, zapobiegają jego wyschnięciu, a także pośredniczą w dostarczaniu tlenu i substancji odżywczych oraz usuwaniu szkodliwych produktów przemian metabolicznych. **Kosmówka**, położona najbardziej na zewnątrz, u gadów i ptaków sąsiaduje z wewnętrzną stroną skorupki jaja, a u ssaków – ze ścianą macicy. Otacza zarodek i błony płodowe. Przestrzeń pomiędzy zarodkiem a **błoną owodni** (nazywaną **jamą owodni**) wypełniona jest **płynem owodniowym**. Zapobiega on wysychaniu zarodka oraz amortyzuje wstrząsy. **Omocznia** rozwija się jako uwypuklenie przewodu pokarmowego. U kręgowców jajorodnych (gady i ptaki) omocznia jest sporych rozmiarów i ma za zadanie gromadzić wydzielany przez nerki zarodka kwas moczowy. U ssaków omocznia jest niewielka (usuwanie produktów przemiany materii odbywa się poprzez łożysko). **Woreczek żółtkowy** powstaje jako boczny uchyłek przewodu pokarmowego. Jest źródłem materiałów zapasowych dla rozwijającego się zarodka. Z tego też względu

jest najlepiej rozwinięty u kręgowców jajorodnych. Szczytowym osiągnięciem ewolucyjnym w zakresie embriogenezy jest **łożysko** spotykane u ssaków łożyskowych. Jest to narząd, który zapewnia stałą wymianę substancji pomiędzy matką a płodem. Zaopatruje rozwijający się zarodek w substancję odżywcze i tlen, odprowadzając jednocześnie szkodliwe produkty przemian metabolicznych (w tym dwutlenek węgla). Łožysko pełni również rolę narządu wydzielania wewnętrznego produkującego hormony zapewniające podtrzymanie ciąży. W tworzeniu łożyska bierze udział kosmówka (ze strony płodu) oraz błona śluzowa macicy (ze strony matki). Łožysko, poza dwiema żyłami pępowinowymi i jedną tętnicą, obejmuje też zredukowaną omocznnię i pęcherzyk żółtkowy. Krew matki i krew płodu nie mieszają się ze sobą, a ich

układy krążenia oddzielone są błoną, przez którą wymieniane substancje (odżywcze, tlen, metabolity) mogą przemieszczać się drogą dyfuzji lub transportu aktywnego.

Po zakończeniu rozwoju zarodkowego następuje poród (w przypadku kręgowców jajorodnych nazywany wykluciem). Od tego momentu wszelkie zmiany zachodzące w młodym organizmie noszą nazwę **rozwoju postembrionalnego** (pozarodkowego). U zwierząt o prostej budowie, jak również u bezowodniowych kręgowców, mamy do czynienia z **rozwojem złożonym**, przebiegającym z przeobrażaniem (metamorfozą), w którym występuje postać larwalna. W przypadku owodniowców obserwuje się z kolei **rozwój prosty**, w którym nie występują stadia larwalne, a osobnik młodociany różni się od dorosłego jedynie wielkością i niezdolnością do rozrodu.

PODSUMOWANIE

- Rozmnażanie jest jedną z podstawowych cech charakteryzujących układy żywe.
- Wśród typów rozmnażania bezpłciowego zwierząt wyróżniamy: rozmnażanie przez podział, strobilizację, pączkowanie oraz regenerację.
- Rozmnażanie płciowe (ewolucyjnie młodsze) pozwala organizmom osiągnąć zmienność genetyczną dzięki procesowi *crossing-over*, niezależnej segregacji chromosomów w czasie mejozy oraz mieszanii materiału genetycznego różnych osobników.
- Zaplemnieniem nazywamy proces wprowadzenia plemników do cyklu rozrodczego danego organizmu, zapłodnienie natomiast to połączenie gamet.
- Początkowa faza podziału zygoty nosi nazwę bruzdkowania (równomiernego, nierównomiernego lub tarczowego, w zależności od grupy zwierząt).
- Po zakończeniu bruzdkowania zarodek osiąga stadium moruli, która przekształca się w pęcherzyk zwany blastulą.
- Zarodek w stadium blastuli ulega przekształceniu (gastrulacji), w wyniku czego osiąga stadium gastruli.
- Na etapie gastruli rozpoczyna się proces tworzenia listków zarodkowych.
- U kręgowców występują cztery błony płodowe: omocznia, owodnia, pęcherzyk żółtkowy i kosmówka.

ZADANIA

1. Podaj nazwę grupy organizmów (inną niż polipy) cechującej się dużymi zdolnościami do regeneracji.
2. Jakie znaczenie miało wykształcenie żyworodności w porównaniu z poprzedzającą to zjawisko jajorodnością? Wskaż grupę kręgowców, u której nigdy nie doszło do wytworzenia żadnych form żyworodności.
3. Nazwij typ komórek zdolnych do utworzenia całego organizmu.
4. Wymień listki zarodkowe, z jakich powstaje łożysko u ssaków łożyskowych.
5. Scharakteryzuj trzy mechanizmy gastrulacji przebiegające w rozwoju zarodkowym.

BIBLIOGRAFIA

Biologia. Jedność i różnorodność, oprac. zbiorowe, Wydawnictwo Szkolne PWN, Warszawa 2008.



29. Tkanki zwierzęce – tkanka nabłonkowa, mięśniowa i nerwowa

W organizmach zwierząt można wyróżnić ponad 200 rodzajów komórek różniących się zarówno morfologią, jak i pełnionymi funkcjami. Grupuje się je w cztery podstawowe typy tkanek. Są to: **tkanka nabłonkowa, łączna, nerwowa, mięśniowa.**

Tkanka nabłonkowa

Pojawia się jako pierwsza w rozwoju zarodkowym (embriogenezie). Jej charakterystyczną cechą jest prawie całkowity brak substancji międzykomórkowej. W większości jej ściśle do siebie przylegających komórek obecne jest funkcjonalne jądro komórkowe. Integralność zapewniają tkance połączenia między komórkami, najczęściej o charakterze desmosomalnym. Komórki nabłonkowe przylegają do wytwarzanej przez nie i położonej niżej błony podstawnej, która składa się z wielocukrów oraz włókien białkowych. Nie ma ona budowy komórkowej. W tkance nabłonkowej brak jest naczyń krwionośnych, dlatego substancje odżywcze docierają do niej na drodze dyfuzji z położonej w pobliżu tkanki łącznej. W większości, poza nabłonkiem opłucnej i otrzewnej, nabłonki mają duże zdolności regeneracyjne. Tkanka nabłonkowa uczestniczy również w transporcie związków chemicznych, pośrednicząc w ich dyfuzji (np. nabłonek jelit, kanalików nerkowych lub naczyń włosowatych).

Ze względu na pełnione funkcje wyróżnia się trzy rodzaje nabłonka.

Nabłonek pokrywający – jego najważniejszym zadaniem jest ochrona niżej leżących tkanek przed urazami mechanicznymi lub chemicznymi. Zapobiega on również utracie wody i wysięka jamy ciała i narządy wewnętrzne (np. przewód pokarmowy). Jako zewnętrzna warstwa skóry (naskórek) stanowi też pokrycie ciała.

Nabłonek zmysłowy – powstaje z ektodermy i odpowiada za odbiór bodźców ze świata zewnętrznego. Są one następnie przekazywane dalej, do komórek układu nerwowego. Typowym przykładem tego nabłonka jest występujący u człowieka nabłonek węchowy, wysiękający fragment jamy nosowej.

Nabłonek wydzielniczy (gruczołowy) – wchodzi w skład gruczołów wydzielających pot, łój (sebum), ślinę, mleko lub hormony. Są w nim obecne komórki kielichowe o silnie rozwiniętym aparacie Golgiego.

Podział komórek gruczołowych

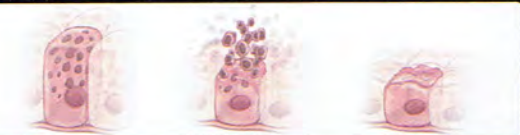
Gruczoły merokrynowe (cząsteczkowe)

Wydzielina wydostaje się na zewnątrz za pośrednictwem lizosomów. Jej uwalnianiu nie towarzyszy proces rozpadu komórki (przykładem są gruczoły potowe).



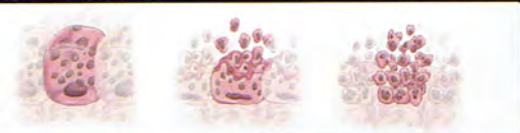
Gruczoły apokrynowe (szczytowe)

Tworzenie wydzieliny polega na odrywaniu szczytowej części komórki wraz z fragmentem cytoplazmy zawierającym produkt gruczołu (przykładem są gruczoły mleczne).



Gruczoły holokrynowe (całkowite)

Tworzenie wydzieliny następuje w wyniku całkowitego rozpadu komórki gruczołu. W miejscu komórki ulegającej rozpadowi pojawia się nowa (przykładem są gruczoły łojowe).



Podział nabłonków ze względu na budowę morfologiczną

Nabłonek jednowarstwowy płaski [29.1.1] (złożony z jednej warstwy płaskich komórek) występuje w tych częściach organizmu, w których istotne znaczenie ma transport substancji na drodze dyfuzji (np. w pęcherzykach płucnych, naczyniach krwionośnych i limfatycznych, torebkach ciałek nerkowych, na powierzchni skrzelu u zwierząt skrzelodysyjnych).

Nabłonek jednowarstwowy sześcienny, [29.2.1] czyli **kubiczny** (zbudowany z komórek o sześciennym kształcie), bierze udział w procesach wydzielania i wchłaniania, nieliczne komórki mogą być zaopatrzone w mikrosomki (występuje w przewodach wyprowadzających gruczołów, w kanalikach nerkowych).

Nabłonek jednowarstwowy walcowaty [29.3.1] (zbudowany z komórek o wydłużonym kształcie, często zaopatrzonych w mikrosomki) pełni głównie funkcje wydzielnicze (wydzielanie śluzu) oraz odpowiada za wchłanianie (nabłonek migawkowy kosmków jelitowych). Występuje w układzie pokarmowym od żołądka do odbytnicy oraz w górnych partiach układu oddechowego; w jajowodzie uczestniczy w przemieszczaniu komórek jajowej, a potem zygoty w kierunku macicy.

Nabłonek jednowarstwowy wielorzędowy [29.4.1] (zbudowany z komórek o różnej długości, kształcie i położeniu, przylegających do błony podstawnej) pełni funkcje wydzielnicze oraz, dzięki nielicznym mikrosomkom, ruchowe (np. uczestniczy w przemieszczaniu śluzu w oskrzelach). Występuje w oskrzelach, tchawicy, przewodach gruczołów.

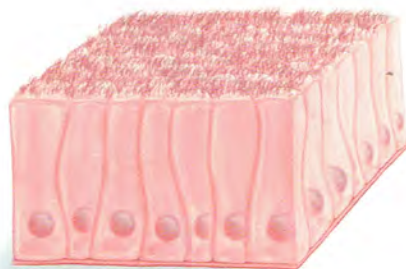
Nabłonek wielowarstwowy płaski [29.5.1] pełni głównie funkcje ochronne, a jego rola w transporcie i wydzielaniu substancji jest znikoma. Najczęściej podziałom ulegają tylko komórki położone najgłębiej. Warstwa położona powierzchniowo ulega ciągłemu złuszczeniu. Nabłonek ten występuje w naskórku, układzie pokarmowym od jamy ustnej do przełyku oraz wyściela pochwę i rogówkę oka.



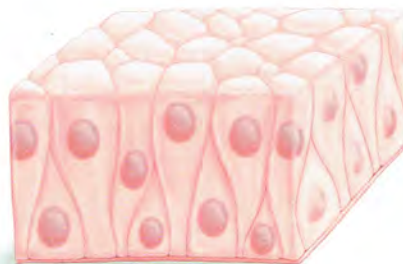
29.1. Nabłonek jednowarstwowy płaski



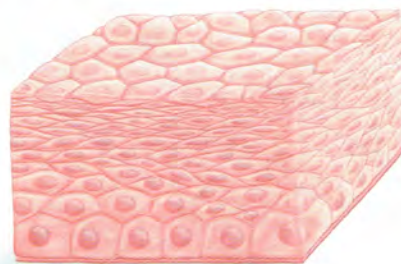
29.2. Nabłonek jednowarstwowy sześcienny



29.3. Nabłonek jednowarstwowy walcowaty



29.4. Nabłonek jednowarstwowy wielorzędowy



29.5. Nabłonek wielowarstwowy płaski

Tkanka mięśniowa

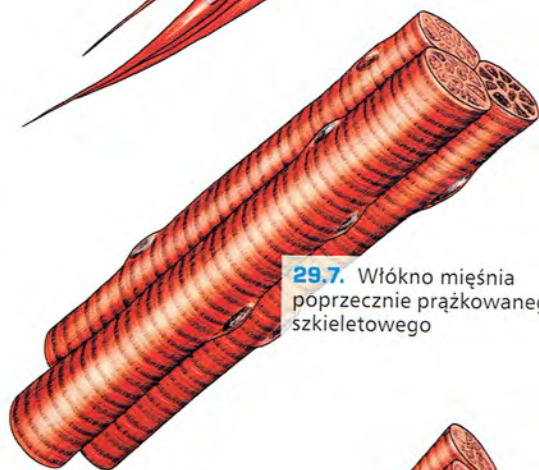
Składają się na nią komórki zdolne do aktywnego skurczu, wyspecjalizowane, zwane komórkami mięśniowymi. Ze względu na budowę komórek, ich lokalizację oraz fizjologię wyróżniamy trzy typy tkanek mięśniowych.

Tkanka mięśniowa poprzecznie prążkowana szkieletowa buduje czynny układ ruchu. Jej jednostką strukturalną jest włókno [29.7.1] o cylindrycznym kształcie, z położonymi peryferycznie jądrami komórkowymi i dużą ilością mitochondriów. Włókna te szybko się kurczą

29.6. Włókno mięśnia gładkiego



29.7. Włókno mięśnia poprzecznie prążkowanego szkieletowego



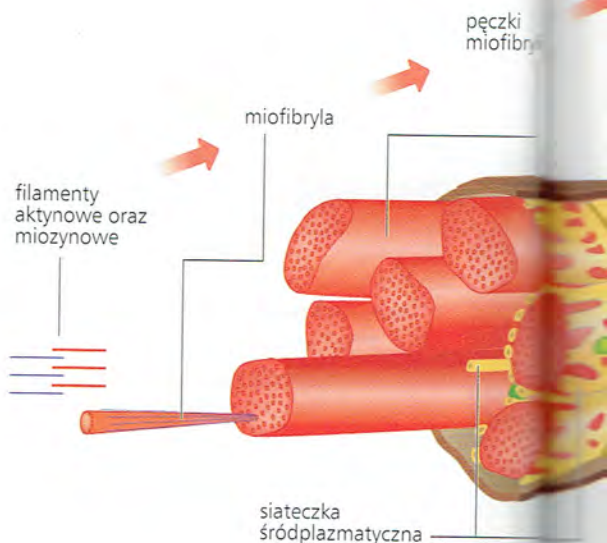
29.8. Włókno mięśnia poprzecznie prążkowanego serca



(skurcze są zależne od naszej woli), ale też szybko się męczą, są silnie unaczynione i unerwione.

Tkankę mięśniową poprzecznie prążkowaną serca budują widlasto rozgałęzione, jedno- lub dwujądrowe komórki zaopatrzone w liczne mitochondria. [29.8.1] Komórki te mają kształt cylindryczny i łączą się ze sobą za pomocą wstawek, tworząc przestrzenną sieć. Jądra komórkowe położone są centralnie. Szybkość skurczu nie jest duża, a skurcze są długotrwałe. Tkanka mięśniowa serca jest silnie unaczyniona, a jej praca nie zależy od naszej woli.

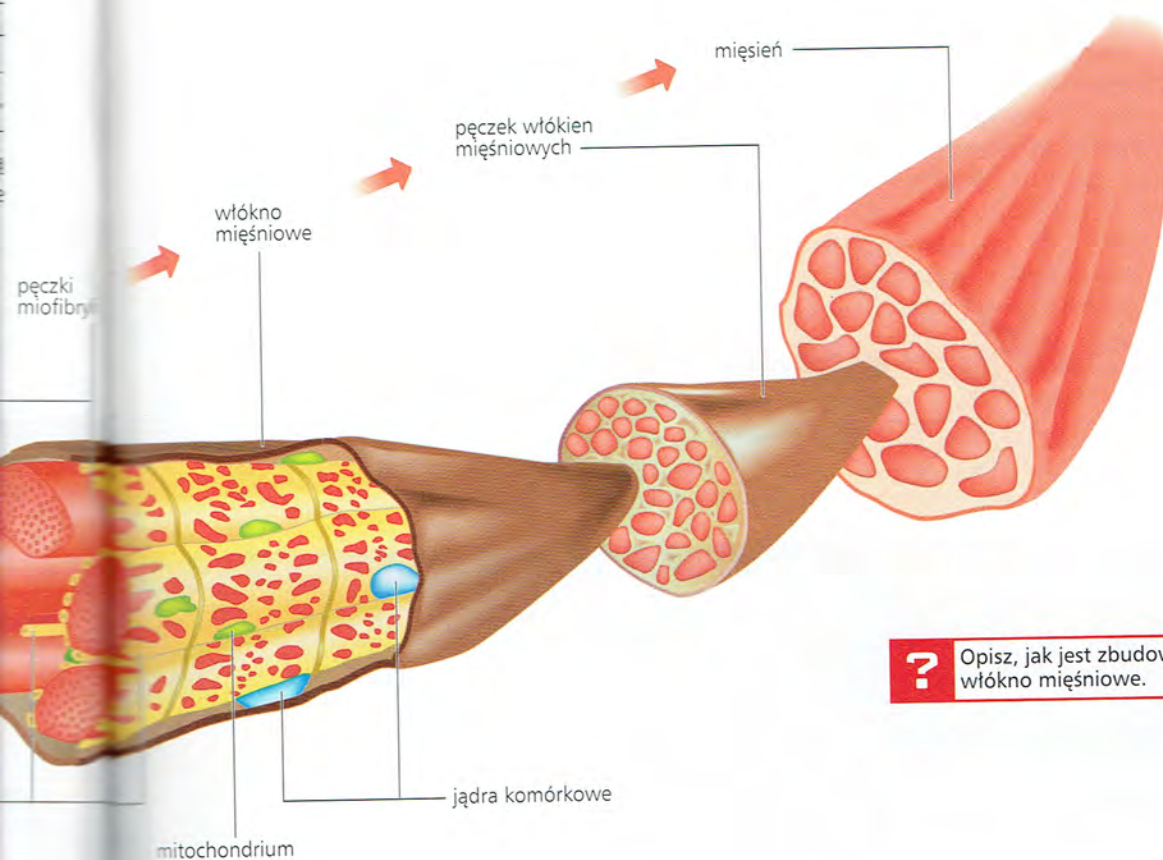
Tkanka mięśniowa gładka u bezkręgowców (płazińców, nicieni i pierścienic) jest związana z lokomocją, współtworzy wór powłokowo-mięśniowy. U stawonogów ten typ tkanki mięśniowej nie występuje, za to u kręgowców współtworzy ona ściany narządów wewnętrznych. W przeciwieństwie do pozostałych tkanek mięśniowych nie wykonuje prążkowania. Wrzecionowate komórki [29.6.1] mają jedno, centralnie położone jądro komórkowe i niewielką ilość mitochondriów. Mięśnie gładkie pracują wolno (niezależnie od naszej woli) i są odporne na zmęczenie.



Budowa włókna mięśniowego poprzecznie prążkowanego

Podstawową jednostką funkcjonalną tkanki mięśniowej jest **włókno mięśniowe** **129.9.1** (określenia „komórka mięśniowa” używa się wyłącznie w odniesieniu do komórek mięśni gładkich). Pod względem budowy włókno mięśniowe jest wielojądrowym **syncytium** (**zespólnią**), powstałym w wyniku podziału komórek mięśniowych, w których po etapie kariokinezy nie doszło do podziałów cytoplazmy. W ultrastrukturze włókna mięśniowego wyróżnia się **filamenty**, czyli najmniejsze elementy odpowiedzialne za skurcz. Dzieli się je na filamente **cienkie** (**aktynowe**), zbudowane z aktyny, oraz **grube** (**miozynowe**), zbudowane z miozyny.

Oba typy filamentów łączą się i tworzą filamente miozynowo-aktynowe. Ich pęczki budują **miofibryle** (włókienka kurczliwe). Miofibryle (także zebrane w pęczki) tworzą włókno mięśniowe. W jednym włóknie mięśniowym może występować do kilkunastu pęczków miofibryli. Regularny układ miofilamentów powoduje, że na całej długości miofibryli uwidaczniają się jasne i ciemne prążki. Ponieważ we wszystkich miofibrylach miofilamenty są ułożone na jednym poziomie, wywołuje to obraz poprzecznego prążkowania włókna mięśniowego. W miofibrylach wyodrębnia się powtarzające się segmenty zwane **sarkomerami**. Są to podjednostki strukturalne i funkcjonalne odgrywające rolę w skurczu mięśnia.

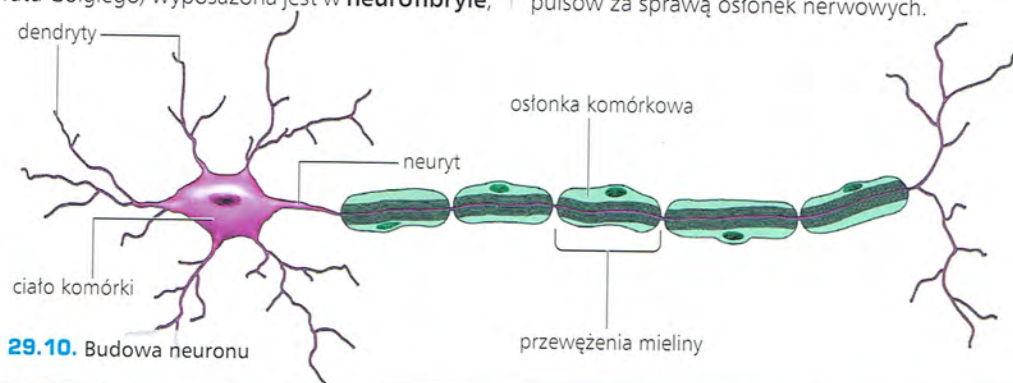


Opisz, jak jest zbudowane włókno mięśniowe.

Tkanka nerwowa

Tkanka nerwowa, na którą składają się miliardy komórek, tworzy układ nerwowy. Odbiera on bodźce zewnętrzne i wewnętrzne i reaguje na nie, koordynując pracę całego organizmu. Sprawne funkcjonowanie tkanki nerwowej zawdzięcza autonomicznym strukturom zbudowanym z **komórek nerwowych (neuronów)** oraz wspomagających je **komórek glejowych**. Głównym zadaniem neuronów jest przekazywanie informacji w postaci **impulsów nerwowych**.

W zależności od miejsca występowania w organizmie neurony mogą różnić się między sobą. W ich budowie jednak można wyodrębnić trzy wspólne elementy: ciało komórki (tzw. **perykaryon**) – centralną i największą część komórki nerwowej, **dendryty** (krótkie i rozgałęzione wypustki przewodzące impulsy do komórki) oraz **neuryty** (inaczej **aksony** albo **włókna nerwowe**) – pojedyncze, długie (do 1 m) wypustki przewodzące impulsy odkomórkowo. **29.10.1** Cytoplazma komórki nerwowej oprócz typowych organelli (jądra komórkowego, licznych mitochondriów oraz aparatu Golgiego) wyposażona jest w **neurofibryle**,



29.10. Budowa neuronu



29.11. Budowa komórki glejowej

które tworzą w ciele komórki gęstą sieć, spełniającą funkcję cytoszkieletu.

Dojrzałe komórki nerwowe nie ulegają podziałom, dlatego zdolności regeneracyjne tkanki nerwowej są niewielkie (jedynie aksony mogą po uszkodzeniu częściowo i powoli się regenerować). Obok komórek nerwowych niezwykle istotne dla prawidłowego funkcjonowania układu nerwowego są **komórki glejowe**. **29.11.1** Nie posiadają one zdolności przesyłania impulsów nerwowych, pełnią jednak rolę odżywczą, ochronną, a także wpływają na odpowiedź immunologiczną w obrębie tkanki nerwowej. Co najważniejsze, komórki glejowe wpływają na szybkość przewodzenia impulsów za sprawą osłonek nerwowych.

Podział neuronów ze względu na budowę



Neurony jednobiegunowe

Spotykane są najczęściej w okresie płodowym, a w ich budowie wyróżnia się jedynie pojedynczy dendryt albo akson. U organizmów dojrzałych występują w podwzgórze.

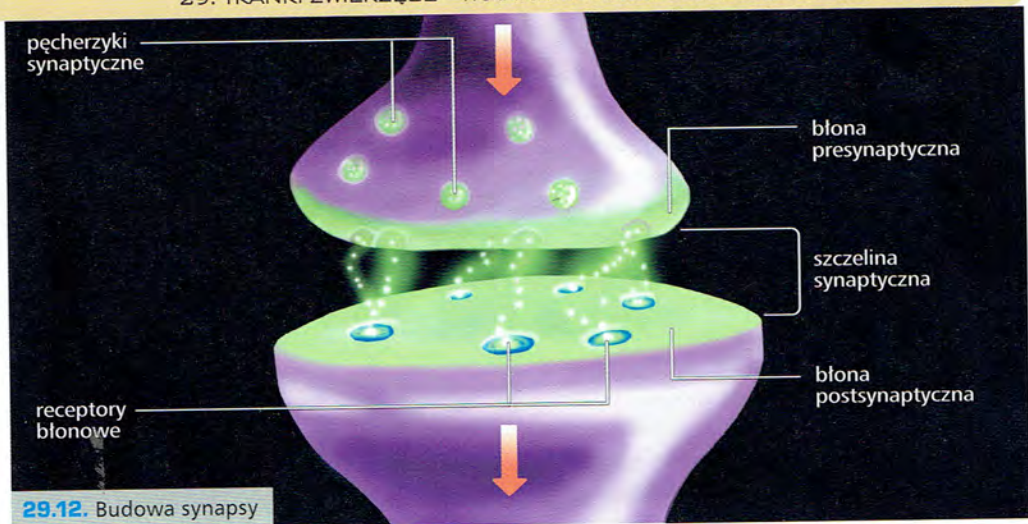


Neurony pseudojednobiegunowe

Posiadają jedną wypustkę wybiegającą z ciała komórki. Ulega ona rozdzieleniu na pojedynczy dendryt (staje się on częścią nerwu obwodowego) i akson (dociera do rdzenia kręgowego lub mózgu). Ten typ neuronów występuje najczęściej w zwojach czuciowych nerwów rdzeniowych i czaszkowych.



Wymień miejsca, w których występują przedstawione na rycinie typów neuronów.



29.12. Budowa synapsy

Ośłonki nerwowe powstają w wyniku owinięcia aksonu przez **lemocyty (komórki Schwanna)**. Wyróżnia się dwa typy osłonek: **ośłonki mielinowe (rdzenne)** i **ośłonki Schwanna (komórkowe)**. Jeżeli warstwę otaczającą akson tworzy wyłącznie lemocyt (nie zawiera ona mieliny wytworzonej przez oligodendrocyty), to taką osłonkę nazywa się osłonką Schwanna. Włókno, w którym ona występuje, nosi nazwę bezmielinowego (berdzennego). Jeśli akson jest już wyposażony w osłonkę (wytworzoną przez oligodendrocyty i zawierającą mielinę), to lemocyt tworzy na zewnątrz niej osłonkę dodatkową. Taka podwójna otoczka aksonu nosi nazwę osłonki mielinowej, a włókno, w którym ona występuje, nazywa się rdzeniowym (lub mielinowym).

Przerwy między kolejnymi odcinkami osłonki mielinowej (będącej doskonałym izolatorem elektrycznym) noszą nazwę **przewężeń Ranviera**. To dzięki nim zwiększa się szybkość przepływu impulsów nerwowych. Dzieje się tak,

ponieważ między kolejnymi odcinkami osłonki impulsy muszą przemieszczać się skokowo, co znacznie zwiększa ich prędkość (do 120 m/s). Włókna bezrdzenne, otoczone jedynie przez komórki Schwanna nieposiadające właściwości izolacyjnych, przemieszczają impulsy nerwowe znacznie wolniej (z prędkością ok. 4 m/s).

Przekazywanie impulsów nerwowych między neuronami odbywa się za pomocą specjalnych struktur zwanych **synapsami**. **29.12.1** Znajdują się one najczęściej między aksonami i dendrytami lub aksonami a ciałami kolejnych komórek nerwowych. Impuls nerwowy ma charakter ładunku elektrycznego, przemieszczającego się wzdłuż ciała komórki nerwowej. Jeśli **przestrzeń synaptyczna** (odzielająca dwa neurony) jest duża, ładunek musi wykorzystać substancje chemiczne, aby ją pokonać. W tym celu, gdy dociera do błony presynaptycznej (początkowej), powoduje uwolnienie z niej na drodze egzocytozy pęcherzyków wypełnionych związkami chemicznymi o charakterze **neuro-**

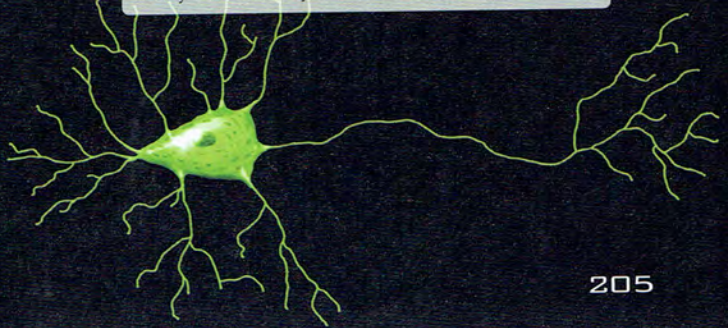


Neurony dwubiegunowe

Wyposażone są w pojedyncze wypustki (dendryt i akson) rozłożone na przeciwległych biegunach komórki. Podobnie jak dwa poprzednie typy występują rzadko (w siatkówce oka oraz w nabłonku węchowym).

Neurony wielobiegunowe

Zbudowane z ciała komórki, jednego aksonu i wielu krótkich dendrytów. Ich plan budowy jest przyjmowany za typowy dla komórki nerwowej. Występują w całym ośrodkowym układzie nerwowym.



transmitera lub **mediatora synaptycznego** (np. dopaminą, acetylocholiną, noradrenaliną lub serotoniną). Następuje zamiana sygnału elektrycznego na chemiczny. W błonie postsynaptycznej (docelowej) zlokalizowane są receptory, z którymi łączą się cząsteczki neuroprzekaźnika, co powoduje pobudzenie tej błony i inicjuje powstanie impulsu nerwowego w kolejnym neuronie. Impuls chemiczny zostaje ponownie zamieniony na impuls elektryczny i kontynuuje swą drogę. Aby uniknąć ciągłego pobudzenia synapsy, cząsteczki mediatora są po pewnym czasie zwrótnie wychwytywane przez receptory na błonie presynaptycznej. Ten sposób przekazywania informacji jest typowy dla najpowszechniejszych synaps **nerwowo-nerwowych**. Poza nimi wyróżnia się jeszcze synapsy **nerwowo-mięśniowe** (w których neuroprzekaźnik trafia w błonę komórkową efektor – mięśnia,

✚ Ciekawostka

W trakcie intensywnego uczenia się po dłuższym czasie maleje **zdolność do zapamiętywania** nowych informacji i do przypominania wiadomości przyswojonych wcześniej. Jest to spowodowane zbyt intensywną eksploatacją synaps i wyczerpaniem się neuroprzekaźnika w pęcherzykach presynaptycznych. W trakcie snu następuje regeneracja neurotransmiterów, w wyniku czego wytworzone poprzedniego dnia łączą synaptyczne między neuronami działają sprawnie, a informacje są bezproblemowo przypominane!

czym pobudza go do skurczu) oraz synapsy **nerwowo-gruczołowe** (w których impuls nerwowy dociera do nabłonka gruczołowego, czym pobudza go do tworzenia wydzieliny).

PODSUMOWANIE

- Podstawowy podział tkanek zwierzęcych wyodrębnia: tkankę nabłonkową, łączną, mięśniową i nerwową.
- Ze względu na pełnione funkcje wyróżnia się nabłonek pokrywający, wydzielniczy i zmysłowy. Z kolei biorąc pod uwagę kształt i wzajemne rozmieszczenie komórek, można wyodrębnić nabłonek jednowarstwowy (płaski, sześcienny, walcowaty i wielorzędowy) lub wielowarstwowy (płaski).
- Tkanka mięśniowa dzieli się funkcjonalnie i morfologicznie na: poprzecznie prążkowaną szkieletową, poprzecznie prążkowaną serca oraz gładką.
- Włókno mięśniowe (komórka mięśniowa) jest silnie wydłużone i zbudowane z licznych, równoległe ułożonych kurczliwych włókienek zwanych miofibrilami.
- Tkanekę nerwową tworzą komórki nerwowe (neurony), które specjalizują się w przewodzeniu impulsów nerwowych, oraz komórki glejowe, które pełnią rolę ochronną i odżywczą.
- Przekazywanie impulsów nerwowych jest możliwe dzięki synapsom (nerwowo-nerwowym, nerwowo-mięśniowym i nerwowo-gruczołowym).



ZADANIA

1. Omów znaczenie osłonki mielinowej oraz przewężenia Ranviera w procesie przewodzenia impulsu nerwowego.
2. W trakcie postępów choroby nazywanej stwardnieniem rozsianym komórki nerwowe ulegają nieodwracalnej demielinizacji. W ciężkich postaciach tej choroby dochodzi do postępującej niepełnosprawności. Korzystając z wiedzy z zakresu fizjologii komórki nerwowej, wyjaśnij, jakie są prawdopodobne przyczyny upośledzenia zdolności motorycznych pacjentów cierpiących na stwardnienie rozsiane.
3. Przeprowadź obserwację mikroskopową mięśnia sercowego. Dlaczego mięsień budujący serce w przeciwieństwie do tkanki mięśniowej poprzecznie prążkowanej szkieletowej jest rozgałęziony?
4. Omów charakter i lokalizację tkanek nabłonkowych u zwierząt.



BIBLIOGRAFIA

Solomon E. P., Berg L. R., Martin D. W., *Biologia*, Multico Oficyna Wydawnicza, Warszawa 2007.



30. Tkanki zwierzęce – tkanka łączna

Głównym zadaniem tkanki łącznej jest utrzymanie spójności pomiędzy wszystkimi typami tkanek i narządami tworzącymi organizm. Tkanka ta zbudowana jest z komórek o zróżnicowanej morfologii. Jej charakterystyczną cechą jest występowanie dużej ilości substancji międzykomórkowej, produkowanej przez komórki zwane **fibroblastami**. Substancja ta składa się głównie z polisacharydów oraz trzech rodzajów włókien białkowych (tworzonych odpowiednio przez: **kolagen**, **elastynę** i **retikulinę**).

Włókna białkowe

Grube **włókna kolagenowe** (klejorodne) stanowią podstawowy składnik tkanki łącznej. Mają olbrzymią odporność na zerwanie, a ich struktura pozostaje niezmieniona w wyniku naprężeń spowodowanych rozciąganiem (u dorosłego człowieka kolagen stanowi blisko 30% masy wszystkich białek ustroju). **Włókna elastynowe** (sprężyste) odznaczają się dużą zdolnością do rozciągania się (nawet o 150%), a z chwilą ustąpienia siły rozciągającej powracają do pierw-

wotnego rozmiaru i kształtu. Trzeci typ włókien to krótkie, delikatne **włókna retikuliny** (siateczkowe), tworzące głównie rusztowanie dla narządów wewnętrznych.

Jest wiele kryteriów klasyfikacji tkanki łącznej. Najpowszechniej przyjęty podział różnicuje ją na trzy główne typy: właściwą, oporową i płynną. O strukturze i funkcjach każdego typu przesądzają przede wszystkim skład i właściwości fizyczne lub chemiczne substancji międzykomórkowej.

Tkanka łączna		
Tkanka łączna właściwa	Tkanka łączna oporowa	Tkanka łączna płynna
zbita wiotka siateczkowata tłuszczowa • żółta • brunatna zarodkowa	chrzęstna kostna	krew limfa

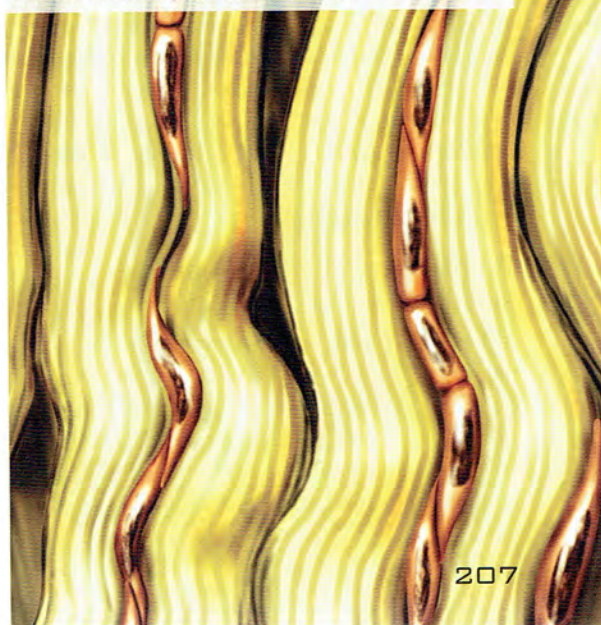
Tkanka łączna właściwa

Najważniejszą cechą tej tkanki jest to, że wchodząca w jej skład substancja międzykomórkowa nie ulega mineralizacji, a komórki wykazują bardzo duże zróżnicowanie morfologiczne. Tkanka ta ma znaczne możliwości regeneracyjne i odgrywa istotną rolę w metabolizmie ustroju.

Tkanka łączna właściwa zbita (zwarta)

W skład jej substancji międzykomórkowej wchodzi wszystkie trzy rodzaje włókien białkowych, z wyraźną dominacją kolagenu. **130.1.1** Dzięki temu tkanka ta jest bardzo wytrzymała, chociaż mało elastyczna. Ze względu na ułożenie włókien białkowych można wyróżnić dwa podtypy tej

30.1. Tkanka łączna właściwa zbita





30.2. Tkanka łączna właściwa wiotka



30.3. Tkanka łączna siateczkowata

tkanki: w tkance łącznej zbitej **nieregularnej** pęczki włókien białkowych są rozmieszczone chaotycznie (ten typ dominuje w skórze właściwej), natomiast w tkance zbitej **regularnej** większość włókien ułożona jest w sposób uporządkowany (ten typ tkanki buduje ścięgna).

Tkanka łączna właściwa wiotka (luźna)

Komórki tej tkanki mają różne kształty i zanurzone są w bardzo dużej ilości substancji międzykomórkowej. **130.2.1** Włókna białkowe występują w niej w równomiernych proporcjach, a co za tym idzie, tkankę tę cechuje duża elastyczność i giętkość. To umożliwia swobodne ruchy sąsiadujących struktur i narządów. Tkanka ta często wypełnia wolne przestrzenie między różnymi częściami ciała, gdzie oprócz pełnienia funkcji mechanicznych magazynuje płyny i sole mineralne. Razem z podskórną tkanką tłuszczową odpowiada za przyczep skóry do mięśni. Tkanką łączną luźną otoczone są naczynia krwionośne oraz włókna nerwowe.

Tkanka łączna właściwa siateczkowata

Jest to najbardziej unaczyniony typ tkanki łącznej. Komórki (głównie fibroblasty) mają kształt gwiaździsty. **130.3.1** Łączą się w przestrzenną sieć, którą wypełnia substancja międzykomórkowa bogata we włókna retikulinoe. Niektóre komórki tej tkanki zachowują zdolność do prze-

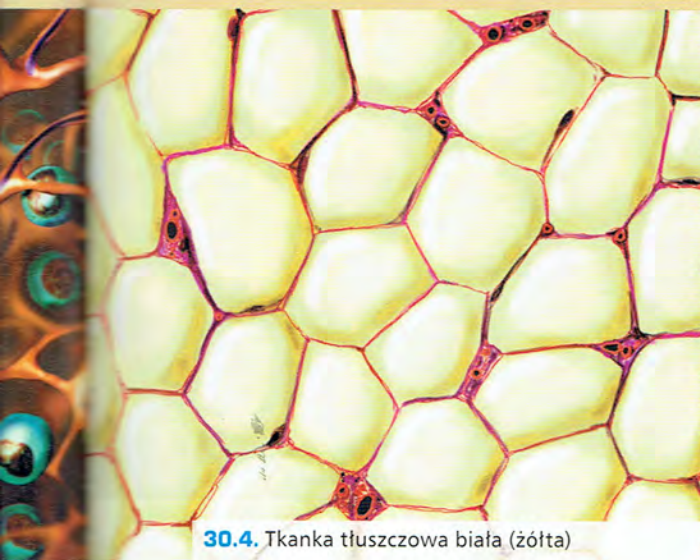
kształcania się w inne komórki tkanki łącznej. Tkanka łączna siateczkowata tworzy zrąb dla grasicy, szpiku kostnego, węzłów chłonnych, jest obecna również w wątrobie, śledzionie, błonie śluzowej macicy oraz w błonie śluzowej jelita (cienkiego i grubego).

Tkanka łączna właściwa tłuszczowa

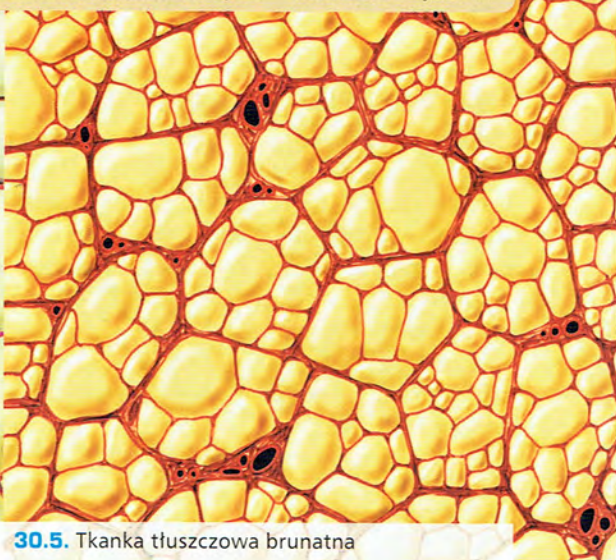
Tkanka tłuszczowa zlokalizowana jest głównie w tkance podskórnej. Zawiera niewielką ilość substancji międzykomórkowej i spełnia wiele istotnych funkcji. Przede wszystkim stanowi rezerwę metaboliczną ustroju. Gdy w porównaniu do bieżących potrzeb organizm otrzymuje wraz z pokarmem nadwyżkę energii, w cytoplazmie komórek tworzących tkankę gromadzone są krople tłuszczu. Uwalnianie tłuszczu następuje wówczas, gdy procesy oddychania komórkowego wymagają większej ilości substancji odżywczych, niż organizm jest w stanie dostarczyć. Poza tym warstwa tłuszczowa pełni również funkcję termoz izolacyjną, gdyż wspomaga skórę w utrzymaniu stałej temperatury ciała. Inną, nie mniej ważną cechą tkanki tłuszczowej jest jej rola w ochronie przed uszkodzeniami mechanicznymi głębiej położonych narządów.

Ze względu na budowę i pełnione funkcje tkankę łączną tłuszczową dzieli się na dwa typy.

Tkanka tłuszczowa biała (żółta) 130.4.1 zwana jest także tkanką jednopęcherzykową (w jej komórkach występuje jedna duża wakuola tłuszczowa). Tkanka ta znajduje się głównie



30.4. Tkanka tłuszczowa biała (żółta)



30.5. Tkanka tłuszczowa brązowa

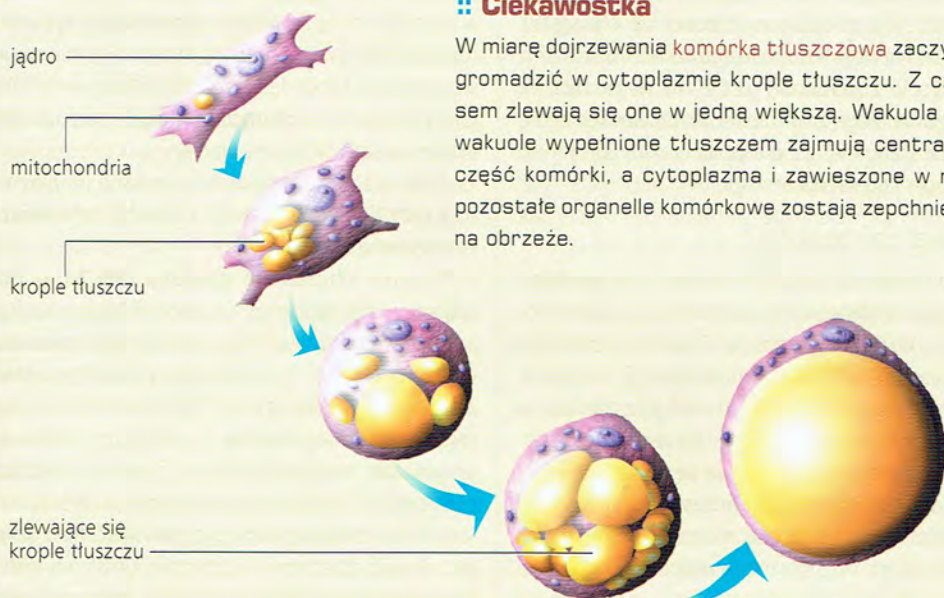
w tkance podskórnej, gdzie pełni rolę magazynu tłuszczu. Występuje również w torebkach tłuszczowych (otaczających np. serce czy nerki), gdzie spełnia funkcję ochronną. Poza tym bierze udział w procesach wytwarzania tłuszczów (lipogeneza) i ich rozkładu (lipoliza).

Tkanka tłuszczowa brązowa [30.5.] zwana jest także tkanką wielopęcherzykową. W jej komórkach znajdują się liczne wakuole tłuszczowe. To tkanka charakterystyczna dla

ssaków. U człowieka spotykana jest u noworodków, a u innych zwierząt głównie wśród gatunków hibernujących, czyli zapadających w sen zimowy (dlatego czasem nazywa się ją gruczołem snu zimowego). U ludzi pojawia się w życiu płodowym (ok. siódmego miesiąca) i utrzymuje w okresie niemowlęcym. Najczęściej zlokalizowana jest w okolicy szyi, klatki piersiowej i nerek. Głównym jej zadaniem jest generowanie ciepła.

:: Ciekawostka

W miarę dojrzewania komórka tłuszczowa zaczyna gromadzić w cytoplazmie krople tłuszczu. Z czasem zlewają się one w jedną większą. Wakuola lub wakuole wypełnione tłuszczem zajmują centralną część komórki, a cytoplazma i zawieszone w niej pozostałe organelle komórkowe zostają zepchnięte na obrzeże.



Proces powstawania dojrzałej komórki tłuszczowej.

Tkanka łączna właściwa zarodkowa

Tkanka ta (nazywana mezenchymą) jest obecna jedynie w okresie zarodkowym. Tworzą ją fibroblasty o kształcie gwiaździstym, **130.6.1** mające charakter komórek totipotencjalnych. Mogą one przekształcać się we wszystkie rodzaje tkanek łącznych (np. tkankę kostną, tkankę chrzęstną) oraz w tkankę mięśniową, w tym komórki mięśnia sercowego. Charakterystyczną cechą substancji międzykomórkowej tej tkanki jest brak włókien białkowych.



30.6. Tkanka łączna właściwa zarodkowa

:: Ciekawostka

Brunatna tkanka tłuszczowa występuje u zwierząt zapadających w sen zimowy. U gatunków hibernujących jest gromadzona jesienią, występuje w dużych ilościach i pozostaje obecna przez całe życie. Podczas hibernacji naturalnej temperatura ciała spada do około 5°C na okres nawet do kilkunastu tygodni, co jest warunkiem przetrwania bez pobierania pokarmu. Zwierzę energię do życia czerpie z zapasów tłuszczu nagromadzonego w tkance tłuszczowej brunatnej. Wykorzystuje ją też do szybkiego ogrzania ciała w czasie wybudzenia, gdy temperatura otoczenia przekroczy wartość progową.

Tkanka łączna oporowa

Szkielet osiowy stanowiący podporę ciała kręgowców może być zbudowany z **kości** lub **chrząstki**. Na etapie rozwoju zarodkowego szkielet wszystkich kręgowców zbudowany jest z tkanki chrzęstnej, a następnie ulega zastąpieniu przez tkankę kostną (wyjątek stanowią np. płaszczki i rekiny, u których występuje szkielet chrzęstny).

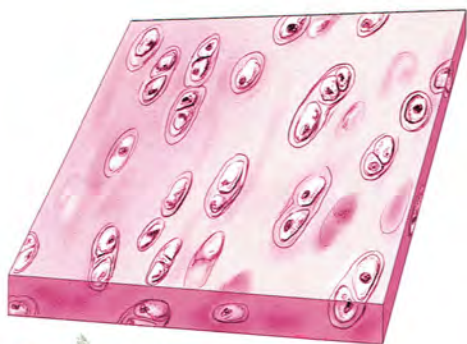
Tkanka chrzęstna

Tkanka chrzęstna występuje w organizmie wszędzie tam, gdzie konieczne jest połączenie funkcji podporowych z dużą elastycznością. Charakterystyczną jej cechą jest brak unerwienia i unaczynienia. Odżywianie komórek zachodzi na drodze dyfuzji z otaczającej ją tkanki **ochrzęstnej**. Komórki chrzęstne noszą nazwę **chondrocytów**. Znajdują się w pustych przestrzeniach (tzw. **jamkach chrzęstnych**) substancji międzykomórkowej noszącej nazwę **chondryny**. Jedną jamkę chrzęstną może zajmować od jednego do kilku chondrocytów, które wówczas tworzą strukturę funkcjonalną zwaną **chondronem**.

Chondrocyty mają zdolność do przekształcania się w komórki chrząstkogubne (**chondroklasty**), które rozpuszczają i przebudowują chrząstkę w miejscu jej uszkodzenia. Mogą też przekształcać się w komórki chrząstkotwórcze (**chondroblasty**), które uzupełniają powstały w tkance ubytek.

Pod względem budowy można wyróżnić trzy typy tkanki chrzęstnej: **szklistą**, **włóknistą** i **sprężystą**.

Tkanka chrzęstna szklista **130.7.1** w początkowych etapach okresu zarodkowego buduje szkielet kręgowców, a następnie ulega stopniowej mineralizacji (u człowieka proces ten trwa do około 20. roku życia). W postaci niezmienializowanej znajduje się w chrząstce nosowej, przymostkowych połączeniach żeber, chrzęstnych pierścieniach tchawicy oraz tworzy powierzchnie stawowe. Wykazuje dużą odporność na ścieranie, dzięki obecności licznych skupisk komórek (chondronów) i cienkich włókien kolagenowych w substancji komórkowej.



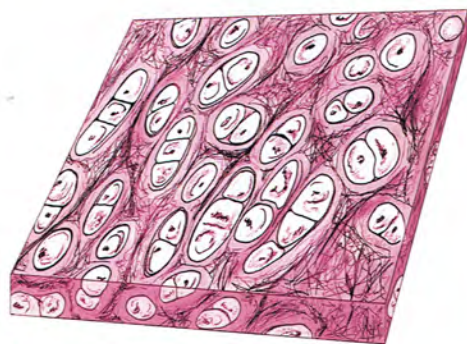
30.7. Tkanka chrzęstna szklista

Tkanka chrzęstna sprężysta [30.8.1] w przeciwieństwie do tkanki szklistej nie ulega procesowi mineralizacji, a w substancji międzykomórkowej dominują włókna elastynowe tworzące przestrzenną sieć. Tkanka ta buduje małżowinę uszną, przewód słuchowy i trąbkę Eustachiusza, jak również wchodzi w skład chrząstek obecnych w krtani.

Tkanka chrzęstna włóknista [30.9.1] w przeciwieństwie do pozostałych typów tkanki chrzęstnej zawiera bardzo niewiele substancji międzykomórkowej składającej się głównie z grubych pęczków włókien kolagenowych. Wykazuje wysoką odporność na zerwanie i odkształcenia mechaniczne. Występuje m.in. w spojeniu tonowym, w miejscu przyczepu ścięgien do kości oraz krążkach międzykręgowych.

Tkanka kostna

Jest to podstawowa tkanka budująca szkielet wewnętrzny kręgowców. Podobnie jak w tkance chrzęstnej występuje w niej duża ilość substancji międzykomórkowej (zwanej **osseiną**). W przeciwieństwie do tkanki chrzęstnej w tkance kostnej występują liczne naczynia krwionośne i nerwy przebiegające wewnątrz tak zwanych **kanałów Haversa**. Dojrzałe komórki kostne noszą nazwę **osteocytów**, zlokalizowane są w jamkach kostnych i mają dendrytyczne wypustki zapewniające kontakt z naczyniami włosowatymi. Osteocyty tworzą struktury zwane **blaszkami kostnymi**. Wrzecionowaty zespół wielu koncentrycznie ułożonych blaszek kostnych otaczających kanał Haversa stanowi podstawową jednostkę budulcową tkanki kostnej, czyli **osteon**. Poza osteocytami w tkance kostnej występują również wielojądrowe



30.8. Tkanka chrzęstna sprężysta



30.9. Tkanka chrzęstna włóknista

we komórki kościogubne (**osteoklasty**), mające zdolność rozpuszczania elementów tkanki kostnej, oraz komórki kościotwórcze (**osteoblasty**). Dzięki nim tkanka kostna może rosnąć, zmieniać swój kształt pod wpływem działających na szkielet sił oraz regenerować się po uszkodzeniu. Związki wapnia mineralizujące substancję międzykomórkową nadają tkance bardzo dużą twardość, podczas gdy obecność włókien kolagenowych pozwala zachować odpowiednią odporność na złamanie.

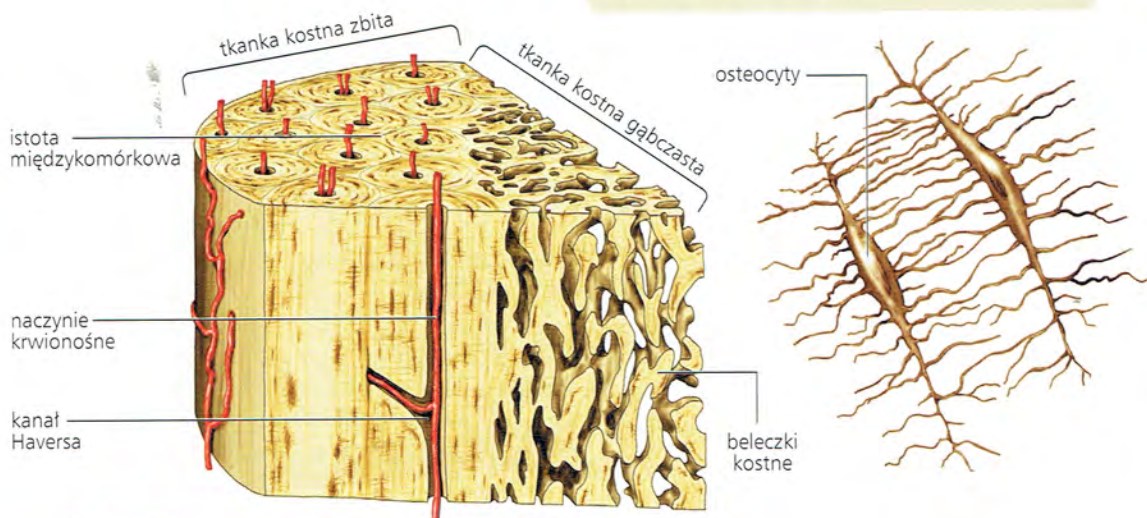
Wyróżnia się dwa typy tkanki kostnej: **zbitą** i **gąbczastą**. [30.10.1] Schemat budowy osteonu otaczającego kanał Haversa opisany powyżej jest charakterystyczny właśnie dla tkanki zbitą, która znajduje się głównie w trzonach kości długich oraz w zewnętrznej warstwie kości płaskich.

Tkanka kostna gąbczasta zbudowana jest z blaszek kostnych. Tworzą one beleczki kostne, pomiędzy którymi występują liczne wolne przestrzenie. Wbrew pozorom taki układ sieci tkankowej dobrze amortyzuje nawet duże obciążenia, dlatego też ten typ tkanki kostnej występuje w nasadach kości długich. W środkowej części kości (zwłaszcza

cza kości długich) znajduje się jama szpikowa, również zbudowana przez tkankę kostną gąbczastą i wypełniona szpikiem kostnym czerwonym, odpowiadającym za produkcję krwinek białych i czerwonych. Z czasem szpik ten może zostać zastąpiony w całości lub częściowo przez związki tłuszczowe, staje się wtedy szpikiem żółtym.

:: Ciekawostka

Szkielet wewnętrzny jest cechą nie tylko zwierząt kręgowych. Niektóre głowonogi posiadają zaczątki **tkanki chrzęstnej** w postaci chrząstki głowowej (ochraniającej zwoje głowowe), chrząstki szyjnej (zlokalizowanej w okolicy worka trzewiowego) oraz chrząstki lejkowej (w okolicy lejka).



Przedstaw różnice w budowie tkanki kostnej zbitą i tkanki kostnej gąbczastej.

30.10. Tkanka kostna zbita i gąbczasta

Tkanka łączna płynna

Do tkanek łącznych należą również **krew** i **limfa**, różniące się od pozostałych tkanek tej grupy tym, że wchodząca w ich skład substancja międzykomórkowa ma charakter płynny. Cechą dodatkowo wyróżniającą krew i limfę jest to, że jak żadne inne tkanki łączne pełnią wyraźnie integracyjną funkcję wobec nieraz bardzo odległych tkanek i narządów, dzięki czemu utrzymują spójność organizmu.

Krew

Nie u wszystkich zwierząt krew ma taki sam skład jak u kręgowców (np. u mięczaków i stawonogów występuje **hemolimfa**, nierozróżnialna od chłonki). Mimo to u większości organizmów zwierzęcych (w tym wszystkich kręgowców) podstawową funkcją krwi jest transport tlenu i dwutlenku węgla do i z tkanek. Nośnikiem tlenu są substancje białkowe zwane barwnikami oddechowymi (np. u kręgowców jest to czer-

wona **hemoglobina**, u wieloszczetów – zielona **chlorokruoryna**, a u stawonogów i mięczaków – niebieska **hemocyjanina**). U niektórych zwierząt krew nie pełni jednak funkcji oddechowych, gdyż odpowiada za to układ tchawkowy (np. u owadów). Krew transportuje również zbędne lub szkodliwe produkty przemiany materii do układu wydalniczego, utrzymuje równowagę osmotyczną organizmu, umożliwia przemieszczanie hormonów z miejsca wydzielania do tkanek docelowych. Inną ważną funkcją krwi jest funkcja termoregulacyjna (czyli utrzymywanie stałej temperatury ciała u zwierząt stałocieplnych dzięki rozprowadzaniu ciepła po całym organizmie) oraz tworzenie mechanizmów obronnych organizmu.

We krwi kręgowców obecne są komórki krwi noszące nazwę **elementów morfotycznych**. Wśród nich wyróżnia się **erytrocyty** (krwinki

czerwone), leukocyty (krwinki białe) oraz trombocyty (płytki krwi). Zanurzone są one w płynnej substancji międzykomórkowej – **osoczu**.

Osocze to żółtawy roztwór, którego głównym składnikiem jest woda, odpowiadająca za rozpuszczanie substancji transportowanych przez krew. W skład osocza wchodzi również białka: albuminy (odpowiadają za utrzymanie ciśnienia osmotycznego i pH krwi) fibrynogen (bierze udział w procesie krzepnięcia krwi), globuliny (biorą udział w reakcjach odpornościowych, transporcie witamin i hormonów). W osoczu rozpuszczone są kwasy tłuszczowe, glukoza, mocznik, enzymy i związki nieorganiczne (jony sodu, potasu, chloru, wapnia, magnezu).

Erytrocyty (krwinki czerwone) **30.11.1** to wypełnione **hemoglobina** komórki specjalizujące się w transporcie tlenu. Krwinki czerwone ssaków są pozbawione jądra i aparatu Golgiego, mają kształt dwuwklęsłego dysku i nie są zdolne do podziałów (dlatego żyją stosunkowo krótko, ok. 120 dni). Erytrocyty ssaków pod tym względem są wyjątkowe, gdyż krwinki czerwone pozostałych gromad kręgowców mają jądro, mają kształt owalny i żyją znacznie dłużej (np. erytrocyty żaby nawet dwa lata). Niezależnie od gromady zwierząt i budowy morfologicznej erytrocyty powstają w szpiku kostnym, a ich rozpad zachodzi w śledzionie.

Leukocyty (krwinki białe) to pod względem morfotycznym dość zróżnicowana grupa krwinek. Są znacznie większe od erytrocytów, nie zawierają barwników oraz posiadają komplet organelli komórkowych (w tym duże, zajmujące większą część komórki i nierzadko podzielone na kilka fragmentów jądro). W przeciwieństwie do krwinek czerwonych leukocyty posiadają zdolność ruchu i przenikania przez ściany naczyń krwionośnych. Leukocyty powstają głównie w szpiku kostnym. Ich wyraźne zróżnicowanie morfologiczne stało się podstawą podziału na dwie grupy: ziarnistych granulocytów i niezziarnistych agranulocytów.

Granulocyty charakteryzują się występowaniem w cytoplazmie licznych ziarnistości. Ich jądro komórkowe jest wielopłatowe (podzielone na segmenty). Wytwarzane są w czerwonym szpiku kostnym. Wśród granulocytów można wyróżnić trzy grupy.



30.11. Erytrocyty

:: Ciekawostka

Uważa się, że u wszystkich ssaków dojrzałe **erytrocyty** są komórkami pozbawionymi jądra komórkowego. Okazuje się jednak, że daniela, wielbłądy oraz lamy mają krwinki czerwone, w których obecne jest jądro komórkowe.



Neutrofile [30.12.1] (granulocyty obojętnochłonne) są najważniejszymi komórkami **fagocytykującymi** krwi. Mają kulisty kształt, a ich charakterystyczną cechą jest podzielone na 2 do 5 segmentów jądro komórki. Neutrofile stanowią około 60% wszystkich krwinek białych. Specjalizują się głównie w unieszkodliwianiu i pochłanianiu bakterii oraz odpowiadają za rozwój stanu zapalnego toczącego się w obszarze pozanaczyniowym (mają zdolność opuszczania naczyń krwionośnych). W ich ziarnistościach znajdują się enzymy trawiące pochłonięte patogeny.

Eozynofile (granulocyty kwasochłonne) [30.13.1] stanowią jedynie około 1–5% leukocytów (wartość ta zmienia się w zależności od różnych czynników, takich jak np.: stres, pora dnia, wysiłek fizyczny). Ziarnistości tych granulocytów barwią się na kolor czerwony podczas barwienia eozyną, mającą odczyn kwaśny. Eozynofile mają zdolność poruszania się ruchem pęzłakowatym, a wzrost ich liczby towarzyszy głównie stanom alergicznym, zakażeniom pasożytniczym oraz bakteryjnym.

Bazofile (granulocyty zasadochłonne) [30.14.1] stanowią jedynie 0,5% wszystkich krwinek białych. Cała komórka wypełniona jest ziarnistościami zasadochłonnymi, barwiącymi się na ciemnofioletowo. Bazofile są zdolne do fagocytozy, pomimo iż jako jedyne z granulocytów nie wykazują zdolności ruchu. Pełnią funkcje obronne i uczestniczą w rozwoju reakcji

alergiczných. Wydzielają histaminę (w reakcjach alergiczných) i heparynę (hamującą proces krzepnięcia krwi).

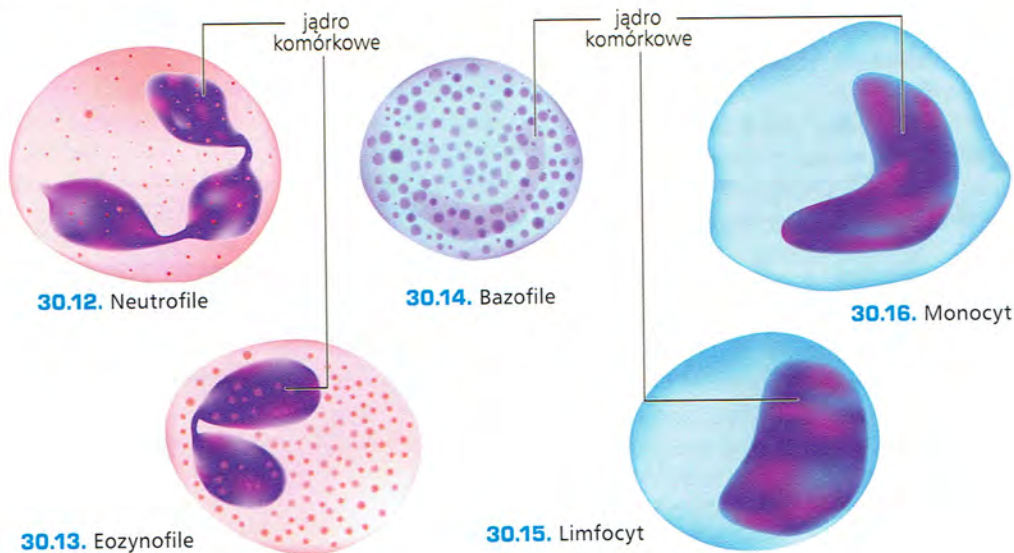
Agranulocyty w odróżnieniu od granulocytów nie mają ziarnistości cytoplazmatycznych. Ich jądro jest duże, kuliste (niekiedy wypełnia niemal całą komórkę), choć może mieć też kształt nerkowaty. Agranulocyty dzieli się na **limfocyty** i **monocyty**.

Limfocyty [30.15.1] stanowią od 25 do 35% wszystkich leukocytów. Wyróżnia się:

- **limfocyty T (grasicozależne)**, które dojrzewają w grasicy, a ich funkcją jest modyfikacja przebiegu odpowiedzi immunologicznej; żyją do kilku lat;
- **limfocyty B (szpikozależne)**, które powstają i dojrzewają w szpiku kostnym i są odpowiedzialne głównie za produkcję przeciwciał; żyją krótko, przeważnie do 10 dni (wyjątkiem są tzw. limfocyty pamięci immunologicznej).

:: Ciekawostka

Limfocyty NK (z ang. *natural killers*) to komórki, które są zdolne do zabijania komórek organizmu zakażonych wirusem lub zmieniających się w wyniku procesu nowotworowego. Różnicują się w szpiku kostnym, po aktywacji stają się limfocytami cytotoksycznymi. Zostały odkryte z lat siedemdziesiątych XX wieku.



Monocyty [30.16.1] należą do komórek żer-nych, powstają najczęściej w szpiku kostnym i są największymi leukocytami. Stanowią około 6% wszystkich białych krwinek. Dojrzałe monocyty nazywa się **makrofagami**. Mają one zdolność do wydostawania się poza światło naczyń krwionośnych i do ruchu pęzakuwatego. Są także zdolne do fagocytozy i produkcji białka, które spowalnia namnażanie się wirusów w komórkach.

Trombocyty (płytki krwi) [30.17.1] to najmniejsze spośród elementów morfotycznych krwi. Podobnie jak erytrocyty ssaków nie mają jądra komórkowego. Powstają w wyniku fragmentacji dużych komórek zwanych **megakariocytami**. Żyją do 2 tygodni, a ich rozpad następuje w śledzionie. Ich główną funkcją jest utrzymanie ciągłości naczyń krwionośnych i udział w procesie krzepnięcia krwi.

Limfa (chłonka)

Chłonka powstaje jako przesącz z naczyń włosowatych. Skład limfy pod wieloma względami przypomina osocze krwi pozbawione elementów morfotycznych (głównie erytrocytów i trombocytów). W chłonce znajdują się natomiast duże ilości **leukocytów** (transportowanych do węzłów chłonnych) oraz tłuszczów pokarmowych (nadających limfie żółtawe zabarwienie). Naczynia, którymi płynie limfa, to naczynia limfatyczne. Chłonka zawiera duże ilości wody, soli mineralnych i białek. Rozprowadza też po organizmie limfocyty zabierane z węzłów chłonnych oraz bierze udział w transporcie tłuszczów pokarmowych.

30.17. Trombocyty

PODSUMOWANIE

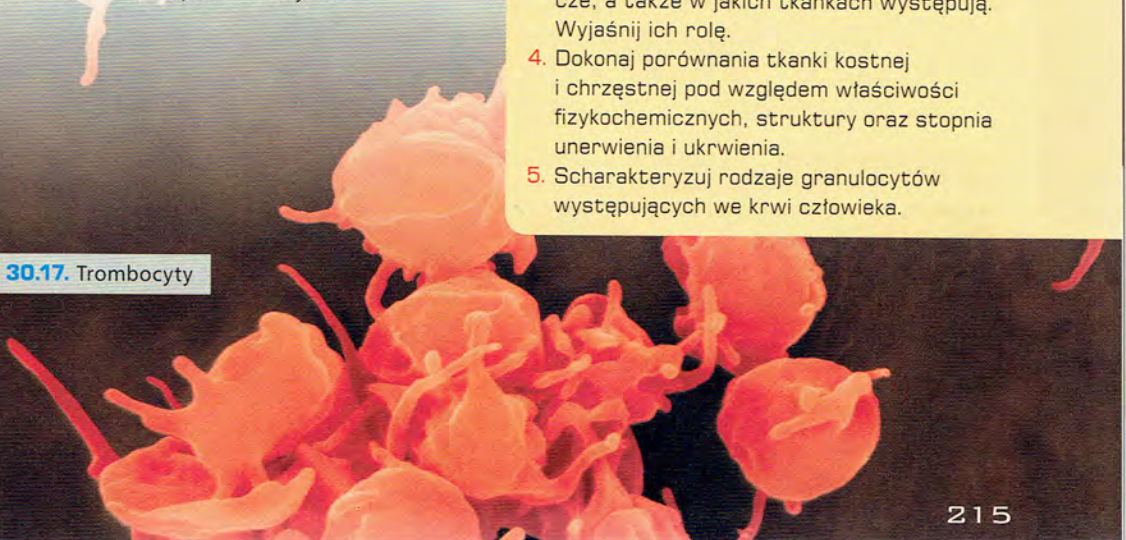


- Podstawową funkcją tkanki łącznej jest ostona i podpora narządów, a także zapewnienie łączności pomiędzy tkankami. Ze względu na właściwości budującej tkankę łączną substancji międzykomórkowej dzieli się ją na: właściwą, oporową i płynną.
- Substancja międzykomórkowa tkanki łącznej właściwej nie ulega mineralizacji, a komórki cechuje duże zróżnicowanie morfologiczne. Dlatego wyróżnia się tkankę łączną właściwą: zbitą, wiotką, siateczkowatą, tłuszczową i zarodkową.
- Tkankę łączną oporową dzieli się na chrzęstną (szklistą, włóknistą i sprężystą) i kostną (zbitą i gąbczastą). Komórki chrzęstne to chondrocyty, a komórki kostne to osteocyty.
- Krew i limfa (chłonka) to typy tkanki łącznej płynnej. U większości organizmów zwierzęcych jednym z podstawowych zadań krwi jest transport tlenu i dwutlenku węgla do i z komórek. Umożliwiają to erytrocyty będące (obok leukocytów, trombocytów i osocza) jednym ze składników krwi.

ZADANIA



1. Scharakteryzuj rodzaje tkanki tłuszczowej występującej u zwierząt.
2. Określ typ tkanki łącznej stanowiącej rezerwę energetyczną organizmu. Opisz, w jakich warunkach i w jaki sposób dochodzi do utworzenia tej rezerwy oraz kiedy zostaje ona uwolniona.
3. Określ, co wspólnego mają osseina i osocze, a także w jakich tkankach występują. Wyjaśnij ich rolę.
4. Dokonaj porównania tkanki kostnej i chrzęstnej pod względem właściwości fizykochemicznych, struktury oraz stopnia unerwienia i ukrwienia.
5. Scharakteryzuj rodzaje granulocytów występujących we krwi człowieka.



Zadanie 1. (2 pkt)

Oceń poprawność poniższych zdań. Wpisz obok każdego literę **P** (prawda) lub **F** (fałsz).

Włókna nerwowe rdzenne przewodzą impulsy z prędkością około 4 m/s.	
Krótkie wypustki komórki nerwowej zwane neurytami odpowiadają za przekazywanie impulsu do ciała komórki nerwowej.	
Tkanka łączna zawiera niewielką ilość substancji międzykomórkowej i składa się z komórek ściśle do siebie przylegających.	
Nabłonek wielowarstwowy płaski jest najbardziej zewnętrzną warstwą skóry człowieka.	
Tkanka mięśniowa poprzecznie prążkowana serca ma zdolność do skurczu autonomicznego, czyli odbywającego się bez udziału świadomości.	

Zadanie 2. (2 pkt)

We włóknach mięśni poprzecznie prążkowanych szkieletowych występuje wiele jąder komórkowych.

Oceń, jakie znaczenie ma ten fakt dla komórek mięśniowych. Podaj nazwę procesów, które mogły doprowadzić do powstania syncytium w obrębie komórki mięśniowej.

Zadanie 3. (1 pkt)

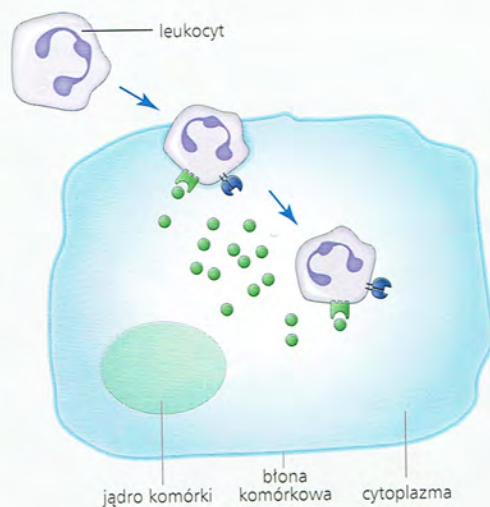
Neurony rdzeniowe wyposażone w osłonkę mielinową przewodzą impulsy nerwowe znacznie szybciej niż neurony bezrdzenne, pozbawione mieliny. Stwardnienie rozsiane jest poważną chorobą neurodegeneracyjną. Jej mechanizm polega na zmianach w obrębie aksonów komórek nerwowych prowadzących do zaniku ich osłonki mielinowej. Do dziś nie udało się opracować leku na tę chorobę, jak również wyjaśnić do końca mechanizmów demielinizacji. Następstwem choroby są nieodwracalne zmiany w układzie nerwowo-mięśniowym, które początkowo prowadzą do inwalidztwa, a ostatecznie do śmierci.

Wyjaśnij mechanizm prowadzący do osłabienia mięśniowego w przebiegu stwardnienia rozsianego.

Zadanie 4. (2 pkt)

Rysunek obok ukazuje pewną właściwość leukocytów.

Napisz, co to za właściwość, i wyjaśnij, jakie może mieć znaczenie dla organizmu.



Zadanie 5. (2 pkt)

Wyjaśnij, na czym polegają procesy strobilizacji i pączkowania.

Strobilizacja

Pączkowanie

Zadanie 6. (2 pkt)

Dopasuj terminy z lewej kolumny (A–D) do właściwych definicji z prawej kolumny (1–5).

- | | |
|--------------------|--|
| A. komórki glejowe | 1. komórki chrząstki, wydzielające substancję międzykomórkową |
| B. chondrocyty | 2. fragmenty komórek, odgrywające istotną rolę w procesie krzepnięcia krwi |
| C. miofibryle | 3. komórki odżywiające neurony |
| D. kolagen | 4. drobne podłużne włókienka w komórce mięśniowej |
| | 5. podstawowy element substancji komórkowej tkanki łącznej |

Zadanie 7. (2 pkt)

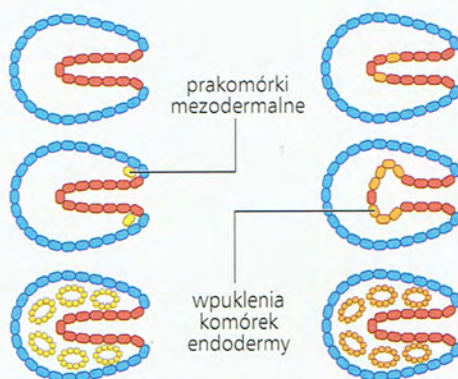
Przyporządkuj podanym rodzajom rozmnażania bezpłciowego (A–D) odpowiadające im gatunki zwierząt (1–5).

- | | |
|------------------|---------------------|
| A. podział | 1. wyptawek biały |
| B. strobilizacja | 2. wirek |
| C. pączkowanie | 3. ślimak winniczek |
| D. regeneracja | 4. chełbia modra |
| | 5. gąbka |

Zadanie 8. (2 pkt)

Na rysunku przedstawiono różne mechanizmy powstawania trzeciego listka zarodkowego u pierwoustych i wtóroustych. Mimo że ich geneza jest diametralnie różna, to u wszystkich trójwarstwowców z trzeciego listka zarodkowego powstają te same struktury (organy).

Wyjaśnij na podstawie analizy rysunku i własnej wiedzy, jakie jest pochodzenie komórek rozpoczynających proces tworzenia trzeciego listka zarodkowego u wymienionych grup zwierząt.

**Zadanie 9. (3 pkt)**

Skonstruuj tabelę i umieść w niej wymienione poniżej narządy zgodnie z listkiem zarodkowym, z którego się wywodzą.

siatkówka oka, skóra właściwa, trzustka, kora nadnerczy, owodnia, serce, tarczycza, nerki, jądra, jajniki, kość, kosmówka, chrząstka, rdzeń nadnerczy, krew, wątroba, przytarczycze, grasicza, naskórek, pęcherzyk żółtkowy, struna grzbietowa, omocznia

Zadanie 10. (3 pkt)

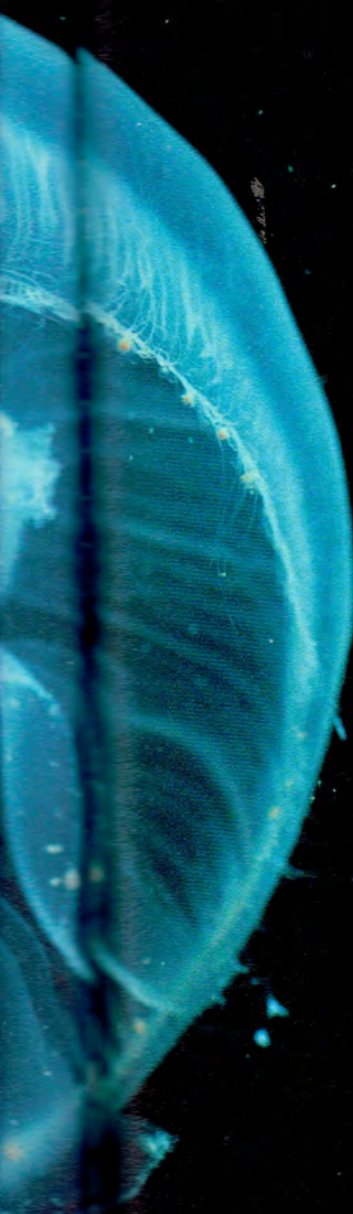
Szczytowym osiągnięciem ewolucyjnym w zakresie embriogenezy jest wytworzenie łożyska spotykanego wyłącznie u ssaków łożyskowych. Narząd ten zapewnia przede wszystkim stałą łączność i wymianę substancji pomiędzy matką a płodem.

Odpowiedz na podane niżej pytania.

- A. Jaką inną funkcję poza wymienioną powyżej spełnia łożysko?
 B. Jakie elementy biorą udział w tworzeniu łożyska ze strony płodu i ze strony matki?

Ze strony płodu:

Ze strony matki:



PRZEGLĄD RÓŻNORODNOŚCI ORGANIZMÓW – ZWIERZĘTA BEZKRĘGOWE

- 31|Budowa i funkcje życiowe gąbek
- 32|Budowa i systematyka parzydełkowców
- 33|Funkcje życiowe i znaczenie parzydełkowców
- 34|Budowa płazińców
- 35|Przegląd pasożytniczych płazińców
- 36|Budowa nicieni
- 37|Rozmnażanie i przegląd pasożytniczych nicieni
- 38|Budowa i funkcje życiowe pierścienic
- 39|Przegląd systematyczny i znaczenie pierścienic
- 40|Budowa zewnętrzna stawonogów
- 41|Budowa wewnętrzna stawonogów
- 42|Rozmnażanie i rozwój owadów
- 43|Przegląd systematyczny i znaczenie stawonogów
- 44|Budowa i funkcje życiowe mięczaków
- 45|Przegląd systematyczny i znaczenie mięczaków
- 46|Budowa i czynności życiowe szkarłupni
- 47|Pochodzenie i linie rozwojowe strunowców
- 48|Charakterystyka strunowców na przykładzie lancetnika
- 49|Ogólna charakterystyka i pochodzenie kręgowców

31. Budowa i funkcje życiowe gąbek

Gąbki (*Porifera*) to typ beztkankowych zwierząt o prymitywnej budowie, zamieszkujących wyłącznie środowisko wodne. Prowadzą osiadły tryb życia, często tworzą kolonie. W erze paleozoicznej stanowiły podstawowy składnik tak zwanych raf gąbkowych (typowe rafy koralowe jeszcze wówczas nie istniały); obecnie ich udział w tworzeniu raf jest niewielki. Jak dotąd opisano blisko 9000 gatunków gąbek zamieszkujących głównie ciepłe, płytkie morza (jedynie ok. 150 żyje w wodach słodkich). Filogenetycznie gąbki są grupą bardzo starą (ślady ich szkieletów znajdowane są w pokładach sprzed nawet 600 mln lat), jednak od momentu powstania niewiele się zmieniły. Spośród 1000 opisanych rodzajów znalezionych w osadach kopalnych aż 20 jest identycznych z dziś występującymi.

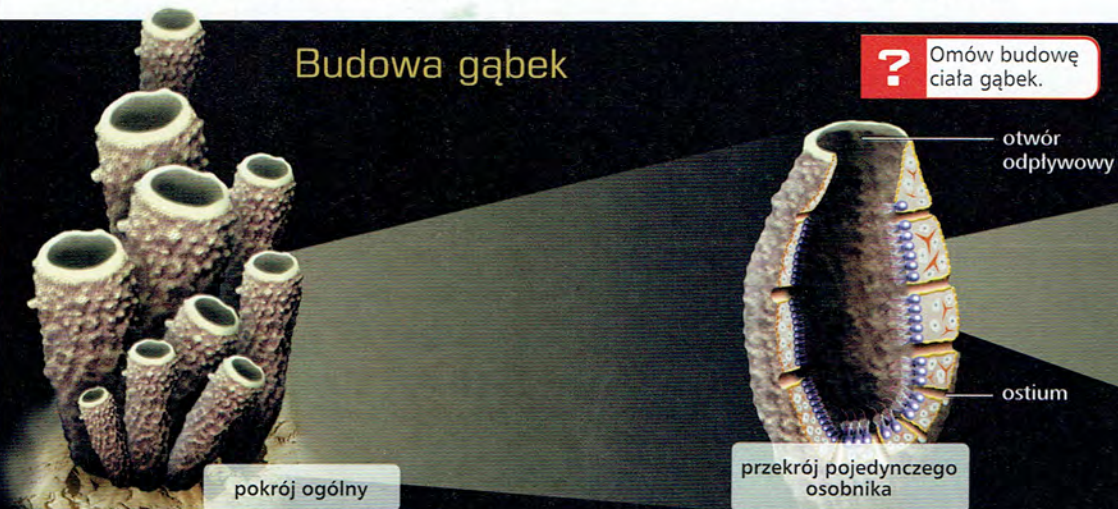
Budowa ciała gąbek

Wielkość ciała gąbek jest bardzo zróżnicowana (od 1 mm do 1 m). Morfologicznie przypomina ono wydłużoną workową rurę z otworem skierowanym ku górze. Młode gąbki cechuje promienista symetria ciała, a osobniki starsze, zwłaszcza formy kolonijne, wykazują nieregularność osi symetrii. Na szczycie ciała znajduje się otwór wyrzutowy – **oskulum** (*osculum*), a wewnątrz ciała zajmuje **jama paragastralna** zwana **spongocelem**. Nie jest ona odpowiednikiem jamy trawiennej organizmów tkankowych, gdyż nie zachodzi w niej proces trawienia. Woda wpływa do wnętrza jamy przez liczne otwory w ścianach gąbki zwane **ostiami**. Mogą mieć one różną średnicę (np. u gąbek o prostszej budowie występują komórki o rurkowatym kształcie przebijające wszystkie warstwy ciała, tzw. **porocyty**, których otwory wylotowe są raczej niewielkie).



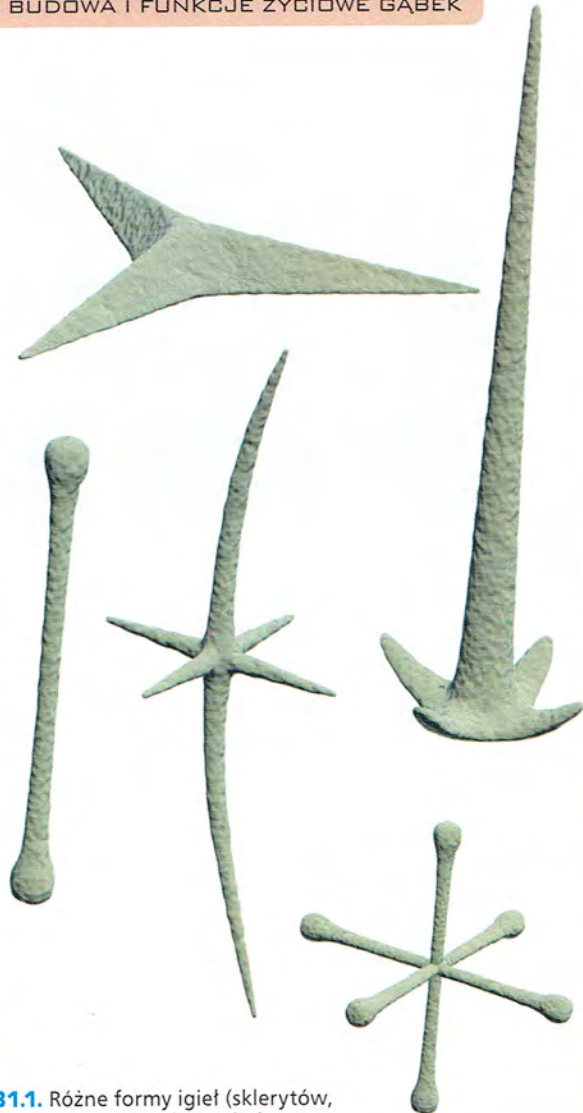
Z jamy paragastralnej woda wypływa otworem wyrzutowym. Ciało gąbek pokryte jest **pinakodermą** (warstwą okrywającą) tworzoną przez płaskie komórki zwane **pinakocytami**.

Budowa gąbek

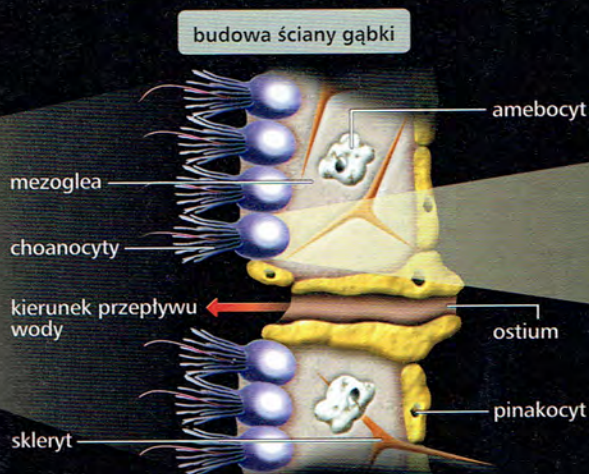


Wnętrze jamy paragastralnej wyścięta tak zwana **choanoderma** zbudowana z **choanocytów** (komórek kołnierzykowych). Każda z tych komórek jest zaopatrzona w kołnierz zbudowany ze zrośniętych mikrokosmków. Otacza on nasadę długiej wici, której ruch wywołuje przepływ wody przez ciało gąbki. W jego trakcie na kołnierzykach choanocytów osiada zawiesina organiczna złożona głównie z planktonu. Jest ona następnie wchłaniana na drodze fagocytozy. Choanocyty mają olbrzymią wydajność: są w stanie w ciągu minuty przepompować objętość wody równą objętości ciała gąbki!

Opisując budowę gąbek, nie używa się terminów „ektoderma” i „endoderma”, ponieważ warstwy tworzące ciało tych zwierząt nie mają charakteru listków zarodkowych (przemieszczające się między warstwami komórki pinakodermy i choanodermy rzadko zachowują stałe położenie). Pomiędzy warstwą okrywającą a wyścielającą znajduje się zróżnicowana co do grubości warstwa **mezoglei**, przypominającej nieco półpłynną tkankę łączną. Zawiera ona nieliczne **amebocyty** (komórki odpowiedzialne za zbieranie zbędnych produktów przemiany materii i trawienie pokarmu), **archeocyty** (biorące udział w rozmnażaniu i regeneracji) oraz **sklerocyty** (komórki wytwarzające igły – skleryty). **31.1.1** Półpłynna substancja pozakomórkowa zawiera włókna kolagenowe oraz, wytwarzane przez sklerocyty, elementy wzmacniające zbudowane z węgla wapnia lub krzemionki (gąbki to jedyne organizmy wielokomórkowe potrafiące wykorzystywać krzemionkę jako materiał wzmacniający).

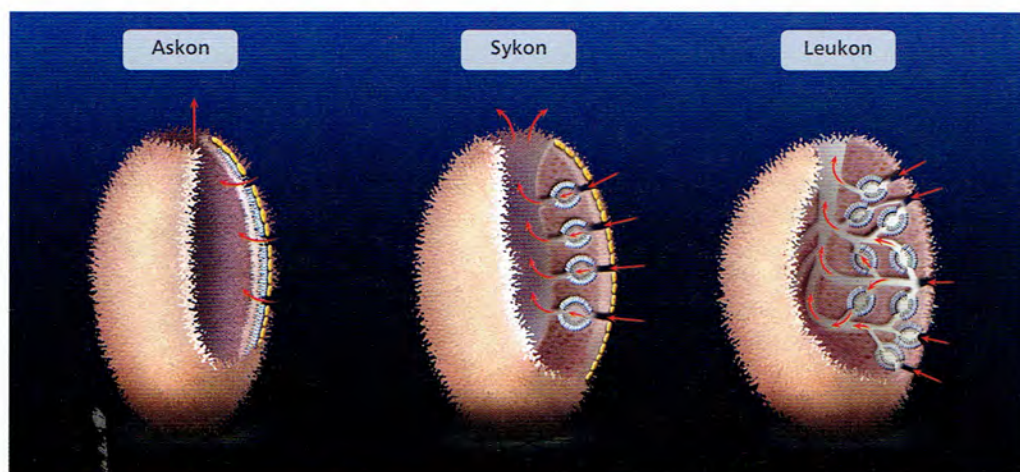


31.1. Różne formy igieł (sklerytów, spikul) spotykanych u gąbek



komórka kołnierzykowa





31.2. Formy morfologiczne gąbek

Formy morfologiczne i przegląd systematyczny gąbek

Wyróżnia się trzy podstawowe formy morfologiczne gąbek: askon, sykon i leukon. [31.2.]

Askon to forma najprymitywniejsza. Posiada obszerną jamę paragastralną, w której na wewnętrznej stronie zlokalizowane są choanocyty. Ostia są proste, szerokie i niepokryte choanocytami. **Sykon** to forma bardziej złożona. Pogrubieniu ulega warstwa mezoglei, a jama paragastralna zajmuje mniejszą przestrzeń. Na jej wewnętrznej powierzchni nie ma choanocytów, które za to są obecne w specjalnych rozszerzonych **komorach przepływowych**. **Leukon** to najbardziej zaawansowany typ morfologiczny gąbek. Cechuje się olbrzymią ilością komór przepływowych za-

opatrzonych w choanocyty. Komory te tworzą skomplikowaną sieć nadającą ciału zwierzęcia **gąbczastą strukturę**. Objętość spongocelu ulega dalszej redukcji, a na jego powierzchni nie występują choanocyty (podobnie jak w budowie typu sykon).

Gąbki dzielimy na trzy główne gromady: gąbki krzemionkowe (szklane), pospolite i wapienne.

Gąbki krzemionkowe, szklane (*Hexactinellida*)

Osiągają wielkość od 5 centymetrów do nawet 1,2 metra. Mogą występować w postaci **sykonu** lub **leukonu**. Zawierają liczne i duże igły (spikule) zbudowane z krzemionki i tworzące skomplikowane kształty przypominające kielichy lub wazony. Przedstawicielem jest koszycek Wenery (gąbka ta bywa wykorzystywana jako element dekoracyjny).

GLÓWNE GRUPY GĄBEK

Krzemionkowe (szklane)



• Koszycek Wenery (*Euplactella speciosa*)

Pospolite



• Nadechnik stawowy (*Spongilla lacustris*)

Wapienne



• *Sycon ciliatum*

Gąbki pospolite (*Demospongiae*)

Gromada ta obejmuje większość znanych gatunków gąbek. Występują we wszystkich typach wód (słonych i słodkich). Dojrzałe osobniki, mogące osiągać olbrzymie rozmiary, cechuje budowa typu **leukon**. Większość gatunków ma szkielety zbudowane z igieł krzemionkowych oraz substancji białkowej (**sponginy**). Spotykane są również gatunki całkowicie pozbawione elementów szkieletowych. Przedstawicielem pospolitych gąbek słodkowodnych występujących w Polsce jest nadechnik stawowy.

Gąbki wapienne (*Calcarea*)

Gromada ta obejmuje bardzo zróżnicowane gatunki gąbek: od najprymitywniejszych (o budowie typu **askon**) aż po złożone (o budowie typu **sykon** lub **leukon**). Osobniki żyjące samotnie osiągają niewielkie rozmiary (do 10 cm długości). Charakterystyczną cechą gąbek wapiennych jest szkielet tworzony przez drobne igły (skleryty) zbudowane z węglanu wapnia (CaCO_3).

Rozmnażanie gąbek

Rozmnażanie gąbek może przebiegać płciowo lub bezpłciowo. Ze względu na uproszczoną budowę nie mają one gonad, częsty też jest hermafrodytyzm (obojnaćstwo). Plemniki i komórki jajowe powstają głównie z archeocytów (u niektórych gatunków plemniki różnicują się z choanocytów). Komórki jajowe zazwyczaj pozostają związane z mezogleą (gdzie powstały). Po zapłodnieniu powstaje orzęsiona larwa, która swobodnie pływa w toni wodnej. Po pewnym czasie osiada na dnie i przekształca się w osobnika dorosłego. Podstawowym sposobem rozmnażania bezpłciowego gąbek jest pączkowanie. W niesprzyjających warunkach (np. podczas suszy) gąbki mogą rozmnażać się bezpłciowo: wytwarzać tak zwane **gemule** (skupiska amebocytów i archeocytów pokryte twardą osłonką). Są one na tyle wytrzymałe, że mogą przetrwać nawet trzy lata bez dostępu do wody (dlatego nazywa się je przetrwalnikami gąbek). Występują głównie u gatunków słodkowodnych. U gąbek morskich podobną funkcję pełni **soryty** o nieco prostszej budowie. Składają się one z archeocytu otoczonego przez komórki odżywcze.

PODSUMOWANIE



- Gąbki to najprymitywniejsze zwierzęta należące do beztkankowców.
- W przeszłości odgrywały znaczącą rolę w tworzeniu raf morskich (raf gąbkowych).
- Gąbki dzielimy na trzy gromady: gąbki krzemionkowe (szklane), pospolite oraz wapienne.
- Trzy morfologiczne typy budowy ciała gąbek to: askon, sykon oraz leukon.
- Na szczycie ciała gąbki znajduje się otwór wyrzutowy (oskulum), który jest zakończeniem jamy gastralnej.
- Choanocyty zwane komórkami kotnierzykowymi odpowiadają za przepływ wody przez ciało gąbki oraz za wchłanianie pokarmu.
- Amebocyty odpowiadają za zbieranie zbędnych produktów przemiany materii i trawienie pokarmu przyjmowanego od choanocytów.
- Archeocyty biorą udział w rozmnażaniu i procesach regeneracyjnych.
- Sklerocyty biorą udział w wytwarzaniu igieł (sklerytów, spikul).
- Pinakocyty tworzą pinakodermę, warstwę okrywającą ciało gąbki.

ZADANIA



- W jakich postaciach morfologicznych mogą występować gąbki szklane?
- Wskaż gromadę gąbek, które charakteryzują się budową typu askon.
- Scharakteryzuj mechanizm, w wyniku którego dochodzi do przepływu wody przez ciało gąbki.
- W zależności od gatunku gąbki filtrują dobowo od 100 do 2000 litrów wody morskiej w przeliczeniu na 10 cm³ objętości ciała zwierzęcia. Na podstawie tej informacji opisz znaczenie ekologiczne gąbek.
- Dokonaj w tabeli zestawienia funkcji komórek obecnych w mezoglei: amebocytów, archeocytów i sklerocytów.

Nazwa komórki	Pełniona funkcja
Amebocyt	
Archeocyt	
Sklerocyt	

W INTERNECIE



- <http://www.tolweb.org/Porifera/2464>
- <http://www.ucmp.berkeley.edu/porifera/porifera.html>

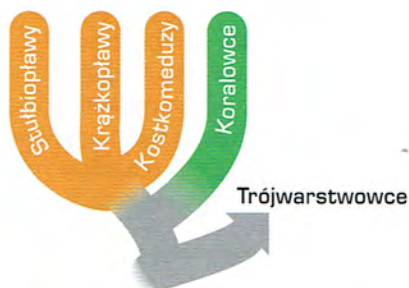
32. Budowa i systematyka parzydełkowców

Parzydełkowce to zwierzęta **tkankowe**, o **promienistej symetrii ciała**, zamieszkujące głównie wody słone. Mogą osiągać bardzo zróżnicowane rozmiary (od kilku mm do ponad 2,5 m średnicy). Łacińska nazwa parzydełkowców (*Cnidaria*) pochodzi od greckiego słowa oznaczającego pokrzywę. Odnosi się ona do charakterystycznych dla tej grupy zwierząt komórek parzydełkowych (knidoblasty), pełniących funkcję obronną i służących do zdobywania pokarmu. Inną typową cechą parzydełkowców są specyficzne formy morfologiczne: **polip** (forma osiadła) i **meduza** (forma wolno żyjąca). **32.1.** Większość parzydełkowców niezbyt dobrze znosi wahania temperatury (tzw. **stenotermia**) oraz zmiany zasolenia (tzw. **stenohalinowość**).

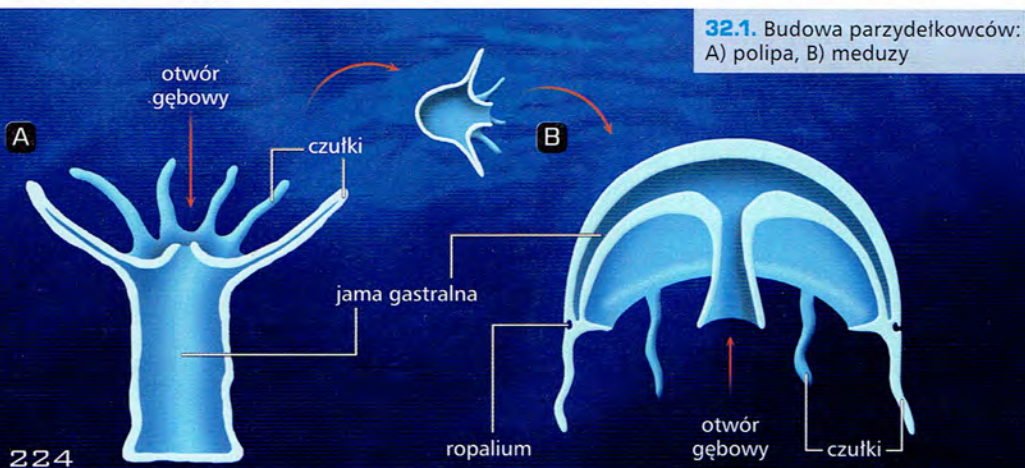
Budowa ciała parzydełkowców

Parzydełkowce cechuje podobnie jak gąbki promienista symetria ciała, choć u niektórych koralowców obserwuje się początki symetrii dwubocznej. W przeciwieństwie do gąbek **prągęba** parzydełkowców funkcjonuje jako otwór gębowy prowadzący do jamy **chłono-trawiącej** zwanej również **jamą gastralną**. U form bardziej złożonych jama gastralna może być dodatkowo poprzegradzana fałdami endodermy i tworzyć system kanałów umożliwiający zarówno trawienie, jak i rozprowadzanie pokarmu. Ponieważ otwór gębowy jest jedynym otworem prowadzącym do jamy gastralnej, służy jednocześnie do usuwania zbędnych produktów metabolizmu (stąd nazwa: **otwór wpustowo-wyrzutowy**).

Parzydełkowce należą do najprymitywniejszych zwierząt tkankowych. Ich ciało jest zbudowane z dwóch warstw zarodkowych: **endodermy** (wewnętrznej) i **ektodermy** (zewnątrznej). Endoderma wyściela wnętrze jamy chłono-trawiącej, podczas gdy pełniąc rolę naskórka

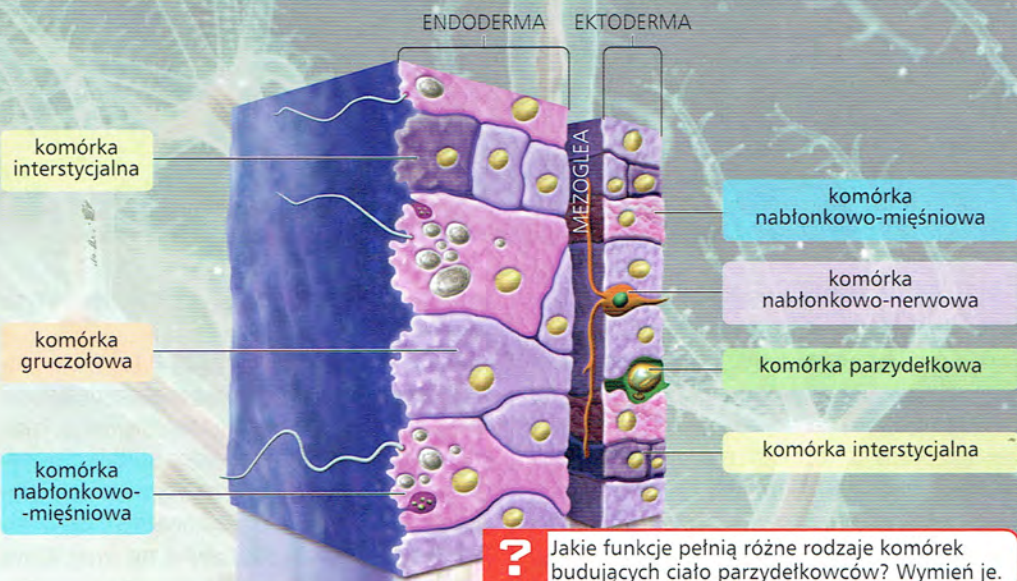


ektoderma, zwana również gastrodermą, pokrywa ciało zwierzęcia. Pomimo iż obie warstwy różnią się funkcjonalnie, ich ogólny plan budowy jest zbliżony a komórki ściśle do siebie przylegają. Pomiędzy endodermą i ektodermą znajduje się galaretowata warstwa zwana **mezogleą**. Nie ma ona cech tkanki, gdyż nie zawiera komórek (rzadko występują w niej amebocyty). Mezoglea u różnych form parzydełkowców może być w różnym stopniu wykształcona – u polipów jest wyjątkowo cienka, u meduz stanowi znaczący procent masy zwierzęcia.



Komórkowa budowa parzydełkowców

Warstwy komórkowe budujące ciało parzydełkowców są złożone z licznych, wyspecjalizowanych komórek, współdziałających ze sobą.



KOMÓRKI NABŁONKOWO-NERWOWE

- znajdują się u podstaw komórek nabłonkowo-mięśniowych;
- są zorientowane równolegle do długiej osi ciała;
- zawierają długie **wypustki plazmatyczne**, dzięki czemu przypominają dendryty neuronów;
- wypustkami tymi łączą się ze sobą, tworząc sieć, która ulega zagęszczeniu w okolicy podstawy ramion i otworu gębowego;
- sieć ta jest pierwszym i najprymitywniejszym spotykanym u zwierząt układem nerwowym, który ze względu na brak centralnego ośrodka nerwowego nazywany jest układem rozproszonym;
- elementem tego układu są ciała zmysłowe, czyli ropalia;
- tylko w ektodermie.

KOMÓRKI GRUCZOŁOWE

- odpowiadają za produkcję **enzymów trawiennych**, które wydzielają następnie do jamy gastralnej;
- biorą udział w fagocytozie;
- tylko w endodermie.

KOMÓRKI INTERSTYCJALNE

- mają charakter **embrionalny**;
- zlokalizowane są pomiędzy komórkami nabłonkowo-mięśniowymi, w obu warstwach;
- cechują je niewielkie rozmiary i duże jądro komórkowe;
- mogą powstawać z nich komórki rozrodcze oraz komórki odpowiedzialne za regenerację uszkodzeń i zranień;
- mają zdolność do ruchu ameboidalnego;
- w ekto- i endodermie.

KOMÓRKI NABŁONKOWO-MIĘŚNIOWE

- najważniejsze komórki endodermy i ektodermy;
- u podstawy tworzą wydłużone **wypustki plazmatyczne**, zawierające **włókienka kurcliwe** zbudowane z **białek aktynowych**;
- włókna zlokalizowane w **endodermie** przebiegają **okrężnie**;
- włókna zlokalizowane w **ektodermie** układają się **wzdłuż osi ciała**;
- działanie ich jest **antagonistycznie** (skurcz jednej warstwy wywołuje rozciągnięcie drugiej);
- w ekto- i endodermie.

KOMÓRKI PARZYDEŁKOWE (knidoblasty)

- pochodzą z przekształconych komórek interstycjalnych;
- mają kształt kulisty lub owalny;
- od strony zewnętrznej otacza je podwójna kapsuła chitynowa;
- w środku znajdują się cytoplazma oraz spiralnie zwinięta nica;
- górny biegun kapsuły zajmuje **knidocyl** będący wyrostkiem czuciowym wystającym ponad powierzchnię ektodermy;
- na podrażnienie knidocyta komórka parzydełkowa reaguje wyrzuceniem nici;
- tylko w ektodermie.

32.2. Stułbia zielona (*Hydra viridis*)32.3. Chelbia modra (*Aurelia aurita*)

Formy morfologiczne parzydełkowców

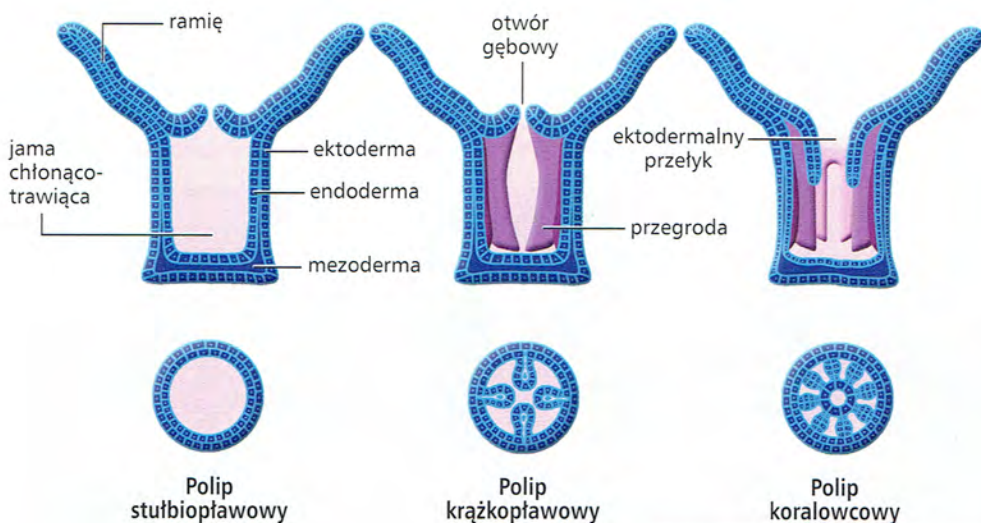
Parzydełkowce pod względem morfologii przypominają zarodek w stadium gastruli. Różnią się od niego czułkami (ramionami) okalającymi otwór gębowy polipa lub rozmieszczonymi na obrzeżach dzwonu meduzy. W złożonych cyklach rozwojowych niektórych gatunków mogą pojawiać się obie formy morfologiczne lub tylko jedna z nich.

Polip to poza nielicznymi wyjątkami postać osiadła. Jego ciało jest wydłużone, w większości o symetrii promienistej. Skierowany do góry otwór gębowy otaczają liczne ramiona służące do chwytania pokarmu. Polipy przytwierdzają się do podłoża dolną częścią cylindra nazywaną **stopą**, czyli biegunem przeciwnym do otworu

wpustowo-wyrzutowego. Wyróżnia się trzy typy polipów. **32.4.1**

Polip stułbiopławowy **32.2.1** ma najprostszą budowę. Otwór gębowy prowadzi do prostej i nierozgałęzionej jamy chłonno-trawiącej. Przykładem może być słodkowodna stułbia zielona. W żadnym z jej stadiów rozwojowych nie występuje postać meduzy. Rozmnaża się zarówno płciowo, jak i bezpłciowo oraz ma wyjątkową u polipów zdolność przemieszczania się po podłożu.

Polip krążkopławowy **32.3.1** ma podobny do hydropolipa kształt, jednak jego jama chłonno-trawiąca jest przedzielona czterema fałdami endodermalnymi. Budowa tego typu cechuje między innymi występującą w Bałtyku chelbię modrą.



32.4. Trzy morfologiczne typy polipów



Porównaj typy morfologiczne polipów.

32.5. Koral czerwony (*Corallium rubrum*)32.6. Chetbia modra (*Aurelia aurita*)

W jej stadiach rozwojowych występują zarówno postacie polipa, jak i meduzy, której dzwon może osiągać średnicę nawet do 40 centymetrów.

Polip koralowcowy 132.5.1 cechuje najbardziej złożona budowa. Otwór gębowy jest przesunięty na dno ektodermalnego przełyku, a jama chłono-trawiąca przedzielona jest więcej niż czterema przegrodami na liczne boczne komory. Wiele gatunków koralowców wytwarza szkielet złożony z substancji organicznej lub oparty na węglanie wapnia. W tej grupie, podobnie jak u polipów słupbiopławowych, nie występuje postać meduzy. Przykładami mogą być koral

czerwony (zwany szlachetnym) oraz rafotwórcze koral madreporowe (*Madreporaria*).

Meduza jest postacią wolno żyjącą. Ze względu na konieczność poruszania się w toni wodnej jej budowa jest nieco bardziej skomplikowana niż u polipa. Ciało meduzy w zależności od gatunku ma kształt parasolowaty lub dzwonowaty. 132.6.1 Mimo że ogólny plan budowy obu form parzydełkowców jest podobny, to orientacja przestrzenna meduzy w porównaniu do polipa jest odwrócona (otwór gębowy u meduz jest skierowany do dołu), a długa oś ciała – skrócona. 132.1.1

PODSUMOWANIE

- Parzydełkowce to pierwsze wśród zwierząt tkankowce, zamieszkujące głównie wody słone.
- U parzydełkowców występują dwa rodzaje warstw: zewnętrzna ektoderma oraz wewnętrzna endoderma. Pomiędzy nimi znajduje się bezkomórkowa warstwa spajająca zwana mezogleą.
- Parzydełkowce mogą występować w dwóch formach morfologicznych: polipa (forma osiadła) oraz meduzy (forma wolno żyjąca).
- W warstwie endodermy znajdują się komórki: nabłonkowo-mięśniowe, gruczołowe, interstycjalne, natomiast w warstwie ektodermy – komórki nabłonkowo-mięśniowe, parzydełkowe, nabłonkowo-mięśniowe i interstycjalne.

ZADANIA

1. Określ, który z typów morfologicznych polipa ma jamę chłono-trawiącą przedzieloną czterema przegrodami.
2. Znajdź w dostępnych źródłach, jakie typy parzydełek występują u parzydełkowców.
3. Wymień dwa rodzaje tkanek, które pojawiają się po raz pierwszy w budowie parzydełkowców, oraz określ ich położenie w ciele zwierzęcia.

BIBLIOGRAFIA

Rajski A., *Zoologia*, Warszawa 1997.

33. Funkcje życiowe i znaczenie parzydełkowców

Parzydełkowce to w zdecydowanej większości zwierzęta drapieżne. Rozmnażają się płciowo (przede wszystkim meduzy) lub bezpłciowo (większość polipów). Ze względu na prostotę budowy nie występują u nich układy: krwionośny, wydalniczy ani oddechowy. Wymiana gazowa odbywa się całą powierzchnią ciała. Otwór gębowy jest jedynym otworem prowadzącym do jamy chłnąco-trawiącej. Ponieważ nie mają otworu odcytowego, parzydełkowce wydalają zbędne produkty metabolizmu i niestrawione resztki pokarmowe przez otwór gębowy.

Odżywianie się parzydełkowców

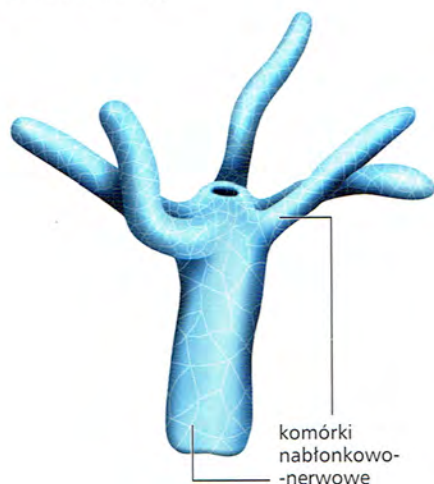
Wszystkie gatunki parzydełkowców są heterotroficznymi mięsożercami. Żywią się głównie planktonem, choć niektóre zdolne są polować na zwierzęta (np. niewielkie ryby). U parzydełkowców występuje tak zwane **podwójne trawienie**. Jego pierwszy etap rozpoczyna się po wprowadzeniu pokarmu do jamy gastralnej i zachodzi za pomocą zewnątrzkomórkowych enzymów będą-

cych wytworem **komórek gruczołowych** endodermi. Częściowo strawiony pokarm i zawiesina organiczna są wchłaniane na drodze fagocytozy przez komórki gastrodermy. Rozpoczyna to drugi etap trawienia, który przebiega wewnątrzkomórkowo. Wszystkie niestrawialne resztki i zbędne produkty metabolizmu są usuwane poza organizm przez otwór gębowy.

Odbieranie bodźców

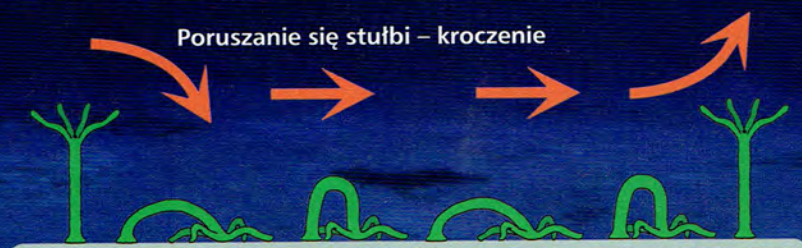
Układ nerwowy parzydełkowców jest prymitywny i ma postać rozproszoną bez centralnej jednostki nerwowej. **133.1.1**

U meduz na brzegach dzwonu zlokalizowane są charakterystyczne narządy zmysłów, tak zwane **ciałka brzeżne (ropalia)**. Tworzą je dwa rodzaje receptorów. **133.2.1** Pierwszy z nich to prosty narząd światłoczuły zwany **oczkiem**. Zbudowany jest z wielu komórek barwnikowych, otaczających centralnie położone przezroczyste komórki, pełniące rolę soczewki. Drugi receptor to **statocysta** będąca narządem równowagi. Ma ona budowę pęcherzykową i jest tworzona przez komórki zmysłowe, których wici czuciowe

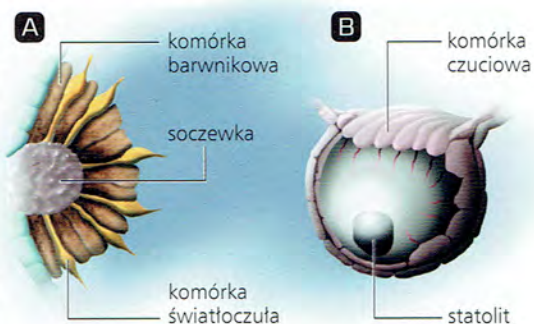


33.1. Schemat budowy układu nerwowego u stułbiopława

Sposoby poruszania się parzydełkowców



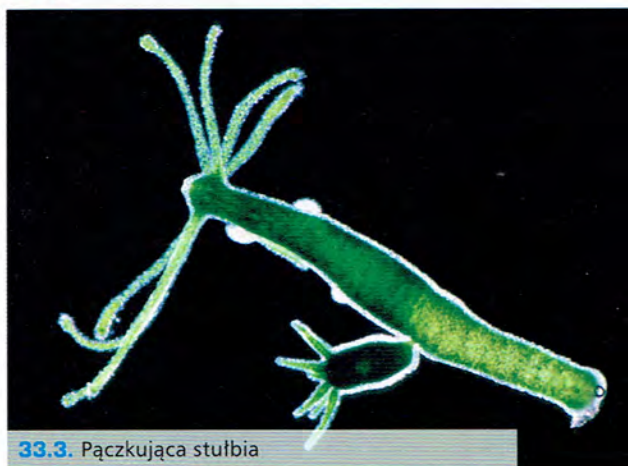
lub wypustki plazmatyczne skierowane są do wewnątrz. Centralne położenie zajmuje w niej niewielka grudka utworzona najczęściej z węglanu wapnia. To **statolit**, który pod wpływem siły ciężkości przemieszcza się i pobudza komórki zmysłowe w różnych częściach statocysty. Informacje odbierane przez receptory (dotyczące położenia dzwonu i kierunku, w którym zwierzę się porusza, a także odległości od powierzchni wody i źródła światła) umożliwiają meduzie orientację w przestrzeni i sprawne poruszanie się.



33.2. Obecne w ciałach brzeźnych meduzy: A) oczko, B) statocysta

Rozmnażanie parzydełkowców

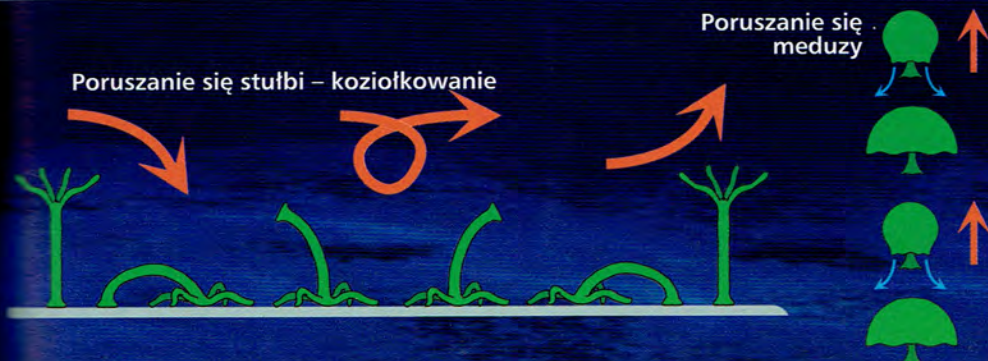
Parzydełkowce rozmnażają się na dwa sposoby: **bezpłciowo** oraz **płciowo**. Rozmnażanie bezpłciowe występuje najczęściej u polipów (bardzo rzadko u meduz) i ma formę **pączkowania**. Poza nim obserwuje się również rozmnażanie przez **podział (poprzeczny i podłużny)** oraz **strobilizację**. **Pączkowanie** polega na wytworzeniu przez organizm rodzicielski na powierzchni ciała niewielkiego zgrubienia, które powiększa się, odrywa, a następnie rozwija w identyczną genetycznie kopię. Nowy, pączkujący polip może całkowicie oderwać się od osobnika macierzystego lub pozostać z nim połączonym, co przyczynia się do tworzenia kolonii. **33.3.1 Podział poprzeczny i podłużny** są znacznie rzadziej spotykane niż pączkowanie. Najbardziej specyficznym sposobem bezpłciowego rozmnażania polipów jest **strobilizacja** polegająca na wielokrotnych podziałach poprzecznych. W jej wyniku powstają tak zwane **talerzyki** zaznaczone najwyraźniej w szczytowej części polipa. Odrywają się od niej, a następnie przekształcają się w larwalne postaci meduzy (tzw. **efyry**). Pływają one swobodnie w toni wodnej, aby po kilku tygodniach przemienić się w postać dorosłą meduzy. **33.4.1**

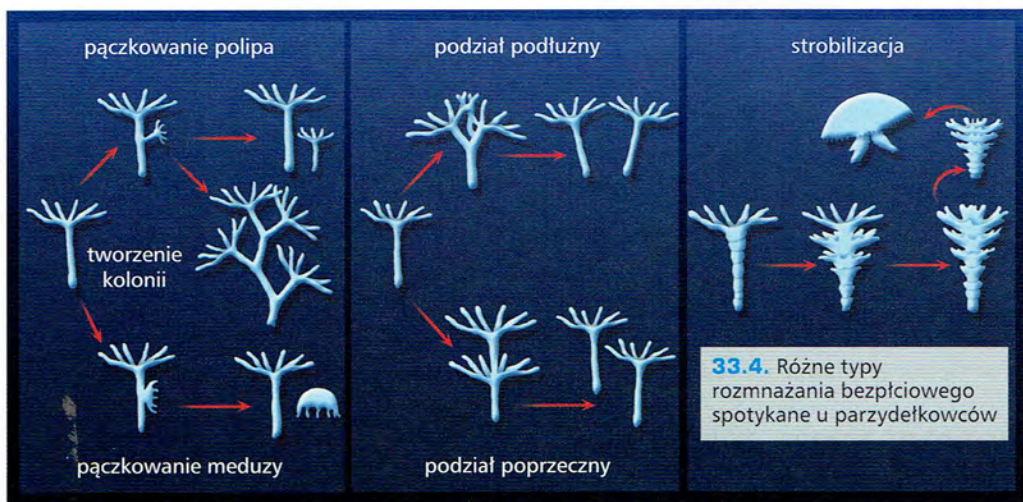


33.3. Pączkująca stulbia

:: Ciekawostka

Niektóre gatunki parzydełkowców rozmnażają się przez **frustule**. Są to oddzielające się, niewielkie fragmenty ciała polipa, orzęsione i zdolne do samodzielnego pływania. Dopiero później osiadają na dnie i przekształcają się we w pełni funkcjonalny polip. Ten sposób rozmnażania można więc uznać za specyficzny typ pączkowania.





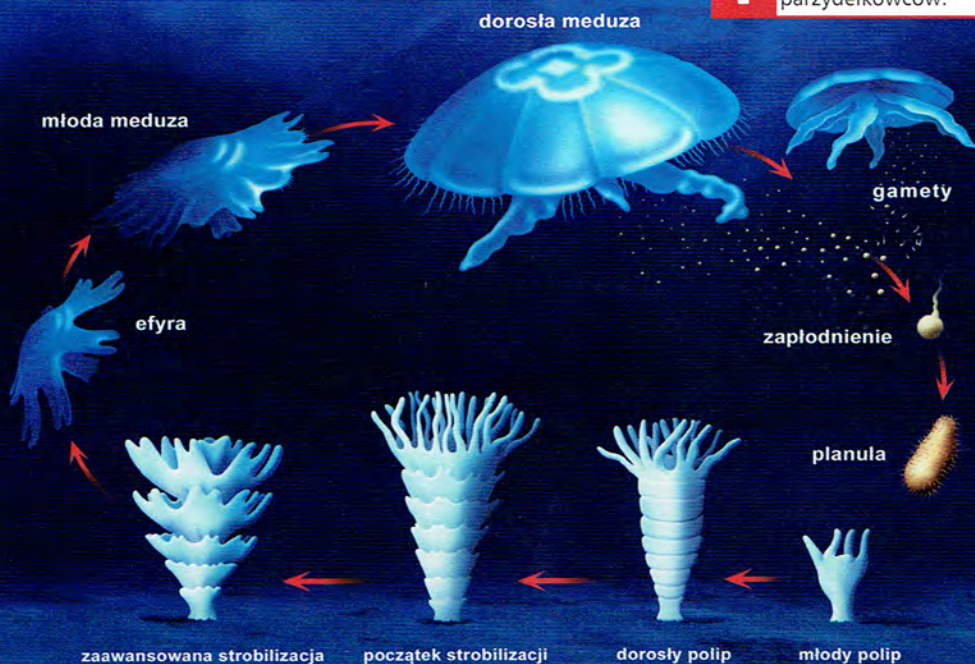
Rozmnażanie płciowe jest obserwowane zarówno u meduz, jak i polipów. Z nielicznymi wyjątkami wszystkie parzydełkowce są rozdzielnopłciowe, a ich gamety powstają z komórek interstycjalnych. Rozwój jest złożony, a jako pierwsza po zapłodnieniu pojawia się dwubocznie symetryczna, orzęsiona i jajowatego kształtu larwa planktonowa – **planula**. Po kilku godzinach swobodnego życia przytwierdza się ona do podłoża biegunem przednim (znajdującym się z przodu w trakcie ruchu postępowego). Na biegunie

przeciwległym wytwarza otwór gębowy oraz ramiona, przez co przekształcają się w młody polip. W krótkim czasie ulega on strobilizacji i wytwarza dużą liczbę **efyr**. Tę specyficzną przemianę pokoleń nazywa się **metagenezą** (obserwuje się ją np. u chełbi modrej). Przemiana ta ma charakter nie tyle genetyczny, ile morfologiczny, ponieważ zarówno rozmnażająca się płciowo meduza, jak i ulegający strobilizacji polip są diploidalne (inaczej niż u roślin, gdzie gametofit jest haploidalny, a sporofit – diploidalny). **[33.5.]**

33.5. Przemiana pokoleń u parzydełkowców na przykładzie chełbi modrej



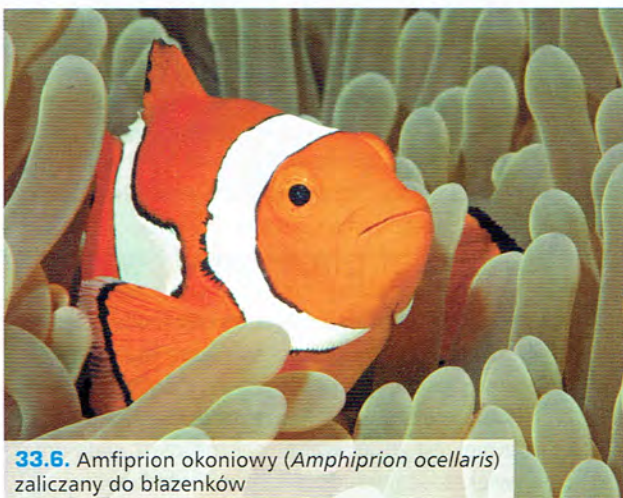
Omów przemianę pokoleń parzydełkowców.



Znaczenie parzydełkowców

Koralowce, dzięki wytwarzaniu szkieletów opartych na węglenie wapnia, odgrywają znaczącą rolę w kształtowaniu powierzchni skorupy ziemskiej. Budują rafę koralową (koral madreporowe), a wiele gatunków zasiedlających ją zwierząt żyje z nimi w symbiozie. Najbardziej znanym tego przykładem są rybki błazenki chroniące się pomiędzy parzącymi czułkami polipów przed drapieżnikami. **133.6.1** W zamian błazenki bronią ukwiału przed drapieżnikami odżywiającymi się koralowcami. Poza tym zwabiają inne ryby, które mogą zostać pochwycone przez ukwiał.

Niektóre gatunki (z rodzajów *Physalia*, *Cyanea*, *Anemona*) produkujące silne **neurotoksyny**, jak aktynotoksyna czy hipnotoksyna, mogą stanowić zagrożenie dla człowieka. W wyniku kontaktu z ich parzydełkami mogą pojawić się świąd, stany zapalne skóry, a w skrajnych wypadkach zaburzenia oddychania i pracy serca, co może doprowadzić



33.6. Amphiprion okoniowy (*Amphiprion ocellaris*) zaliczany do błazенокów

nawet do śmierci. Szkielety koralowców (głównie koral szlachetnego i koral czarnego) są wykorzystywane w przemyśle jubilerskim.

PODSUMOWANIE

- U parzydełkowców występuje trawienie dwuetapowe. Etap zewnątrzkomórkowy zachodzi w jamie gastralnej, a wewnątrzkomórkowy – w komórkach endodermy (zwanej gastrodermą).
- Parzydełkowce mogą rozmnażać się bezpłciowo w drodze pączkowania, podziału (poprzecznego i podłużnego) oraz strobilizacji.
- W wyniku strobilizacji powstaje larwalna postać meduzy zwana efyra.
- W wyniku zapłodnienia u parzydełkowców powstaje niewielka orzęsiona larwa (planula), która przytwierdza się do podłoża, przez co daje początek polipowi.
- Koralowce odgrywają w przyrodzie ogromną rolę. Tworzą rafy koralowe, które są miejscem bytowania wielu gatunków zwierząt.
- U meduz występuje rozwinięty układ receptorów zwanych ciążkami brzeżnymi (ropaliami), które obejmuje receptory światłoczułe (ocza) oraz receptory położenia (statocysty).

ZADANIA

1. Oceń, jakie znaczenie przystosowawcze dla parzydełkowców ma obecność statocyst.
2. Wyjaśnij, na czym polega proces podwójnego trawienia u parzydełkowców.
3. Porównaj w formie tabeli różne sposoby rozmnażania się bezpłciowego parzydełkowców.

	Pączkowanie polipa	Pączkowanie meduzy	Podział poprzeczny	Podział podłużny	Strobilizacja
Opis procesu					

W INTERNECIE

<http://biomist.pl/biologia/parzydelkowce/2682>



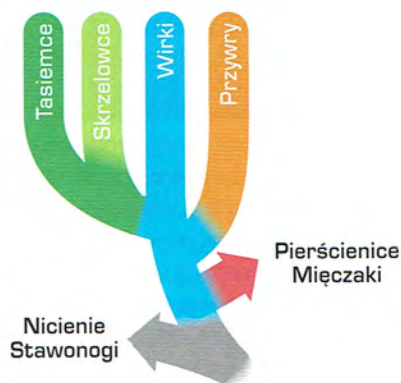
34. Budowa płazińców

Do płazińców należą beznogie zwierzęta o ciele płaskim i wydłużonym, zwane również robakami płaskimi. Ich cechą charakterystyczną jest dwuboczna (**bilateralna**) symetria ciała wynikająca z jego grzbietobrzusznego spłaszczenia, obecność trzech listków zarodkowych i brak jamy ciała. W wyraźnie zaznaczonej przedniej części zlokalizowane są proste narządy czuciowe. W tej grupie zwierząt mamy do czynienia z zarysem procesu **cefalizacji**, czyli wyodrębniania głowy.

Podział płazińców

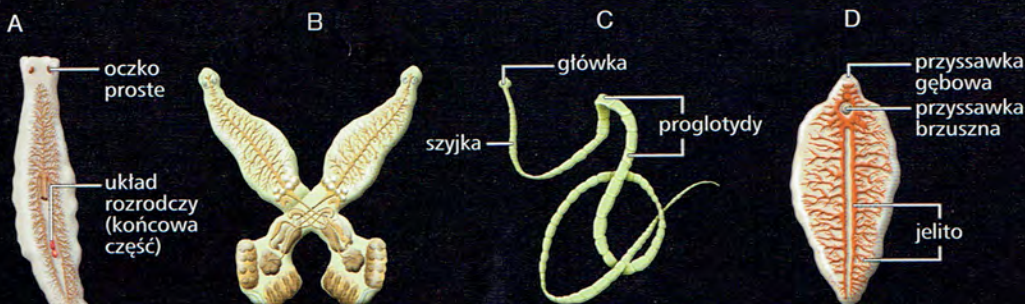
Płazińce należą do **trójwarstwowców**, ponieważ poza zewnętrzną epidermą (naskórkiem) i wewnętrzną endodermą wyróżniamy u nich warstwę środkową – **mezodermę**. To właśnie z niej jest zbudowana znaczna część ciała oraz większość narządów robaków płaskich.

Wśród płazińców wyróżniamy cztery gromady: **wirki**, **skrzelowce** (przywry zewnętrzniaki), **przywry wewnętrzniaki** oraz **tasiemce**. Grupy te różnią się zasadniczo sposobem życia, w związku z tym ich budowa i przystosowania również są odmienne. Pasożyty wewnętrzne cechują się niezwykle uproszczoną budową anatomiczną. [34.1.1] We wszystkich grupach występuje nabłonek jednowarstwowy. U wirków jest on urzęsiony, natomiast u pozostałych grup tworzy warstwę złączonych ze sobą komórek określanych mianem **syncytium**. U pasożytów nabłonek musi być dodatkowo odporny na działanie enzymów trawiennych żywicieli, w związku z czym pokryty jest **oskórkiem**. Tuż pod nabłonkiem znajdują się mięśnie gładkie wyróżniane z mezodermą. U tasiemców występują one



w postaci kilku włókien mięśniowych, natomiast u wirków złożone są z kilka warstw. Mięśnie oraz otaczający je nabłonek stanowią tak zwany **wór powłokowo-mięśniowy** nadający ciału płazińca określony kształt. Po wewnętrznej stronie wory powłokowo-mięśniowego znajduje się **parenchyma**. To rodzaj uproszczonej tkanki łącznej zbudowanej z różnokształtnych komórek połączonych między sobą wypustkami.

Gromady płazińców



A) wirki, B) skrzelowce, C) tasiemce, D) przywry wewnętrzniaki

Układ pokarmowy

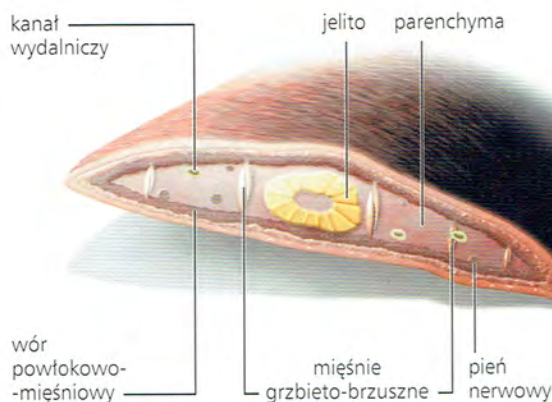
U przeważającej większości robaków płaskich układ pokarmowy stanowi jama trawiąca, która ma charakter prostego bądź rozgałęzionego jelita. Prowadzi do niej pojedynczy otwór zwany **gębą**, zlokalizowany pośrodku brzusznej strony ciała.

34.2.1 Za gębą znajduje się gardziel pochodzenia endodermalnego, która służy do wysysania małych kawałków ciała ofiary (u wirków ma ona formę rurki zdolnej do wynicowywania się na zewnątrz). Za gardzielą ciągnie się jelito, w którym dzięki enzymom wytwarzanym przez komórki gruczołowe zachodzi trawienie pozakomórkowe. Płazińce nie posiadają otworu odbytowego, a niestrawione

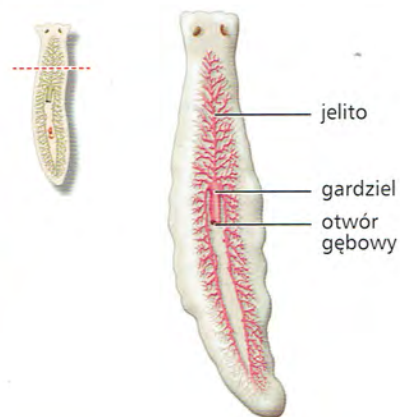
:: Ciekawostka

Wyplątki żywią się między innymi stulbiami. Zbierają ich niewystrzelone **komórki parzydełkowe**, umieszczają w swojej epidermie i wykorzystują do obrony.

resztki pokarmowe usuwają przez otwór gębowy. Są również zdolne do życia bez pokarmu nawet przez kilka miesięcy. W tym czasie trawią własne tkanki, przez co zmniejszają swe rozmiary i masę. U pasożytów wewnętrznych niekiedy układ pokarmowy nie występuje, chłoną one bowiem strawiony przez żywiciela pokarm całą powierzchnią ciała.

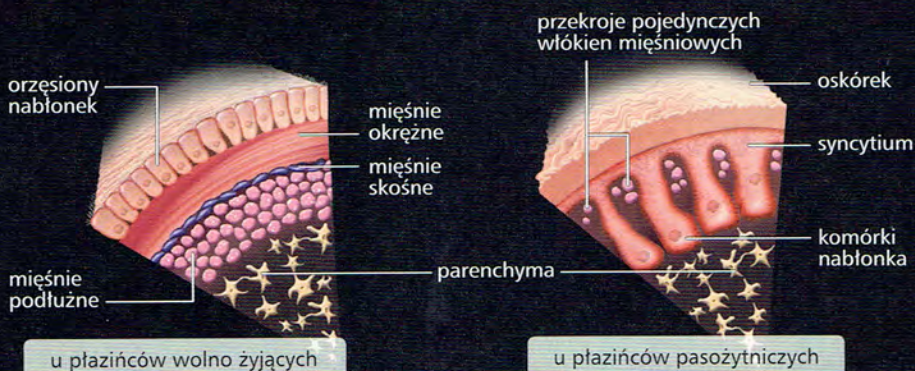


34.1. Schemat budowy ciała płazińców na przykładzie wirka



34.2. Budowa układu pokarmowego płazińców na przykładzie wirka

Budowa wora powłokowo-mięśniowego płazińców



Porównaj budowę ciała płazińców wolno żyjących i pasożytniczych.

Wymiana gazowa

Płazińce nie mają układu oddechowego. Zapotrzebowanie na tlen regulowane jest wymianą gazową odbywającą się całą powierzchnią ciała.

Gazy docierają do poszczególnych komórek na zasadzie dyfuzji. Pasożyty wewnętrzne wykształciły zdolność oddychania beztlenowego.

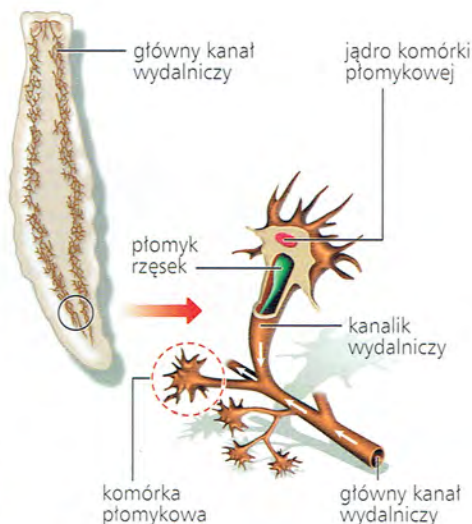
Transport substancji pokarmowych

U płazińców nie ma też układu krążenia, a za transport substancji pokarmowych jest odpowiedzialna parenchyma. Nie mniej ważne

w doprowadzaniu substancji pokarmowych jest dobrze rozgałęzione jelito.

Układ wydalniczy

Układ wydalniczy płazińców (zwany **protonefrydialnym**) ma budowę najprymitywniejszą wśród zwierząt trójwarstwowych. W parenchymie znajdują się liczne, przenikające ciało kanałki (**protonefrydia**) zakończone **komórkami płomykowymi (cyrtocytami)**, z których każda jest zakończona pęczkiem rzęsek. **134.3.1** Ruch rzęsek umożliwia wypływanie wydzielanej cieczy poprzez kanałki na zewnątrz organizmu. Metabolizm robaków płaskich nie jest intensywny, dlatego układ wydalniczy odpowiada głównie za utrzymanie stężenia płynów w tkankach na odpowiednim poziomie (osmoregulacja). Za pomocą protonefrydów usuwane są również uboczne produkty przemiany materii (głównie amoniaku). Zależnie od grupy płazińców różne są liczba, przebieg oraz miejsce ujścia kanałów zbiorczych, w które łączą się protonefrydia.



34.3. Protonefrydialny układ wydalniczy płazińców na przykładzie wirka

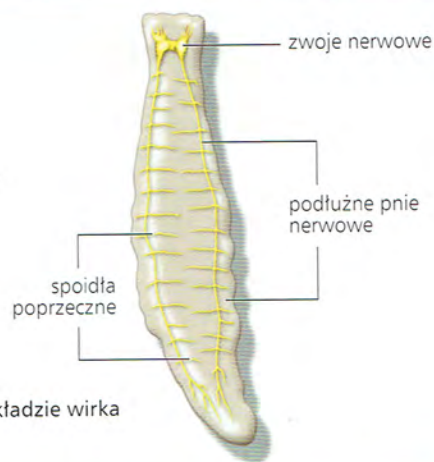
Układ nerwowy i narządy zmysłów

Układ nerwowy płazińców zbudowany jest z parzystego zwoju mózgowego i odchodzących od niego podłużnych pni biegnących wzdłuż ciała, połączonych poprzecznymi spoidłami nerwowymi. **134.4.1** Co ciekawe, w układzie nerwowym płazińców występują również komórki funkcjonalnie odpowiadające komórkom glejowym kręgowców.

Narządy zmysłów spotykane u płazińców to **fotoreceptory**, **mechanoreceptory** oraz

chemoreceptory. Najlepiej są one wykształcone u form wolno żyjących – wirków. Fotoreceptory w postaci **oczek** (ocelli) składają się z dwóch rodzajów komórek (zmysłowych i pigmentowych). Oczka położone są pod warstwą przejrzystego naskórka. Nie rejestrują one obrazów, a jedynie informują o kierunku padania światła. Reakcja wirków na światło jest negatywna (tzn. wykazują światłowstręt).

Receptory dotykowe oraz chemoreceptory występują pojedynczo, a największe ich skupisko znajduje się w odcinku głowowym. Wśród **mechanoreceptorów** wyróżniamy komórki reagujące na dotyk oraz reagujące na prąd wody. Receptory chemiczne natomiast odbierają wrażenia smakowe oraz węchowe. U form pasożytniczych (np. tasiemców) narządy zmysłów są zredukowane.



34.4. Budowa układu nerwowego płazińców na przykładzie wirka

PODSUMOWANIE

- Płazińce, nazywane robakami płaskimi, mają ciało grzbieto-brzuszenie spłaszczone, wydłużone, dwubocznie symetryczne.
- U płazińców obserwuje się początki cefalizacji, czyli procesu wyodrębniania odcinka głowowego.
- Płazińce należą do trójwarstwowców. W ich budowie wyróżnia się warstwę zewnętrzną (ektodermę), środkową (mezodermę) oraz wewnętrzną (endodermę).
- Do płazińców zaliczamy cztery gromady różniące się morfologią i trybem życia: wirki, skrzelowce (przywry zewnętrzniaki), przywry wewnętrzniaki oraz tasiemce.
- Nabłonek płazińców wraz z warstwą mięśni leżących pod nim tworzy tak zwany wór powłokowo-mięśniowy.
- W układzie nerwowym płazińców wyodrębnia się parzyste zwoje mózgowie oraz podłużne pnie nerwowe biegnące wzdłuż ciała.
- Układ wydalniczy płazińców składa się z kanalików (protonefrydiów) i komórek płomykowych (cyrtocytów) i jest nazywany układem protonefrydialnym.
- U płazińców brak układu krążenia i układu oddechowego.
- Układ pokarmowy robaków płaskich jest niedrożny, a otwór gębowy pełni jednocześnie rolę otworu odbyтового.

ZADANIA

1. Wymień i opisz elementy wchodzące w skład wora powłokowo-mięśniowego płazińców.
2. Określ rodzaje komórek tworzących występujący u wirków fotoreceptor zwany oczkiem.
3. Omów elementy wchodzące w skład protonefrydialnego układu wydalniczego płazińców.
4. Scharakteryzuj w tabeli cztery główne gromady płazińców.

Cecha	Wirki	Skrzelowce	Tasiemce	Przywry
Pokrycie ciała				
Układ pokarmowy				
Wymiana gazowa				
Układ wydalniczy				
Układ nerwowy				

INTERNET

<http://www.tolweb.org/Platyhelminthes>

35. Przegląd pasożytniczych płazińców

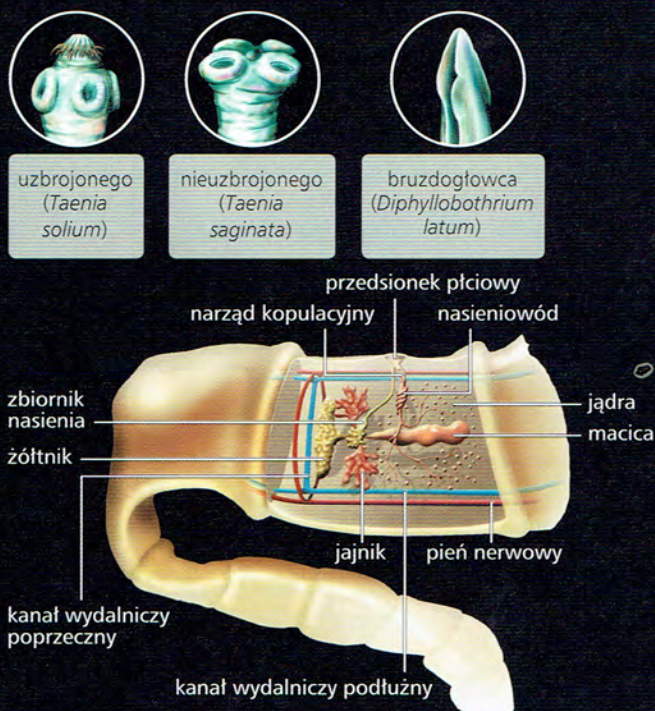
Znamy około 4000 gatunków pasożytniczych płazińców (tasiemców i przywr). Ich dorosłe formy pasożytują w przewodach pokarmowych kręgowców, w tym również człowieka. Te płazińce o taśmowatym, płaskim, pozbawionym barwy ciele są doskonale przystosowane do pasożytniczego trybu życia, jaki wiodą. Jednym z ważniejszych przystosowań jest obecność narządów czepnych: przyssawek, wieńców, haków lub bruzd przyssawkowych. Znajdują się one na przedniej części ciała tasiemca nazywanej **skoleksem** bądź **główką**.

Charakterystyka płazińców pasożytniczych

Narządy czepne umożliwiają pasożytom skuteczne przymocowanie się do ściany jelita żywiciela. Zwierzęta te nie posiadają narządów ruchu, układu pokarmowego, oddechowego czy krwionośnego. Nie mają narządów zmysłów. Odżywiają się poprzez wchłanianie całą powierzchnią ciała substancji pokarmowych strawionych przez żywiciela. Oddychają beztlenowo. Istotną ich cechą jest nabłonek odporny na strawienie przez enzymy

żywiciela. Niewątpliwym sukcesem ewolucyjnym tasiemców jest ich nieprawdopodobnie skuteczna rozrodczość. Ze względu na pasożytniczy tryb życia są one obojnaki zdolnymi do samoza-plemnienia. Ich ciało zbudowane jest z **główki**, **szyjki** oraz **członów** zwanych **proglotydami**.
35.1.1 Główka jest narządem czepnym pasożyta i ułatwia mu stałe położenie w jelicie żywiciela, niezależnie od ruchów perystaltycznych i prze-

Różne morfologiczne typy skoleksów tasiemców



35.1. Budowa pojedynczego, dojrzałego członu tasiemca

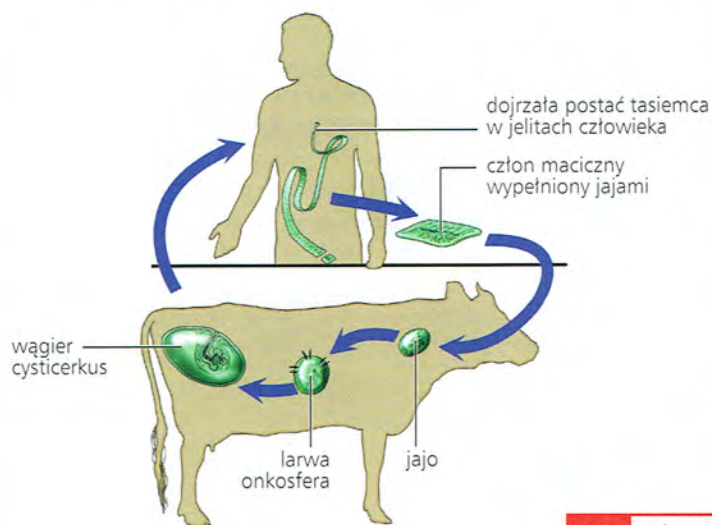


Omów budowę pojedynczego członu tasiemca.

plywu pokarmu. U tasiemców członowanych wyraźnie odgranicza się od reszty ciała, natomiast u jednoczłonowych jest słabo zaznaczona. Każdy z proglotydów jest wyposażony zarówno w narządy rozrodcze żeńskie, jak i męskie oraz potrafi wyprodukować 100 000 jaj. Mając na uwadze, iż dorosły tasiemiec może posiadać nawet 2000 członów, łatwo jest ocenić jego zdolności rozrodcze. Nowe proglotydy są wytwarzane sukcesywnie w rejonie szyjki. Człony najdalej odsunięte od główki (najstarsze) zawierają już dojrzałe jaja. Odrzucając się od ciała, proglotydy zostają wydalone razem z kałem poza organizm żywiciela. Proces powstawania segmentów tasiemców przypomina strobilizację spotykaną u parzydełkowców, dlatego też ich ciało określamy mianem **strobili**. Zazwyczaj tasiemce przechodzą złożony cykl rozwojowy z obecnością żywiciela pośredniego i ostatecznego.

Najpowszechniejszym w Polsce pasożytem jelita cienkiego człowieka jest **tasiemiec nieuzbrojony** **135.3.1**, którego główka nie ma haków. Osiąga on kilkanaście metrów długości. W jego cyklu rozwojowym występuje jeden żywiciel pośredni. **135.2.1** Człony wypełnione dojrzałymi jajami opuszczają ciało żywiciela ostatecznego. Gdy wraz z trawą zostaną zjedzone przez żywiciela pośredniego (bydło), przedostają się do jego jelita. Tam z jaj wylęgają się postaci larwalne (tzw. **onkosfery**).

Onkosfera jest owalna bądź kulista, zbudowana z nieodróżnicowanych komórek. Na tylnym biegunie ciała ma 3 pary haków umożliwiających skuteczne przedostanie się z jelita żywiciela pośredniego do jego naczyń krwionośnych. Z prądem krwi onkosfera wędruje do serca, wątroby lub innego narządu, by ostatecznie umiejscowić się w mięśniach. Tu przekształca się w drugie stadium larwalne zwane **wągrem**. Wągier ma postać pęcherzyka wypełnionego płynem. Skoleks wągra jest wpuklony do środka. U tasiemca nieuzbrojonego osiąga wielkość kilku milimetrów. Człowiek będący żywicielem ostatecznym może zarazić się tasiemcem nieuzbrojonym, zjadając półsurowe bądź surowe mięso wołowe (dlatego zarażenia tasiemcem są powszechne np. w Etiopii, gdzie spożywane jest niegotowane mięso). W przewodzie pokarmowym, a dokładnie w jelicie, główka wągra uwypukla się na zewnątrz. Po przymocowaniu do ściany jelita rozpoczyna się rozwój formy dorosłej i produkcja członów gotowych do zarażania. Innym przykładem płazińca, którego człowiek jest żywicielem ostatecznym, może być **tasiemiec uzbrojony**. **135.4.1** Osiąga on długość nie większą niż 4 metry. Bytuje w jelicie człowieka pojedynczo, ponieważ jego obecność uodparnia na zarażenie kolejnymi osobnikami. Ma główkę opatrzoną wieńcem 26–28 haczyków. Jego żywicielem pośrednim jest świnia. W jej mięśniach z onkosfery rozwija się



135.2. Cykl rozwojowy tasiemca nieuzbrojonego



135.3. Tasiemiec nieuzbrojony (*Taenia saginata*)



Opisz cykl rozwojowy tasiemca nieuzbrojonego.



35.4. Tasiemiec uzbrojony
(*Taenia solium*)



35.5. Motylca wątrobowa
(*Fasciola hepatica*)

wągi. Człowiek zaraża się, zjadając niedogotowane bądź surowe mięso wieprzowe. Rzadkie, ale możliwe jest samozakażenie, podczas którego dojrzałe człony dostają się do żołądka człowieka. W następstwie działania soków trawiennych onkosfery uwalniają się z osłon jajowych i mogą osadzić się w mózgu bądź oku.

Interesującym przykładem pasożytów wewnętrznych zwierząt roślinożernych i wszystkożernych są przywry należące do gromady płazińców. W odróżnieniu od tasiemców mają one ciało nieczłonowane, zaopatrzone w dwie przyssawki. Charakteryzują się dobrze rozwiniętym układem pokarmowym w postaci rozgałęzionego jelita. Typowym przedstawicielem przywr jest **motylca wątrobowa** [35.5.1], pasożytnicza u swych żywicieli ostatecznych w wątrobie i drogach żółciowych. Żywicielem pośrednim są ślimaki, zazwyczaj błotniarka stawowa. Do zarażenia dochodzi w wyniku wypicia wody zakażonej postaciami larwalnymi lub zjedzenia owoców i warzyw, na których się one znajdują. Powodowana przez tego płazińca choroba zwana

Sposoby zapobiegania zarażeniu robakami płaskimi

1. Weterynaryjna, urzędowa kontrola mięsa. Nadzór weterynaryjny nad hodowlami trzody chlewnej oraz bydła.
2. Kupowanie jedynie przebadanego mięsa.
3. Badania kału na ewentualną obecność pasożytów. W razie stwierdzenia zakażenia farmakologiczne ich usuwanie pod kontrolą lekarza.
4. Systematyczne odrobaczanie zwierząt domowych.
5. Nadzór nad wodą pitną w celu uniknięcia zanieczyszczenia odchodami ludzkimi.
6. Edukacja zdrowotna.
7. Przestrzeganie zasad higieny.

fascjolozą może być niebezpieczna, gdyż młode motylce atakują miąższ wątroby, drążą w nim długie kanały, a niekiedy mogą osiedlać się również w mózgu, płucach, śledzionie oraz w węzłach chłonnych. Zapobieganie zakażeniom przez płazińce to przede wszystkim ochrona zbiorników wodnych przed zanieczyszczeniem kałem zwierzęcym i ludzkim, a także zwalczanie ślimaków biorących udział w cyklu rozwojowym motylcy.

PODSUMOWANIE

- Zespół narządów czepnych występujący u tasiemców nazywa się główką lub skoleksem.
- U tasiemców wykazujących segmentację za główką znajduje się szyjka, która przechodzi w człony zwane proglotydami.
- Ciało tasiemców określamy mianem strobili.
- Wylęgająca się z jaj larwa tasiemca nosi nazwę onkosfery.
- Drugie stadium larwalne tasiemca nazywa się węgrem.



ZADANIA

1. Określ, jakie zwierzę jest żywicielem pośrednim tasiemca uzbrojonego i jak nazywa się postać przetrwalna lokalizująca się w jego mięśniach.
2. Oceń wartość adaptacyjną do środowiska życia takich cech płazińców pasożytniczych, jak:
 - A. występowanie narządów czepnych (przyssawek i haczyków),
 - B. brak jelita,
 - C. obojnactwo połączone ze zdolnością do samozapłodnienia.



INTERNET

<http://www.ucmp.berkeley.edu/platyhelminthes/platyhelminthes.html>

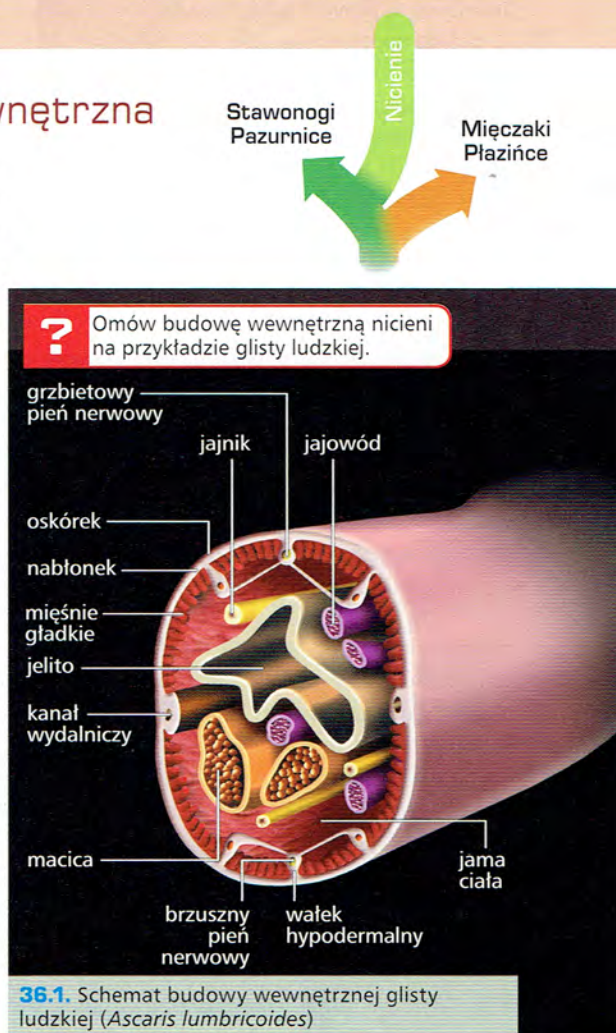


36. Budowa nicieni

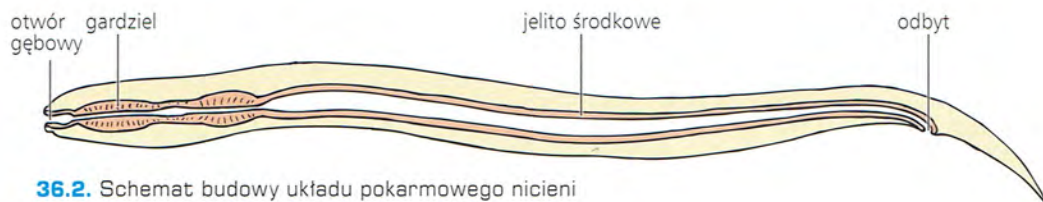
Nicienie (*Nematoda*), zwane również robakami obtymi, w dawniejszych systemach klasyfikacyjnych traktowane były jako gromada zaliczana do typu obleńców. Współcześnie, dzięki zastosowaniu technik genetyki molekularnej oraz analizom porównawczym, nicienie zyskały rangę odrębnego typu. Zalicza się do niego gatunki wolno żyjące, które zamieszkują środowisko wodne oraz wilgotną glebę jak i gatunki pasożytnicze. W zdecydowanej większości są to organizmy niewielkich rozmiarów, sięgających kilku milimetrów, ale spotyka się również duże okazy form pasożytniczych (o długości do 1,2 m!). Nicienie to zwierzęta pierwousto, co oznacza, że prągotnia pojawiająca się w rozwoju zarodkowym na etapie gastruli pozostaje u nich funkcjonalnym otworem gębowym. Ciało nicieni jest wydłużone, w przekroju okrągłe lub owalne. Końce ciała są zwężone, nie obserwuje się też wyodrębnionego odcinka głowowego (brak cefalizacji). Ruch nicieni jest możliwy dzięki zsynchronizowanym wygięciom ciała, będących efektem działania układu mięśniowego.

Budowa zewnętrzna i wewnętrzna

Charakterystycznym elementem budowy nicieni jest **wór skórno-mięśniowy** stanowiący zewnętrzną powłokę ciała. Pokrywa ją gruby oskórek zwany **kutykulą** (36.1.1), złożony między innymi z kolagenu, elastyny oraz substancji zbliżonych budową do keratyny. W trakcie rozwoju nicienie wielokrotnie zrzucają oskórek, co przypomina nieco linienie spotykane u gadów. Kutykula jest nieprzepuszczalna dla wody i gazów, chroni zatem organizm przed wysychaniem co ma szczególne znaczenie dla nicieni wolno żyjących (np. w glebie). U nicieni pasożytniczych w przewodzie pokarmowym kręgowców kutykula pełni warstwę chroniącą przed strawieniem. Pod oskórkiem znajduje się wytwarzający go **jednowarstwowy nabłonek** (tzw. **hypoderma**, czyli **warstwa podskórkowa**). Hypoderma po bokach oraz po stronie brzusznej i grzbietowej tworzy zgrubienia nazywane **wałkami hypodermalnymi**, w których przebiegają nerwy oraz kanały wydalnicze. Poniżej warstwy podskórkowej znajduje się warstwa biegnących **wzdłuż ciała** komórek nabłonkowo-mięśniowych. Brak jest mięśni okrężnych, co wynika z obecności wałków hypodermalnych. Wnętrze ciała nicieni zajmuje **pierwotna jama ciała** zwana **pseudocelomą** (**pseudocelom**). Wypełnia ją **płyn surowiczy** pełniący rolę szkieletu hydrostatycznego, nadającego zwierzęciu sprężystość i sztywność. Zastępuje on również układ



krążenia (którego u nicieni brak), rozprowadzając wewnątrz organizmu substancje odżywcze wchłonięte w jelicie oraz gazy oddechowe.



36.2. Schemat budowy układu pokarmowego nicieni

Układ pokarmowy

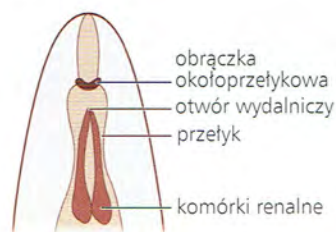
Układ pokarmowy nicieni jest drożny i ma postać prostej, cienkiej rurki. **136.2.1** Otwór gębowy znajduje się na przednim końcu ciała, natomiast odbytowy występuje po stronie brzusznej, w pewnej odległości od końca ciała. W układzie pokarmowym nicieni można wydzielić trzy odcinki: **jelito przednie** i **jelito tylne** (pochodzenia ektodermalnego) oraz **jelito środkowe** (pochodzenia endodermalnego). U niektórych form pasożytniczych jelito środkowe może ulegać zanikowi lub przekształcać się w narząd magazynujący glikogen, kwasy tłuszczowe oraz białka.

Układ oddechowy

Podobnie jak płazińce, nicienie nie posiadają wyspecjalizowanego układu oddechowego. Zapotrzebowanie tlenowe tej grupy zwierząt jest wyjątkowo niskie, a wymiana gazowa odbywa się **całą powierzchnią ciała** przez warstwę kutyki, zwłaszcza u form pasożytniczych, które są ananobami (żyjącymi w warunkach beztlenowych).

Układ krążenia

U nicieni nie występuje układ krążenia ze względu na obecność płynu surowiczego, wypełniającego wnętrze pierwotnej jamy ciała. Odpowiada on za rozprowadzanie wewnątrz organizmu substancji odżywczych wchłoniętych w jelicie, jak i gazów oddechowych przenikających przez warstwę kutyki.



36.3. Położenie komórek renalnych u nicieni

:: Ciekawostka

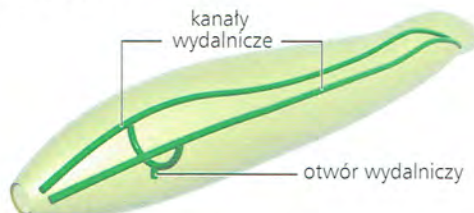
Największym znanym nicieniem jest *Placenta-nema gigantissima*, którego samice osiągają długość do około 8 metrów przy średnicy zaledwie 2,5 centymetra. Posiadają również aż 32 (!) jajniki, co jest unikalną cechą tego gatunku. Ocenia się, że ich imponująca wielkość jest wynikiem bytowania w bogatym w substancje odżywcze środowisku, czyli żyznym kaszalota (*Physeter catodon*), z którego je wyizolowano.

Źródło: R. Gaugler, A. J. Bilgrami, *Nematode behaviour*, CABI Publishing, Wallingford (Oxfordshire)–Cambridge 2004, s. 7.

Układ wydalniczy

Układ wydalniczy nicieni jest zbudowany w charakterystyczny sposób. U form prymitywnych składa się z jednej lub dwóch komórek gruczołowych zwanych **komórkami renalnymi**. **136.3.1** Ich ujście znajduje się po brzusznej stronie ciała, za otworem gębowym.

Bardziej złożony układ wydalniczy pozostałych grup nicieni przypomina literę H. **136.4.1** Dwa boczne, długie kanały biegną wzdłuż ciała, wewnątrz bocznych **wałków hypodermalnych**. W przedniej części ciała łączą się kanałem poprzecznym, od którego odchodzi krótki przewód wyprowadzający zlokalizowany po brzusznej stronie ciała. Układ wydalniczy (zwłaszcza u form pasożytniczych) pełni także funkcje osmoregulacyjne. Końcowym produktem przemian metabolicznych u nicieni jest **amoniak**.



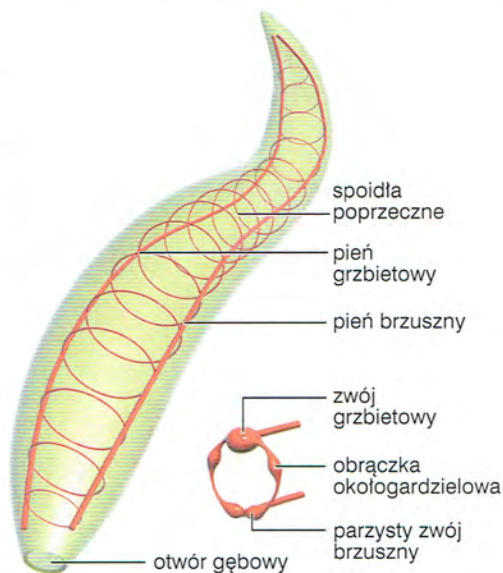
36.4. Schemat budowy układu wydalniczego nicieni

Układ nerwowy

Najważniejszym (centralnym) elementem prostego układu nerwowego niciani jest **pierścień okołogardzielowy** (obraczka okołoprzetykowa). **[36.5.]** Pierścień tworzą 2–4 pary zwojów nerwowych. Od obrączki okołoprzetykowej odchodzi zwykle 8 wydłużonych pni nerwowych biegnących wzdłuż ciała (są to: pień grzbietowy, brzuszny, dwa pnie boczne oraz dwie pary pni boczno-brzusznych). Pnie grzbietowy i brzuszny są połączone półpierścieniowymi spoidłami nerwowymi (**komisurami**).

Narządy zmysłów

Pomimo prostej budowy liczne gatunki (zwłaszcza wolno żyjące) wytworzyły różnorodne typy narządów zmysłów. Należą do nich **chemoreceptory** (brodawki czuciowe, amfidia i fasmidia) oraz **ocza** (fotoreceptory spotykane głównie u wolno żyjących morskich niciani, zlokalizowane po bokach w przedniej części ciała).



36.5. Schemat budowy układu nerwowego niciani

PODSUMOWANIE

- Nicienie to zwierzęta o obłej budowie ciała.
- Ciało niciani pokrywa kutykula chroniąca przed utratą wody i gazów.
- Ciało niciani tworzy wór skórno-mięśniowy zbudowany z naskórka wytwarzającego kutykulę (oskórek) oraz mięśni przebiegających wzdłuż ciała.
- Nabłonek zwany hypodermą u gatunków bardziej złożonych tworzy zespółnię (syncytium).
- Pierwotna jama ciała (pseudoceloma) jest wypełniona płynem surowiczym pełniącym funkcję szkieletu hydraulicznego.
- Układ pokarmowy niciani jest otwarty i u większości gatunków drożny. Rozpoczyna się otworem gębowym, za którym znajduje się jelito (przednie, środkowe i tylne), a kończy otworem odbytowym.
- Układ krążenia i oddechowy u niciani nie występują. Rolę płynu rozprzeczającego substancje odżywcze i gazy oddechowe pełni płyn surowiczy wypełniający pseudocel.
- U form złożonych układ wydalniczy ma postać dwóch kanałów biegnących po bokach ciała i kończących się otworem wydalniczym po stronie brzusznej.
- W układzie nerwowym niciani występuje część centralna w postaci obrączki okołoprzetykowej i osiem pni nerwowych biegnących wzdłuż ciała.

ZADANIA

1. Po bokach ciała niciani przebiegają wałki hypodermalne. Opisz elementy budowy anatomicznej, jakie się w nich znajdują.
2. W jaki sposób wypełniona płynem jama ciała niciani wpływa na sposób poruszania się tych zwierząt?
3. Omów budowę i rolę komórek renalnych.
4. Opisz budowę i znaczenie narządów zmysłów występujących u niciani.

BIBLIOGRAFIA

Rajski A., *Zoologia*, Warszawa 1997.

37. Rozmnażanie i przegląd pasożytniczych nicieni

Nicień wykazują liczne przystosowania do pasożytniczego trybu życia. Dzięki temu są w stanie atakować niemal wszystkie gatunki roślin i zwierząt. W przeciwieństwie do pasożytniczych płazińców (jak np. tasiemiec) większość nicieni to organizmy **rozdzielnopłciowe**, a hermafrodytyzm spotykany jest bardzo rzadko (najczęściej u gatunków lądowych). Wiele gatunków cechuje też wyraźny **dymorfizm płciowy**, przy czym samiec jest zdecydowanie mniejszy od samicy. Tylna część jego ciała jest charakterystycznie zagięta lub spiralnie zwinęta.

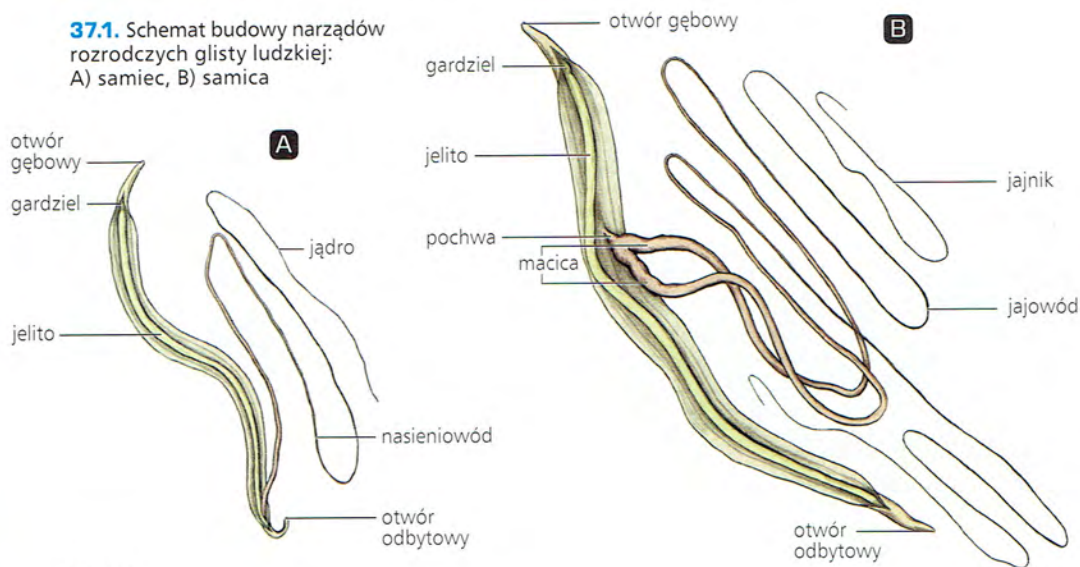
Rozmnażanie nicieni

Układ rozrodczy samca składa się najczęściej z jednego jądra oraz pojedynczego nasieniowodu kończącego się **kanalem płciowym** uchodzącym do **kloaki** (czyli wspólnego ujścia układu pokarmowego i płciowego zwanego również **stekiem**). Do kanału płciowego uchodzą też liczne gruczoły produkujące lepłą wydzielinę ułatwiającą przytwierdzenie się samca do samicy w trakcie kopulacji. Samice są znacznie większe od samców. Ich układ rozrodczy składa się z parzystych, cewkowatych **jajników**, przechodzących w rozszerzenia zwane **macicami**. Te łączą się w **pochwę**, która uchodzi na zewnątrz ciała **otworem płciowym**, zlokalizowanym mniej więcej w połowie ciała po stronie brzusznej. **37.1.1 Proces zapłodnienia** przebiega wewnątrz ciała samicy. Samice niektórych gatunków mogą produkować feromony odpowia-

dające za wabienie samców. Plemniki nicieni są pozbawione wici i poruszają się ruchem pełzakowatym. Po zapłodnieniu jaja przez pewien okres przebywają w ciele samicy, a dopiero później są składane. Samice gatunków wolno żyjących produkują od kilkudziesięciu do kilkuset jaj rocznie. U form pasożytniczych liczba ta może osiągnąć miliony (np. samica glisty ludzkiej w ciągu roku produkuje ponad 60 mln jaj).

Rozwój pozazarodkowy larw nicieni obejmuje maksymalnie cztery linienia. W trakcie tego procesu larwa odrzuca oskórek (kutykulę) i rośnie. Znamienne jest, że odbywa się to w wyniku powiększania komórek ciała larwy, a nie w wyniku zwiększania ich ilości. U pasożytniczych gatunków zmieniających żywiciela (**poliksenicznych**) pomiędzy linieniami dochodzi do **encystacji** (tworzenia cyst).

37.1. Schemat budowy narządów rozrodczych glisty ludzkiej: A) samiec, B) samica

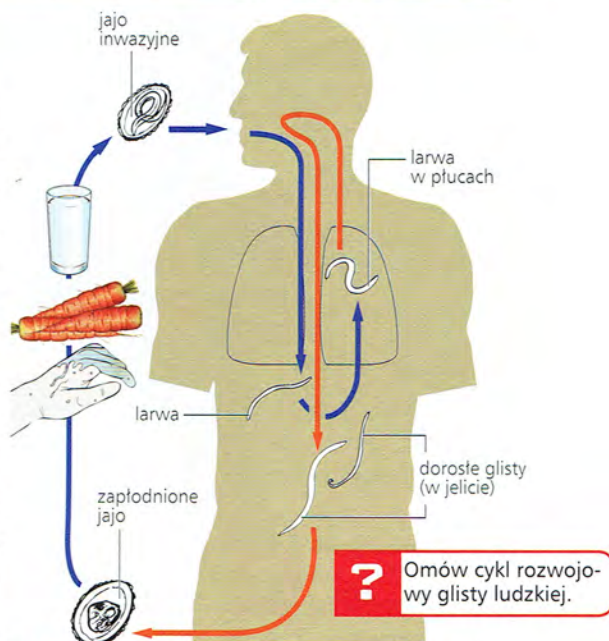


Glista ludzka

Wszystkie pasożytnicze gatunki należące do rodzaju glista (*Ascaris sp.*) **137.3.1** charakteryzują się dużymi rozmiarami. Ich przedstawiciel – **glista ludzka** – jest jednym z częściej występujących pasożytów jelita cienkiego człowieka. Samce glisty ludzkiej są o połowę mniejsze od samic (mających długość do 40 cm i średnicę ok. 0,5 cm). Po kopulacji samica jest zdolna do składania dziennie nawet 100 000 jaj wydalanych następnie przez żywiciela wraz z kałem. Kolejny etap rozwoju pasożyta trwa od 2 do 5 tygodni i wymaga dostępu tlenu. Po tym czasie w jaj (zwanym jajem inwazyjnym) znajduje się już dobrze rozwinięty zarodek. Jest gotowy do zakażenia, o ile przedostanie się do przewodu pokarmowego żywiciela. **137.2.1** Zakażenie następuje drogą fekalno-oralną. Jego powodem jest zwykle nieprzestrzeganie zasad higieny (np. niemycie rąk mających kontakt z glebą lub kałem bądź spożycie pokarmu, na którym znajdują się jaja pasożyta przeniesione przez owady). Choroba wywołwana przez glistę ludzką nosi miano **glistnicy**. Z jaj wylęgają się osobniki młodociane (larwy), które przebijają ścianę jelita, przedostają się do krwi i z nią wędrują przez wątrobę i serce aż do płuc. Tutaj, mając dostęp do tlenu, rosną aż do osiągnięcia odpowiedniej wielkości (ok. 2 mm). Ponieważ są wówczas zbyt duże, aby ponownie przedostać się do krwi, wędrują przez oskrzela, tchawicę i krtani do gardła, gdzie zostają połknięte. Po dotarciu do jelita w ciągu około 70 dni osiągają dojrzałość płciową. Sposobem zapobiegania zakażeniu glistą ludzką jest mycie rąk oraz owoców i warzyw przeznaczonych do spożycia.

Włosień

Włosień kręty **137.4.1** jest bardzo niebezpiecznym poliksencicznym pasożytem, atakującym również



37.2. Cykl rozwojowy glisty ludzkiej (*Ascaris lumbricoides*)

człowieka. Wywołuje chorobę zwaną **trichinozą**. Jego żywiciel ostateczny może stać się żywicielem pośrednim. W drugim wypadku larwy pasożyta są w stanie przetrwać w mięśniach nawet do 30 lat, nie tracąc zdolności zakaźnych. Zakażenie włośniem następuje **w wyniku spożycia zarażonego mięsa**, a zatem grozi zwierzętom mięsożernym lub wszystkożernym (w tym człowiekowi). W naszym kraju głównym rezerwuarem włośni krętych są szczury.

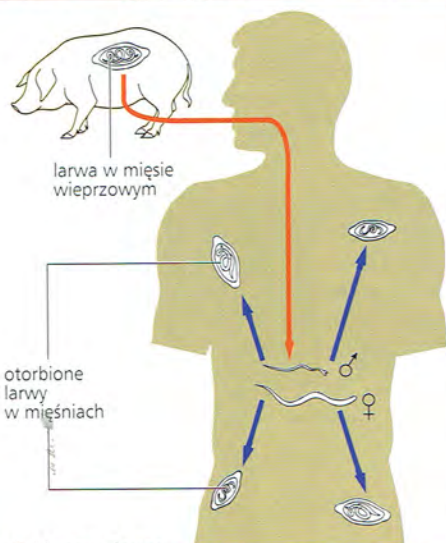
Człowiek natomiast zaraża się, zjadając zarażone i nieprzebadane weterynaryjnie mięso wieprzowe. Larwy uwalniające się z trawionego mięsa dojrzewają, odżywiając się głównie krwią i limfą, do których dostęp uzyskują po nakłuciu ściany jelita. W porównaniu do glisty ludzkiej włośnie są niewielkie (samce mają ok.

37.3. Glista (*Ascaris sp.*)



37.4. Włosień kręty oraz cysta w mięśniach (*Trichinella spiralis*)





37.5. Cykl rozwojowy włośnia krętego (*Trichinella spiralis*)

? Opisz cykl rozwojowy włośnia krętego.

2 mm, a samice – ok. 4 mm długości). Samce nie przeżywają kopulacji, a zapłodnione samice wnikają do naczyń limfatycznych jelit, gdzie rodzą do 1500 larw (wielkością nieprzekraczających 0,1 mm). Larwy rozprzestrzeniają się wraz z limfą (a później także krwią) po całym organizmie, by osiąść ostatecznie we włóknach mięśniowych. Odżywiają się tkanką mięśniową i rosną (osiągają wielkość do ok. 1 mm). Układ immunologiczny, żeby się pozbyć pasożyta, wytwarza przeciwciała i otacza larwę torebką łącznotkankową. Zostaje ona z czasem przesycana solami wapnia, przez co przekształca się w cystę. **37.5.1** Aby uniknąć zakażenia, należy kupować mięso wieprzowe wyłącznie z pewnego źródła, posiadającego certyfikat kontroli weterynaryjnej.

Owsik

Owsik ludzki jest jednym z najpowszechniejszych nicieni pasożytniczych. **37.6.1** Wywołuje chorobę zwaną **owsicą**. Samice osiągają maksymalnie

1,5 centymetra, a samce 5 milimetrów długości. Pasożytują głównie w tylnym odcinku jelita cienkiego oraz w jelicie grubym.

Podobnie jak u glisty ludzkiej, jaja owsika do rozwoju wymagają dostępu tlenu. W odróżnieniu jednak od glist samice owsika po zapłodnieniu wędrują w kierunku odbytu i tam składają jaja: przymocowują je do błony śluzowej żywiciela. Ruchy pasożyta, jak i wydzielane przez niego substancje drażniące wywołują nieznośne uczucie świądu w okolicy odbytu. W wyniku drapania dochodzi do przedostania się jaj pod paznokcie, a za ich pośrednictwem – do ust. Połknięte trafiają ponownie do jelit, gdzie rozwijają się w postaci dorosłą. Owsiki, podobnie jak glista ludzka, są **pasożytami monoksenicznymi** (inaczej: jednodomowymi), co oznacza, że ich kompletny cykl rozwojowy może przebiegać w organizmie tego samego żywiciela. Zakażeniu zapobiega przestrzeganie higieny osobistej i mycie rąk, zwłaszcza przez dzieci (np. w przedszkolach).

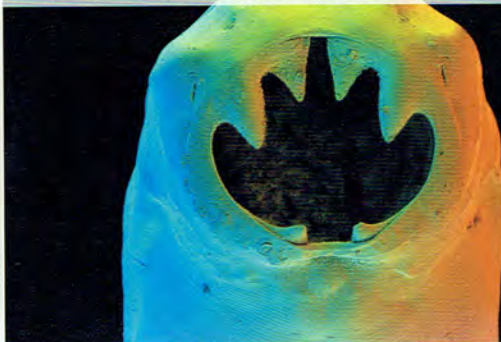
Tęgoryjec dwunastnicy

Tęgoryjec dwunastnicy, jak wskazuje jego nazwa, pasożytuje w dwunastnicy człowieka (dojrzała samica osiąga 14 mm długości, a samiec do 10 mm). **37.7.1** Charakterystyczną cechą budowy tych pasożytów jest bardzo duży otwór gębowy zaopatrzony w zęby, którymi tęgoryjce wżerają się w tkanki jelita. Żywią się fragmentami błony śluzowej i krwią. Wywołują silne bóle brzucha, owrzodzenia oraz krwawienia z przewodu pokarmowego. Jaja składane przez samice wydostają się wraz z kałem na zewnątrz, a wylęgające się z nich larwy przedostają się w głąb gleby, gdzie żywią się szczątkami organicznymi w stanie rozkładu. Po kilku liniach powstają odpowiednio duże larwy inwazyjne, które wędrują ku powierzchni ziemi i mogą

37.6. Pokrój ciała owsika ludzkiego (*Enterobius vermicularis*)



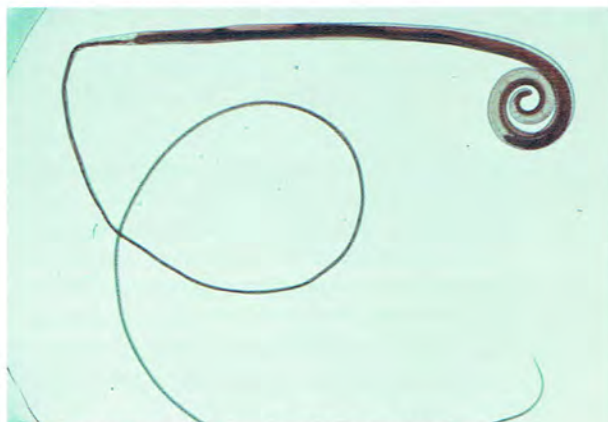
37.7. Tęgoryjec dwunastnicy (*Ancylostoma duodenale*) z widocznym olbrzymim otworem gębowym



osiadać na roślinach. Spożycie niedomytych warzyw jest jedną z dróg zakażenia tęgoryjcem. Larwy inwazyjne mają zdolność aktywnego wwiercania się przez skórę w ciało żywiciela. Sposobem zapobiegania zakażeniu jest mycie rąk oraz owoców i warzyw przeznaczonych do spożycia.

Włosogłówka

Włosogłówka ludzka **[37.8.1]** (osiągająca ok. 40 mm długości) jest pasożytem wywołującym tak zwaną **włosogłówczycę**. Bytując w jelicie ślepym człowieka (początkowym fragmencie jelita grubego), odżywia się głównie krwią, co może prowadzić do rozwoju anemii. Zarażenie następuje poprzez wypicie zanieczyszczonej wody lub spożycie niemytych owoców i warzyw. W Polsce choroba występuje rzadko, bardziej rozpowszechniona jest w krajach tropikalnych. Dojrzałe samice dziennie składają do 5000 jaj wydalanych z kałem żywiciela. Podobnie jak to jest u glisty ludzkiej, larwy włosogłówki rozwijają się w glebie w warunkach tlenowych. Już po kilku dniach powstaje



37.8. Pokrój ciała włosogłówki ludzkiej (*Trichuris trichiura*)

postać inwazyjna larwy, która drogą pokarmową ponownie trafia do jelita, gdzie po około 10 tygodniach osiąga dojrzałość płciową. W jelicie jednego żywiciela może znajdować się w tym samym czasie około 1000 osobników. Średni czas ich życia wynosi 5 lat. Sposobem zapobiegania zakażeniu włosogłówką ludzką jest mycie rąk oraz owoców i warzyw przeznaczonych do spożycia.

PODSUMOWANIE

- Nicienie są rozdzielno płciowe; u większości gatunków obserwuje się wyraźny dymorfizm płciowy.
- Układ rozrodczy samca składa się z pojedynczego jądra i nasieniowodu.
- Narządy rozrodcze samicy są parzyste (jajniki, jajowody oraz macice).
- W cyklu rozwojowym nicieni pojawia się forma larwalna.
- Do charakterystycznych nicieni pasożytniczych człowieka należą: glista ludzka (*Ascaris lumbricoides*), włosień kręty (*Trichinella spiralis*), owsik ludzki (*Enterobius vermicularis*), tęgorzyjec dwunastnicy (*Ancylostoma duodenale*) oraz włosogłówka ludzka (*Trichuris trichiura*).
- Glista ludzka, owsik ludzki, tęgorzyjec dwunastnicy oraz włosogłówka ludzka nazywane są pasożytami monoksenicznymi.
- Włosień kręty jest pasożytem poliksenicznym.



ZADANIA

1. Porównaj zjawisko monoksenizmu i poliksenizmu.
2. Omów proces, który prowadzi do wytworzenia cyst włosień krętego w mięśniach.
3. W którym narządzie dorastają larwalne postaci glisty ludzkiej? Opisz, w jaki sposób te organizmy dostają się ponownie do jelita.
4. Opisz mechanizm rozprzestrzeniania się owsika ludzkiego.



BIBLIOGRAFIA

Jura C., *Bezkręgowce*, Warszawa 2005.

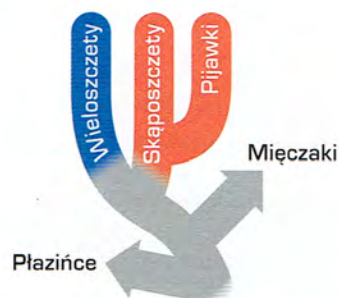


38. Budowa i funkcje życiowe pierścienic

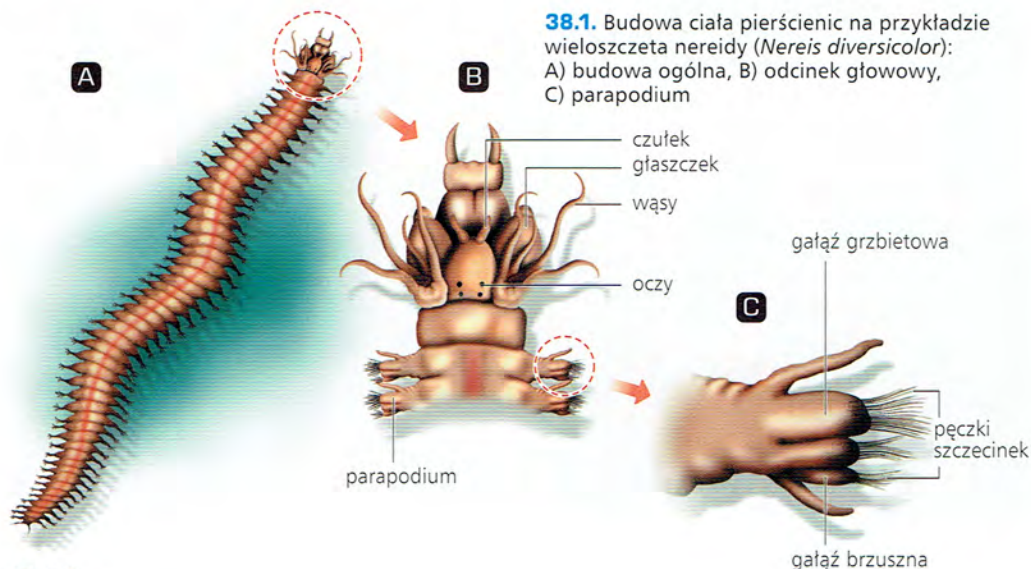
Pierścienice (*Annelida*) to typ obejmujący dwie gromady: **siodełkowce** (*Clitellata*) oraz wieloszczety (*Polychaeta*). Te robakokształtne zwierzęta zamieszkują różnorodne środowiska (wody słone i słodkie oraz glebę). Ich nazwa związana jest z budową ciała, w której wyróżniamy pierścienie zwane **metamerami**. To segmenty, na które podzielone są zarówno zewnętrzne powłoki ciała, jak również organy wewnętrzne. Metamery oddzielone są od siebie przegrodami poprzecznymi (czyli tzw. **septami**). Pnie nerwowe czy jelito ciągną się u pierścienic przez całą długość ciała, ale są też elementy budowy (np. części układu wydalniczego, mięśnie) powtarzające się w każdym segmencie. Zjawisko to nosi nazwę **metamerii**. To dzięki niemu każdy pierścień wyposażony jest w odrębne mięśnie. W efekcie zwierzę może jednocześnie wydłużać jedną część ciała a skracać inną. U pierścienic występuje tak zwana **metameria homonomiczna**, co oznacza, że ich segmenty są do siebie bardzo podobne. U wieloszczetów i większości siodełkowców zewnętrzna segmentacja odpowiada wewnętrznemu podziałowi, natomiast u pijawek pojawiające się w trakcie ruchu poprzeczne prążki są jedynie następstwem fałdowania nabłonka. Niezależnie od podziału na segmenty ciało pierścienic ma kształt obły lub może być grzbieto-brzusznie spłaszczone. W przeciwieństwie do omawianych dotąd grup bezkręgowców pierścienice mają wszystkie wyspecjalizowane rodzaje układów oraz odnóży.

Budowa zewnętrzna i pokrycie ciała

Długość ciała pierścienic jest bardzo zróżnicowana (może wahać się od 1 mm do nawet 3 m). Różnice mogą też dotyczyć zabarwienia, szczególnie u form morskich. Większość pierścienic ma zaznaczone pierścienie przednie i tylne. Pierwszy segment to **prostomium** (lub inaczej **płat przedgębowy** bądź **akron**). **38.1.1** Znajdują się na nim oczy, narządy czuciowe, czyli głaszczki (palpy), **czułki** oraz receptory che-



38.1. Budowa ciała pierścienic na przykładzie wieloszczeta nereidy (*Nereis diversicolor*): A) budowa ogólna, B) odcinek głowowy, C) parapodium



miczne. W pierwszym płacie zlokalizowane jest też skupisko komórek nerwowych zwanych **mózgiem**. Za akronem znajduje się **płat gębowy**, czyli **metastomium**. Po brzusznej jego stronie znajduje się otwór gębowy.

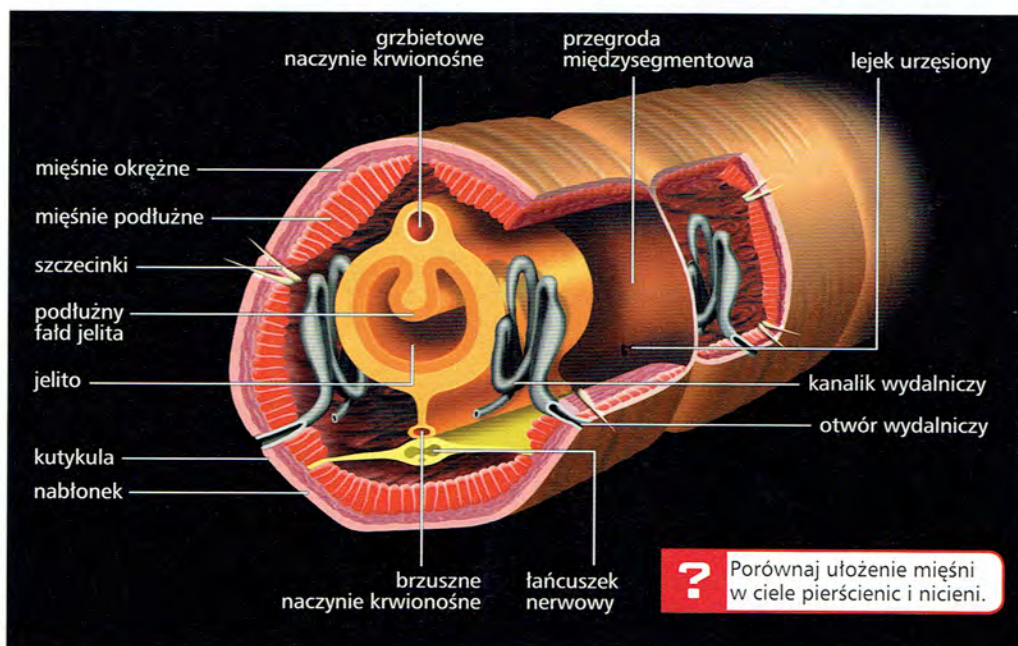
Do metastomium może być dołączony trzeci lub czwarty płat. Tak tworzy się **perystom**, czyli pierścień gębowy. Ostatni człon ciała to **pygidium**, czyli płat końcowy z otworem odbytowym. U wieloszczetów mamy do czynienia z procesem cefalizacji, czyli wyodrębniania się głowy, którą stanowią płaty przedgębowy i gębowy. Pozostała część ciała w tym przypadku to **tułów**. Jeżeli pierścienice należą do form ryjących, to ich przednia część może być wydłużona i węższa od reszty ciała. Nosi wtedy miano **ryjka**. Liczba segmentów tułowia bywa różna (w zależności od gatunku waha się od kilku do kilkuset). Segmentacja jest bardziej widoczna u pierwotnych gatunków. U wieloszczetów występują parapodia (inaczej przynóża lub pranóża) zlokalizowane po obu stronach ciała na każdym segmencie tułowia (poza pygidium). Parapodia są uwypukleniem ściany ciała. Do ich wnętrza wchodzi celoma. Parapodia umięśnione są przez mięśnie wory powłokowego. Przynóża spełniają funkcję lokomotoryczną oraz zwiększają powierzchnię wymiany gazowej. U niektórych

:: Ciekawostka

Substancje śluzowe u **osiadłych wieloszczetów** należących między innymi do rodzaju *Polycirrus* mogą krzepnąć, tworząc wokół ciała domki. Dodatkowo mogą być one wysycane węglanem wapnia lub ciałami obcymi.

gatunków są opatrzone pierzastymi **wyrostkami skrzelowymi**.

Pokrycie ciała pierścienic stanowi **wór powłokowo-mięśniowy**. [38.2.] Na jego powierzchni znajduje się cienki **oskórek**, poniżej którego leży jednowarstwowy **naskórek**. W naskórku znajdują się liczne gruczoły, które przede wszystkim produkują śluz. Wydostaje się on na zewnątrz ciała przez kanały znajdujące się w oskórku. Produktem naskórka są zbudowane z chityny szczecinki (stanowiące np. element budowy parapodiów). Pod naskórkiem przebiegają zrośnięte z nim warstwy mięśni: **zewnątrzna** – zbudowana z mięśni okrężnych i **wewnętrzna** – złożona z mięśni podłużnych. Te ostatnie u siodełkowców występują w postaci czterech pasm: dwóch przygrzbietowych i dwóch przybrzusznych. Wnętrze jamy ciała wypełnia płyn, który krąży tylko w obrębie jednego segmentu. Razem z worem powłokowo-mięśniowym tworzy on szkielet hydrostatyczny.

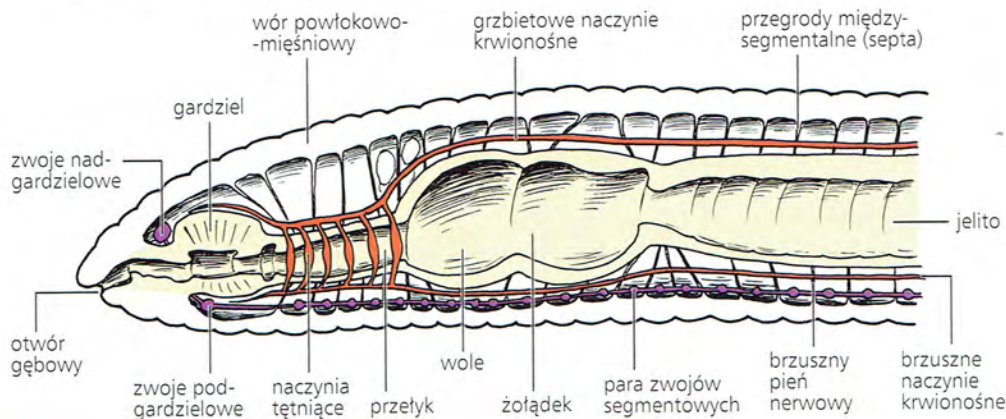


38.2. Przekrój przez ciało pierścienicy

Układ pokarmowy

Układ pokarmowy pierścienic składa się z trzech części: **jelita przedniego** i **tylnego** o charakterze ektodermalnym oraz z endodermalnego **jelita środkowego**. **138.3.1** W jelicie przednim wyróżniamy otwór gębowy z jamą gębową, gardziel i przełyk. Gardziel jest umięśniona, często wysuwana, u wielu gatunków drapieżnych (głównie wieloszczetów) może być zaopatrzona w szczęki i oskórkowe zęby. Pierścienice odżywiają się szczątkami organicznymi i mułozęrcy mają gruczoły ślinowe uchodzące do przełyku. U różnych gatunków siodełkowców na grani-

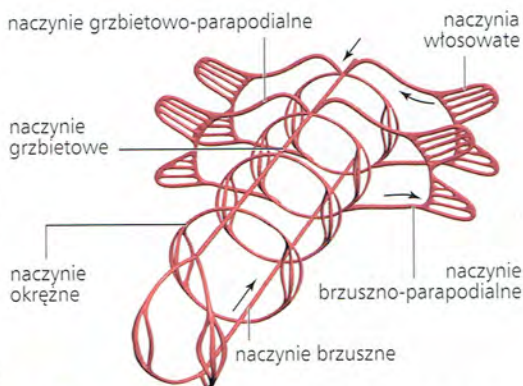
cy jelita przedniego i środkowego znajduje się wole. Jest to rozszerzenie jelita przedniego magazynujące pokarm. Liczne gatunki pierścienic na granicy jelita przedniego i środkowego mają także jeden bądź kilka żołądków mięsistych, których główną funkcją jest miażdżenie pokarmu. W jelicie środkowym lądowych siodełkowców występuje tak zwany **tyflosolis**. Jest to podłużny fałd zwisający do światła przewodu pokarmowego po grzbietowej jego stronie. Ma on za zadanie zwiększenie powierzchni trawiennej. Jelito tylne jest niewielkie.



38.3. Budowa układu pokarmowego pierścienic

Układ krążenia

U pierścienic pojawia się po raz pierwszy **zamknięty układ krwionośny**. **138.4.1** Zasadniczymi jego elementami są dwa naczynia podłużne: jedno **grzbietowe**, drugie **brzuszne**. Naczynia te w każdym segmencie połączone są poprzecznymi **naczyniami okrężnymi**. Naczynie grzbietowe jest najbardziej kurczliwe i pompuje krew od tyłu ku przodowi ciała. Z tego też powodu pełni funkcję serca, które jako oddzielny narząd u pierścienic nie występuje. Również część naczyń poprzecznych przedniego odcinka ciała poprzez swe zdolności kurczliwe może zwiększać tempo przepływu krwi. Oprócz naczyń głównych u pierścienic występują też naczynia włosowate. Szczególnie licznie spotkać je można w ścianie jelita środkowego, powłoce ciała czy parapodiach. Krew pierścienic składa



38.4. Budowa układu krwionośnego pierścienic

się z osocza, a także z bezbarwnych ciałek krwi. Barwnikami oddechowymi są: **hemoglobina**, **hemoerytryna** (oba czerwone) oraz **chlorokruoryna** (zielona). Od nich zależy zabarwienie krwi.

Układ oddechowy

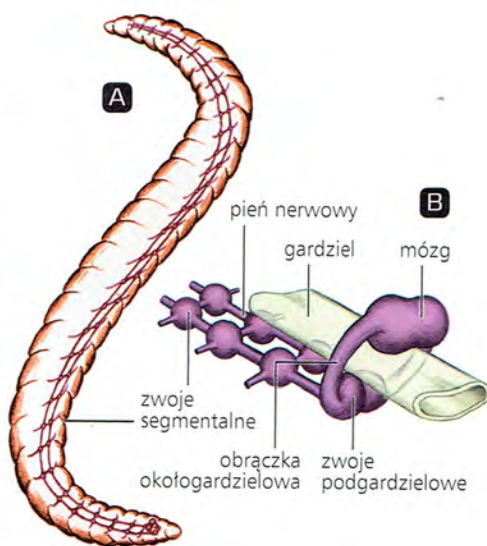
Większość wieloszczetów oraz niewielka liczba pozostałych wodnych gatunków pierścienic ma **skrzela zewnętrzne**. Są to cienkościenne wyrostki naskórka, zawierające naczynia krwionośne zwiększające powierzchnię wymiany gazowej. Znajdują się one na parapodiach bądź bezpośrednio na segmentach głowy i tułowia.

Wieloszczety pasożytnicze oraz większość siołkowców nie mają wykształconego układu oddechowego, co sprawia, że oddychają **całą powierzchnią ciała**. Wymianę gazową znacznie ułatwiają im włosowate naczynia krwionośne występujące w pokryciu ciała, które odchodzą od centralnych elementów układu krążenia.

Układ nerwowy

Układ nerwowy u pierścienic jest **typu drabinkowego**. Jego centralna część znajduje się w części głowowej i jest złożona z pary zwojów nadgardzielowych (zwanymi także mózgiem) oraz pary zwojów podgardzielowych połączonych obrączką okołogardzielową otaczającą przewód pokarmowy. Od zwojów podgardzielowych odchodzą wzdłuż ciała dwa brzuszenie nerwowe wytwarzające w każdym segmencie parę zwojów połączonych poprzecznymi **spoidłami** (komisurami). **[38.5.1]** U bardziej ewolucyjnie zaawansowanych form obserwowana jest tendencja do zlewania się brzusznych pni nerwowych w jeden łańcuszek nerwowy.

Narządami zmysłów u pierścienic są przede wszystkim **receptory dotykowe** i **chemiczne** oraz **oczy**. Te ostatnie w zależności od gatunku mają postać prostych plamek barwnikowych reagujących na zmiany natężenia światła lub cechują się złożoną budową pęcherzykową. W oku typu pęcherzykowego komórki receptorowe wypełniają wewnętrzną warstwę pęcherzyka (znajdującego się pod powierzchnią epidermy) i dodatkowo wytwarzają ciało szkliste wspomagające proces załamkiwania światła, a więc działające



38.5. Budowa układu nerwowego pierścienic

na zasadzie soczewki. Najlepiej rozwinięte narządy zmysłów obserwuje się u drapieżnych wieloszczetów.

Układ wydalniczy

Charakterystycznymi narządami wydalniczymi pierścienic są **metanefrydia**. Występują one parami w każdym segmencie ciała oprócz kilku przednich i tylnych metamerów. Pojedyncze **metanefrydium** złożone jest z orzęsionego lejka otwartego do jamy ciała w jednym segmencie oraz krętego kanalika przebiegają-

cego septę i otwierającego się w następnym segmencie na zewnątrz. Układ wydalniczy pierścienic nazywamy **metanefrydialnym**, ponieważ jest zbudowany z metanefrydiów. Produktem przemian azotowych u pierścienic lądowych jest mocznik, a u wodnych – przede wszystkim amoniak.

Układ rozrodczy

U pierścienic wyróżniamy gatunki rozdzielnopłciowe (większość wieloszczetów poza pasożytami) oraz hermafrodytyczne (u których występuje zapłodnienie krzyżowe). Gonady pierścienic ułożone są metamerycznie. U siodełkowców występuje specjalna struktura – **siodełko** [38.6.1], którego wydzielina tworzy kokon, gdzie składane są jaja. U wszystkich przedstawicieli siodełkowców mamy do czynienia z rozwojem prostym. Pierścienice rozmnażają się przede wszystkim płciowo, jednak nieliczne gatunki wieloszczetów i siodełkowców są zdolne do rozmnażania bezpłciowego. Odbywa się to poprzez podział poprzeczny na dwie lub więcej części.



38.6. Pokrój ciała dżdżownicy z wyraźnie widocznym siodełkiem

PODSUMOWANIE

- Pierścienice to zwierzęta o ciele wydłużonym, podzielonym na segmenty zwane metamerami.
- Sąsiednie metamery oddzielone są przez septy, czyli przegrody poprzeczne.
- U niektórych gatunków wieloszczetów pojawiają się początki cefalizacji (tzn. wyodrębnia się odcinek głowowy).
- Ciało pierścienic otacza wór powłokowo-mięśniowy zbudowany z naskórka, który wytwarza na zewnętrznej powierzchni warstwę oskórka.
- Po wewnętrznej stronie naskórka znajdują się mięśnie okrężne i podłużne.
- U pierścienic następuje wyraźna specjalizacja odcinków przewodu pokarmowego.
- Układ krążenia u pierścienic jest zamknięty.
- Układ nerwowy pierścienic ma charakter drabinkowy z czterema większymi zwojami w przedniej części ciała.
- Układ wydalniczy ma postać metanefrydiów i jest obecny w każdym segmencie ciała.
- Wśród pierścienic wyróżnia się zarówno gatunki rozdzielnopłciowe, jak i hermafrodytyczne (obojnacie).



ZADANIA

1. Opisz mechanizm wymiany gazowej u pierścienic lądowych.
2. Jakie znaczenie ma pierwszy segment ciała pierścienic?
3. Segmenty znajdujące się w różnych częściach ciała znacznie się różnią. Jest to związane z odmiennością funkcji pełnionych przez te odcinki. Ustal, jakiego rodzaju metamerii dotyczy dany opis.
4. Określ, które z dużych naczyń krwionośnych pełni funkcję serca u pierścienic.
5. Przedstaw budowę układu nerwowego pierścienic.
6. Określ funkcje wymienionych fragmentów ciała pierścienic: celoma, tyflosolis, siodełko, parapodium.



W INTERNECIE

- <http://www.earthlife.net/inverts/annelida.html>
- <http://www.tolweb.org/Annelida>



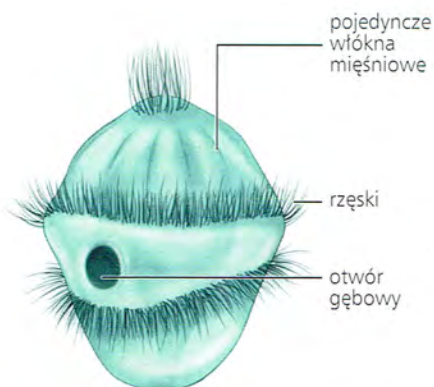
39. Przegląd systematyczny i znaczenie pierścienic

Do pierścienic zalicza się obecnie dwie gromady. Pierwszą z nich są **wieloszczety** (*Polychaeta*) z typowym przedstawicielem – nereidą. Drugą gromadą są **siodełkowce** (*Clitellata*) obejmujące podgromady skąposzczetów oraz pijawek.

Wieloszczety (*Polychaeta*)

To najliczniejsza i najbardziej pierwotna gromada pierścienic. Należą tu formy morskie, wolno żyjące. Spotyka się je we wszystkich strefach klimatycznych. Cechą charakterystyczną wieloszczetów są **parapodia**, czyli przynóżki znajdujące się na każdym segmencie, oprócz płatów stanowiących głowę i płatu odbytowego. Wieloszczety są na ogół **rozdzielnopłciowe**. W ich cyklu rozwojowym występuje wolno pływająca larwa zwana **trochoforą**. **39.1.1** Wyróżniamy w niej część górną i dolną. Granice obu części wyznacza położenie otworu gębowego. Larwa zaopatrzona jest w parę protonefrydów. Jej wnętrze wypełnia blastocel (pierwotna jama ciała). Wieloszczety charakteryzują się olbrzymią zdolnością do regeneracji. Procesowi temu mogą ulegać głaszczki, czułki, parapodia oraz tylne partie ciała. U gatunków rozmnażających się wegetatywnie z pojedynczego segmentu może się zregenerować całe ciało.

Typowym przykładem wieloszczeta jest **nereida różnokolorowa** (osiąga długość ok. 20 cm). **39.2.1** Jej ciało jest wydłużone, grzbietobrzuszenie spłaszczone. W wyraźnie zaznaczonej części głowowej występują dwie



39.1. Trochofora – postać larwalna spotykana u wieloszczetów

pary oczu, dwa czułki i dwie głaszczki. Na pygidium znajdują się wąsy odbytowe. Parapodia są wyraźnie rozwinięte, dwugłaziowe, a gardziel jest wysuwana, uzbrojona w zakrzywione szczęki i ząbki. Nereida różnokolorowa żyje przy dnie w Bałtyku, Morzu Północnym i Oceanie Atlantyckim.

Innym przykładem wieloszczeta jest **nalepian morski** (o długości do 20 cm), zwany paskówką lub piasecznikiem. **39.3.1**

39.2. Nereida różnokolorowa (*Nereis diversicolor*)



39.3. Nalepian morski (*Arenicola marina*)



Ma wydłużone, obłe ciało o heteronomicznej segmentacji, w którym można wyróżnić głowę bez przysadek, tułów i ogon. Na segmentach tułowia występują zmodyfikowane parapodia oraz 13 par drzewkowatych skrzel. Gardziel jest wysuwana, lecz nieuzbrojona. Dzięki niej nalepian draży jamy i pobiera pokarm (żywi się mułem). Jest gatunkiem kosmopolitycznym. Występuje w strefie przybrzeżnej mórz, również Bałtyku. Cechuje go rozdzielność.

Siodełkowce (*Clitellata*)

To gromada pierścienic występująca w wodach słodkich oraz glebie. Spotkać je można we wszystkich strefach kuli ziemskiej. Charakteryzują się one walcowatym przekrojem ciała, brakiem zaznaczonej głowy i parapodiów oraz wyraźną metamerią homonomiczną. Nie mają przydatków gębowych (nieliczne gatunki mają czułki). Prostomium ma kształt drobnego stożka, obejmuje jeden segment tułowiowy. Wielkość siodełkowców, do których zaliczamy **podgromady skąposzczetów** (*Oligochaeta*) oraz **pijawek** (*Hirudinea*), waha się od kilku dziesiątych milimetra do kilku centymetrów (znane są też dochodzące do kilku metrów gatunki tropikalne i dżdżownice australijskie). W toku ewolucji u większości siodełkowców z parapodiów zachowały się jedynie szczecinki, z których wytwarzanie odpowiadają wyspecjalizowane, pojedyncze komórki naskórka. Licz-

:: Ciekawostka

Niektóre gatunki pierścienic mają zdolność świecenia, czyli **bioluminescencji**. Część z nich produkuje lucyferynę i lucyferazę, a inne współżyją z gatunkami bakterii bioluminescencyjnych. Jeszcze inne – podrażnione – są zdolne do wyrzucania przez otwór gębowy bądź odbytowy świecącego śluzu. Samce niektórych gatunków świecą natomiast w czasie rozrodu, przywabiając w ten sposób samice.

ba i kształt szczecinek jest cechą gatunkową: u form pływających są one długie, u żyjących w glebie krótkie, jednak pomocne w poruszaniu się. W razie uszkodzenia mogą ulegać regeneracji, do której skąposzczety (podobnie jak wieloszczety) posiadają ogromne zdolności. Charakterystyczne dla tej grupy zwierząt **siodełko** (*clitellum*) jest zespołem kilku przednich metamerów tułowia związanych bezpośrednio z rozrodem. W siodełku znajdują się jednokomórkowe gruczoły naskórkowe, produkujące wydzielinę ułatwiającą sklejanie się osobników w trakcie kopulacji. Siodełkowce są obojnaki, a zapłodnienie ma charakter krzyżowy. W rozwoju nie występuje larwa.

W Polsce żyje około 200 gatunków skąposzczetów, spośród których najlepiej opisane są dżdżownice (ponad 30 gatunków). Najpopularniejsza i najbardziej znana jest **dżdżownica**

:: Doświadczenie

Założ hodowlę dżdżownic. W tym celu przygotuj szklane naczynie (duży stój lub niewielkie akwarium), które wypełnij na przemian warstwami ciemnej ziemi torfowej i jasnego piasku. Na wierzchu umieść warstwę liści. Do pojemnika wprowadź 10 dżdżownic zebranych w ogródku szkolnym. Zakryj pojemnik. Pamiętaj o codziennym zraszaniu go wodą. Obserwuj, jak zmienia się wygląd ziemi w naczyniu. Po zakończeniu eksperymentu podaj dwa argumenty potwierdzające tezę, że tryb życia oraz sposób odżywiania dżdżownic mają szczególne znaczenie w procesie użyzniania gleby.



39.4. Dżdżownica ziemna (*Lumbricus terrestris*)

39.5. Pijawka końska (*Haemopsis sanguisuga*)

ziemna (*Lumbricus terrestris*). 39.4.1 Jej ciało (o 90–300 mm długości przy średnicy ok. 8 mm) składa się z różnej liczby metamerów (od 110 do 180). Dżdżownica ziemna występuje powszechnie w wilgotnej glebie pól, łąk oraz lasów. Drąży w ziemi korytarze o głębokości dochodzącej do 1 metra. Wciąga do nich części roślin oraz leśną ściółkę, co przyczynia się do spulchniania i przewietrzania gleby.

Pijawki (*Hirudinea*) są jedną z najbardziej wyspecjalizowanych podgromad pierścienic. Nie mają parapodiów, czułków, głaszczki wąsów, u większości nie spotyka się również szczecinek. Ciało pijawek zbudowane jest z niewielkiej, stałej dla danego rzędu liczby homonimicznych metamerów (może ich być od 15 do 34, ale u większości gatunków są to 34 segmenty). Ważną cechą pijawek jest to, że wewnętrzna segmentacja nie odpowiada podziałowi zewnętrznemu. Podobnie jak inne siodełkowce, w czasie rozrodu pijawki wytwarzają siodełko, a ich cykl rozwojowy przebiega bez stadium larwalnego. Unikalną cechą tej podgromady jest występowanie dwóch przyssawek: **przedniej i tylnej**. Znanych jest około 500 gatunków pijawek, z czego w Polsce opisano około 20.

Pijawka końska, zwana krwiopijną lub wielożerną, występuje w stojących i wolno płynących wodach słodkich (osiąga wielkość od 10 do 20 cm). 39.5.1 Spotykana jest w Europie, zachodniej i środkowej Azji, a także w północnej Afryce. W Polsce jest gatunkiem pospolitym. Należy do rzędu pijawek szczękowych i jako taka ma ciało zbudowane z 34 segmentów. Jest ono wydłużone, w przekroju poprzecznym – eliptyczne. Pijawka końska, wbrew **mylącej nazwie**, nie

jest pasożytem i nie odżywia się krwią. To gatunek drapieżny, który żywi się larwami owadów, ślimakami, kijankami oraz narybkami.

Pijawka lekarska również należy do rzędu siodełkowatych pijawek szczękowych. 39.6.1 Ciało jej jest silnie wydłużone, po stronie brzusznej spłaszczone, po grzbietowej – uwypuklone. Po pobraniu pokarmu staje się obłe (może wówczas powiększyć objętość i masę nawet pięciokrotnie). Pijawka lekarska spotykana jest w mulistych zbiornikach wodnych w Europie, Azji, Afryce oraz Ameryce Północnej (osiąga długość ok. 15 cm). Posiada szczęki z zębami oraz uchyłki (w liczbie 10) w jelicie środkowym. Służą one do magazynowania krwi żywicieli (ssaków, płazów i gadów). Pijawka ta może przeżyć bez pokarmu nawet do 26 miesięcy. Młode osobniki również są drapieżne. Osiągają dojrzałość płciową po około 5 latach, czego warunkiem jest pobranie krwi żywiciela. Pijawki lekarskie były niegdyś

39.6. Pijawka lekarska (*Hirudo medicinalis*)

szeroko stosowane w medycynie ludowej. Obecnie stosuje się je niezwykle rzadko ze względu na groźbę zarażenia chorobotwórczymi mikroorganizmami i pasożytami wewnętrznymi. Przecięcie skóry przez pijawkę nie jest bolesne, gdyż wydzielają one substancję znieczulającą (po pewnym czasie mogą się jednak pojawić obrzęk i bolesne swędzenie w okolicy nacięcia). Pijawki wydzielają również **hirudynę** zapobiegającą krzepnięciu krwi, którą niekiedy wykorzystuje się w medycynie, a pozyskuje ze sztucznych hodowli.

Z kolei **pijawka rybia** należy do rzędu pijawek ryjkowych. **139.7.1** Ma wydłużone, cylindryczne ciało (osiąga wielkość do 5 cm). Spotkać ją można w strefie umiarkowanej (w Europie i Azji). Występuje również w Ameryce Północnej, gdzie została zawleczona razem z karpem. W Polsce występuje na niżu, w ciepłych wodach stojących oraz płynących. Spotykana jest również w Bałtyku. Poluje na ryby, żywi się ich krwią. Powoduje znaczne straty w hodowlanych stawach rybnych.

:: Ciekawostka

U wybrzeży Fidżi oraz Samoa występuje wieloszczet o nazwie **palolo** (*Palola viridis*). Blisko 90% osobników tego gatunku wyrzuca do wody jaja oraz plemniki w ciągu kilku godzin, podczas jednej nocy w roku. Zazwyczaj dzieje się to w listopadzie, w ostatniej kwadrze księżyca, gdy pływy morskie są najniższe, i tuż po zapadnięciu ciemności, gdyż jest to najkorzystniejszy moment do rozrodu. Synchronizacja ta uwarunkowana jest przez rytmy: sezonowy, księżycowy i dobowy. Odzucona tylna część ciała wieloszczeta na powierzchni wody ulega rozerwaniu, umożliwiając plemnikom i jajom zapłodnienie. Przez tubylców fragmenty palolo uważane są za smakołyk i nazywane robakami. Spożywane są na surowo, wędzone lub smażone w liściach. Okres połowu jest lokalnym świętem o długiej tradycji. O występowaniu i połowie robaków palolo naukowcy dowiedzieli się od ludności Samoa w XIX wieku.

39.7. Pijawka rybia (*Piscicola geometra*)



Znaczenie pierścienic

- Są to glebożercy odgrywający znaczącą rolę w spulchnianiu gleby.
- Pijawki mogą roznosić choroby wywołane przez mikroorganizmy. Powodują również szkody w hodowlach ryb.
- Wieloszczety będące drapieżnikami i saprofagami stanowią istotny element morskich ekosystemów, gdyż biorą udział w obiegu materii.
- Liczne gatunki wieloszczetów stanowią pokarm dla ryb i stawonogów.
- Skąposzczety należące do siodełkowców mogą być pokarmem dla zwierząt wodnych, szczególnie ryb.

:: Ciekawostka

Rurkoczulkowce (*Siboglinidae*) to osiadłe organizmy zaliczane do wieloszczetów. Żyją w morzach o pełnym zasoleniu i na dużych głębokościach (od 200 do nawet 10 000 m poniżej lustra wody). Liczne gatunki tworzą charakterystyczną faunę obszarów położonych blisko ujść podmorskich gorących źródeł, bogatych w związki siarki. Rurkoczulkowce (osiągające długość od 5 cm aż do 3 m) mają nitkowate ciało, a ich szkielet zewnętrzny stanowią oskórkowe **długie domki**. Domki te, zakopane w piasku lub mule dna morskiego, zbudowane są z chityny oraz skleroprotein, mogą być niekiedy inkrustowane szczątkami roślin lub zwierząt. Mimo że rurkoczulkowce nie są pasożytami, nie mają układu pokarmowego (żywią się rozpuszczonymi w wodzie substancjami organicznymi). Przedstawiciele tej gromady nie opuszczają swoich domków ani się nie przemieszczają. Rurkoczulkowce są **rozdzielnopłciowe**. Zapłodnienie ze względu na osiadły tryb życia jest zewnętrzne.



PODSUMOWANIE



- Wieloszczety mają parę parapodiów na każdym segmencie.
- Każde parapodium zawiera dwie gałązki (górną i dolną).
- U form wodnych występują skrzel zewnętrzne.
- W rozwoju wieloszczetów występuje larwa (trochofora). Nie obserwuje się jej u siodełkowców, które cechuje rozwój prosty.
- Wieloszczety charakteryzuje olbrzymia zdolność do regeneracji.
- Przykładem wieloszczetów są nalepian morski i nereida różnokolorowa.
- Siodełkowce zamiast parapodiów posiadają w każdym segmencie cztery pary krótkich, wspomagających ruch szczecinek.
- Unikalną cechą anatomiczną pijawek jest posiadanie przyssawek (przedniej i tylnej).
- Pijawki odżywiające się krwią wydzielają hirudynę zapobiegającą jej krzepnięciu.

ZADANIA



1. Scharakteryzuj budowę larwy występującej u wieloszczetów.
2. Znajdź w dostępnych źródłach dane dotyczące liczebności gatunkowej omawianych gromad pierścienic.
3. Oceń prawdopodobne przyczyny, które doprowadziły do wykształcenia obojnactwa w toku ewolucji u skąposzczetów (siodełkowców). Jak jest znaczenie tego procesu?
4. Niektóre pijawki mogą przeżyć bez pobierania pokarmu nawet przez kilkanaście miesięcy. Jaka cecha budowy anatomicznej im to umożliwia?

BIBLIOGRAFIA



- Rajski A., *Zoologia*, Warszawa 1997.
- Jura C., *Bezkęrgowce*, Warszawa 2005.

W INTERNECIE



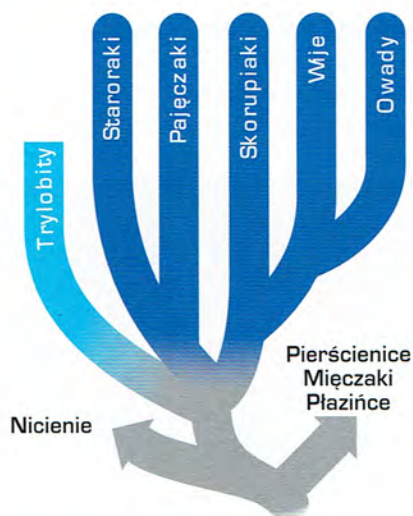
<http://www.ucmp.berkeley.edu/annelida/annelida.html>

40. Budowa zewnętrzna stawonogów

Stawonogi (*Arthropoda*) są najbardziej obfitującą w gatunki grupą zwierząt (dotychczas poznano ich i opisano ponad 1,5 mln gatunków, a liczba ta stale się zwiększa). Można je odnaleźć niemal we wszystkich biotopach występujących na Ziemi, na przykład w głębinach mórz, wodach słodkich czy gorących źródłach. Stawonogi to również jedyna grupa bezkręgowców w pełni zaadaptowana do życia na lądzie (spotyka się je nawet w najwyższych partiach gór). W zdecydowanej większości są to zwierzęta wolno żyjące – formy osiadłe występują rzadko. Wiele z nich to komensale lub pasożyty innych zwierząt. Mogą też stanowić wektory chorób zakaźnych (np. komar widliszek). Swoją sukces ekologiczny zawdzięczają kluczowym przystosowaniom anatomicznym i fizjologicznym oraz olbrzymiej rozrodczości. Niektóre postacie rozwojowe stawonogów (od jaj poprzez larwy aż po osobniki dorosłe) cechuje zdolność do czasowego obniżenia tempa metabolizmu celem przetrwania niekorzystnych warunków środowiska. Zjawisko to, zwane **diapauzą**, sprawia, że stawonogi są **eurybiontami** tolerującymi ekstremalne różnice temperatur (od -240°C do 104°C). Zwierzęta te stanowią grupę skrajnie zróżnicowaną pod względem długości życia (np. dorosłe postaci **jętki jednodniówki** żyją zaledwie jeden dzień, pajak ptasznik może dożyć 15 lat, a kraby – nawet do 35 lat).

Budowa ciała stawonogów

Współczesne stawonogi są w zdecydowanej większości zwierzętami o niewielkich rozmiarach. Najmniejsze owady (mierzące 0,1 mm, należące do błeszkotek) są tak małe, że mogłyby bez trudu przecisnąć się przez ucho igły. Nieliczne duże formy osiągają 30 centymetrów rozpiętości skrzydeł (np. ćma – *Attacus atlas*). Charakterystyczną cechą budowy ciała stawonogów jest widoczna **metameria** (segmentacja) **heteronomiczna**. Polega ona na zrastaniu się metamerów (segmentów) w strukturę zwane **tagmami**. Wyróżniamy trzy zasadnicze rodzaje tagm: **głowę**, **tułów** oraz **odwłok**. U wielu gatunków w trakcie rozwoju część segmentów tułowia może łączyć się z tagmą głowową i tworzyć **głowotułów**.



Porównanie planu budowy czterech najważniejszych



256

pajęczaki



skorupiaki

Pokrycie ciała

U stawonogów występuje tworzony przez oskórek (kutykulę) gruby **szkielet zewnętrzny**. Składa się on z ułożonych naprzemiennie warstw wielocukru (chityny) oraz białka. Kutykula bywa dodatkowo wysycona związkami wapnia nadającymi jej dużą wytrzymałość. Zadaniem szkieletu zewnętrznego jest ochrona mechaniczna narządów wewnętrznych. Stanowi on również miejsce przyczepu mięśni poruszających odnóżami. Mimo swojej grubości i sztywności nie ogranicza ruchów ciała, gdyż składa się z płytek połączonych elastycznymi elementami (zbudowanymi z samej chityny). Wadą szkieletu zewnętrznego jest jego ciężar oraz to, że uniemożliwia ciągły wzrost zwierzęcia. Problem ten stawonogi rozwiązują, wykorzystując mechanizm **linienia**. Polega on na okresowym zrzucaniu całego twardego oskórka, co poprzedza wytworzenie pod jego warstwą nowej pokrywy ciała. Zanim ona stwardnieje, ciało stawonoga może zwiększyć swoje rozmiary (jest to tzw. **wzrost skokowy**). Do czasu stwardnienia nowego pancerza zewnętrznego zwierzę jest wyjątkowo wrażliwe na ataki drapieżników i pasożytów.

Głowa (cephalon)

Ta część ciała stawonogów powstaje przez połączenie przednich segmentów w następstwie procesu zwanego cefalizacją. Stopień zespolenia tych segmentów jest tak daleki, że nawet w stadium larwalnym nie da się ich wyodrębnić. Na podstawie pewnych charakterystycznych cech można jednak określić liczbę i rodzaj odcinków budujących głowę. Pierwszy z nich, akron, zwany jest również płatem przedgębowym lub płatem

❖ Ciekawostka

Zróżnicowanie segmentów najlepiej widoczne jest u form dojrzałych (w rozwoju zarodkowym stawonogi cechuje segmentacja **homonomiczna**). Znamienny jest fakt, że z im bardziej pierwotną (prymitywną) grupą tych zwierząt mamy do czynienia, tym bardziej homonomiczną budowę wykazują. U owadów, stanowiących szczytowe osiągnięcie ewolucji stawonogów, **heteronomiczna** budowa ciała jest najwyraźniej zaznaczona.

ocznym. Znajdują się na nim narządy wzroku (oczy). Na pozostałych segmentach głowowych zlokalizowane są parzyste odnóże, u różnych grup różnie wykształcone. Po brzusznej stronie głowy występuje otwór gębowy. W głowie znajduje się centralny ośrodek nerwowy, mający u stawonogów postać zwojów mózgowych i podprętykowych oraz obrączki okołoprętkowej.

Tułów (thorax)

Znajduje się za tagmą głowową. Jest miejscem wykształcenia odnóży lokomocyjnych. Wymarłe trylobitowce oraz żyjące współcześnie wiję mają ciało złożone jedynie z głowy i tułowia. Elementy układu pokarmowego i rozrodczego są u nich zlokalizowane w tej części ciała, natomiast u pozostałych grup stawonogów ulegają one przesunięciu do odwłoka. **Tagma tułowiowa** może być złożona z różnej liczby segmentów (np. u owadów składa się z trzech odcinków).

grup stawonogów



Porównaj rodzaje oraz budowę tagm u poszczególnych grup stawonogów.



wije



owady 257

Odwłok (*abomen*)

U większości grup stawonogów to tutaj zlokalizowane są podstawowe elementy układu pokarmowego i rozrodczego. Na części segmentów tworzących odwłok (których liczba może być różna) mogą się znajdować odnóża kroczone. Ostatni segment odwłoka określany jest jako telson.

Odnóża (*podia*)

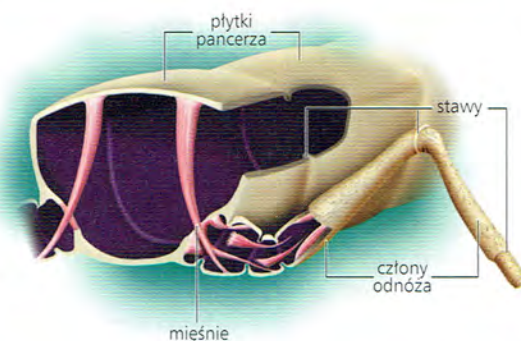
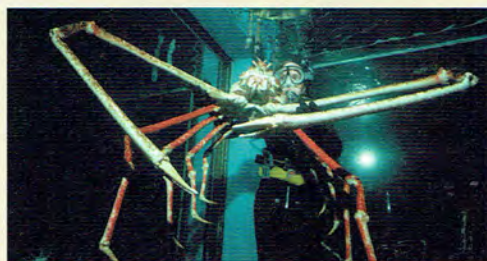
U najprymitywniejszych stawonogów (współcześnie żyjące wije oraz wymarłe trylobitowce) każdy segment ciała (z wyjątkiem akronu i telsonu) jest wyposażony w parę **odnóży** złożonych z członów połączonych **stawami**. Mięśnie poruszające członami kończyn są zlokalizowane w ich wnętrzu i u większości stawonogów składają się z działających antagonistycznie zginaczy i prostowników. **40.1.1** Zapewnia to dużą precyzję ruchów (wykorzystywaną np. przez pająki w trakcie przędzenia nici). Stawonogi mają różną liczbę odnóży: skorupiaki mają 5 lub więcej par, pajęczaki – 4 pary, owady – 3 pary, a wije – nawet powyżej 100 par.

Największy stopień specjalizacji charakteryzuje odnóża zlokalizowane na tagmie głowowej. Ulegają one daleko idącym adaptacjom: przekształcają się w narządy służące pobieraniu pokarmu (**narządy gębowe**) lub **narządy zmysłów** zwane czułkami (antenami).

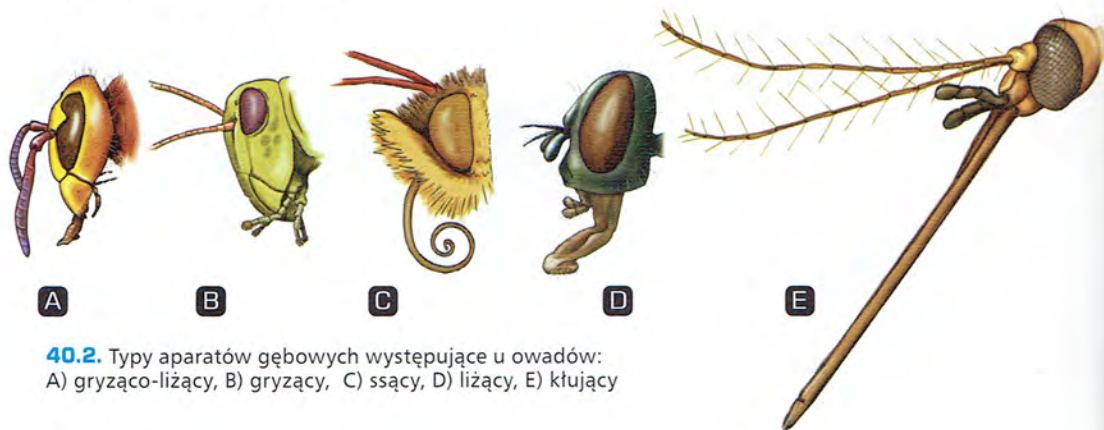
Narządy gębowe są bardzo zróżnicowaną grupą odnóży głowowych. **40.2.1** Ich liczba oraz budowa zależy w znacznym stopniu od rodzaju i sposobu pobieranego pokarmu. Wyróżniamy tutaj: żuwaczki, szczęki, szczękonoża, szczękoczułki oraz nogogłaszczki.

:: Ciekawostka

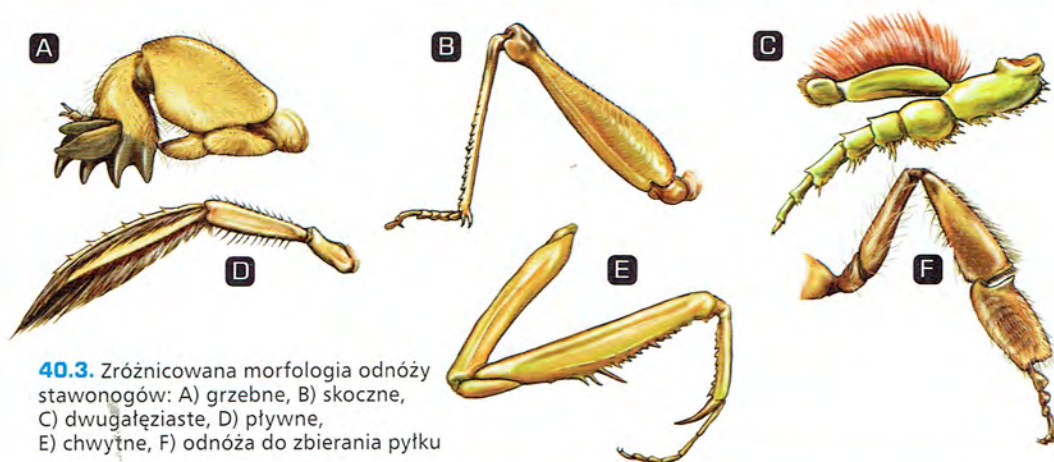
Niektórzy badacze uważają, że najdłużej żyjącym i jednocześnie największym stawonogiem na świecie jest japoński **krab pacyficzny** (*Macrocheira kaempferi*). Jego głowotułów mierzy około 40 centymetrów, a rozpiętość ramion sięga nawet 3 metrów przy wadze dochodzącej do 20 kilogramów. Według niektórych szacunków krab ten może dożywać nawet 100 lat. Dokładne określenie długości jego życia jest trudne ze względu na fakt, że żyje on na dużych głębokościach.



40.1. Schemat budowy układu mięśniowego zawiadującego ruchem odnóży u stawonoga.



40.2. Typy aparatów gębowych występujące u owadów:
A) gryząco-liżący, B) gryzący, C) ssący, D) liżący, E) kłujący



40.3. Zróżnicowana morfologia odnóży stawonogów: A) grzebne, B) skoczne, C) dwugałęziaste, D) pływne, E) chwytywne, F) odnóża do zbierania pyłku

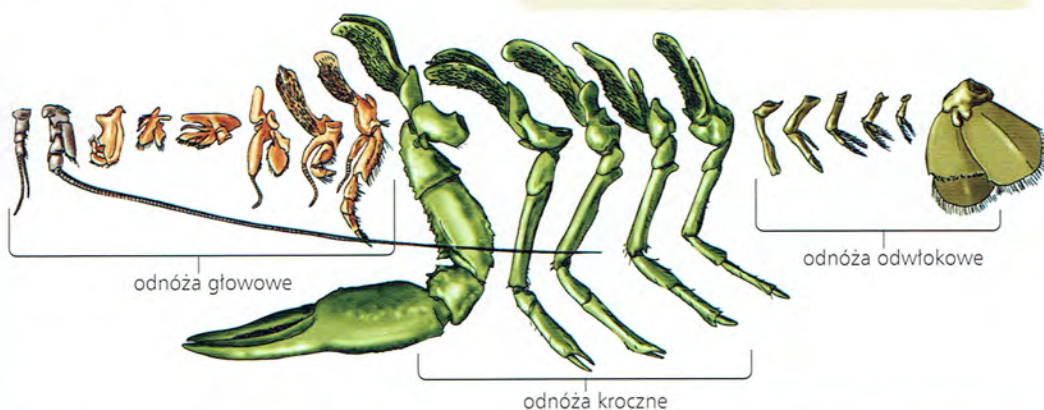
Czułki to typ odnóży spotykany na grzbietowej części głowy u skorupiaków, wijów oraz owadów. Skorupiaki mają dwie pary czułek: jednogąłęziowe czułki pierwszej pary (anteny) oraz dwugałęziowe czułki drugiej pary (anteny). U owadów i wijów występuje tylko jedna para jednogąłęziowych czułek. Są one miejscem dużej koncentracji włosków czuciowych i chemoreceptorów.

Odnóża tułowiowe **[40.3.1]** pełnią przede wszystkim funkcje lokomotoryczne. W zależności od sposobu poruszania się i trybu życia stawonogów ich budowa może się znacząco różnić.

Odnóża odwłokowe spotykane są głównie u skorupiaków. **[40.4.1]** Pełnią funkcje lokomotoryczne, oddechowe lub służą jako narządy kopulacyjne. U pajęczaków mogą funkcjonować jako narządy przędne, nigdy jednak nie pełnią funkcji lokomotorycznych.

:: Ciekawostka

Niektóre gatunki prymitywnych **skorupiaków** prostują odnóża hydrostatycznie (pod wpływem ciśnienia płynu wypełniającego jamy ciała), a zginają za pomocą mięśni. Jest tak, ponieważ organizmy te nie dysponują mięśniami antagonistycznymi. Taki mechanizm można zaobserwować u **pratchawców** zaliczanych w niektórych systematykach do podtypu stawonogów, według innych traktowanych jako postać przejściowa między nicieniami a właściwymi stawonogami.



40.4. Odnóża raka



Przeanalizuj budowę i rodzaje odnóży raka. Do których tagm budujących ciało raka należą odnóża przedstawione na rycinie?

PODSUMOWANIE



- Ciało stawonogów zbudowane jest ze zróżnicowanych morfologicznie segmentów (metamerów).
- Sąsiednie metamery mogą się zrastać, tworząc trzy główne tagmy: głowę, tułów oraz odwłok.
- U niektórych gatunków głowa i tułów zrasta się w głowotułów.
- Ciało wijów składa się tylko z dwóch tagm, nie występuje u nich odwłok.
- Odnóża stawonogów mają budowę rurkowatą i są połączone stawowo (stąd nazwa grupy).
- Szkielet zewnętrzny stawonogów jest tworzony przez oskórek (kutykulę).
- Obecność szkieletu zewnętrznego uniemożliwia stały wzrost zwierzęcia, dlatego szkielet ten jest okresowo zrzućany. Zjawisko to nosi nazwę linienia.
- Proces cefalizacji jest widoczny u wszystkich grup stawonogów.
- Pierwszy segment głowowy to akron, ostatni segment ciała – telson.
- Odnóża stawonogów poruszają się za pomocą mięśni, które wykazują działanie antagonistyczne (występują zginacze i prostowniki).
- Wśród narządów gębowych stawonogów wyróżniamy: żuwaczki, szczęki, szczękonoża, szczękoczułki oraz nogogłaszczki.
- Liczba kroczych odnóży tułowiowych jest charakterystyczna dla danej grupy stawonogów. Najmniej wstępuje ich u owadów (3 pary), pajęczaków (4 pary), skorupiaków (5 lub więcej par), najwięcej – u wijów (do ponad 100 par).
- Głowa większości stawonogów zaopatrzona jest w czułki będące miejscem dużej koncentracji włosków czuciowych i chemoreceptorów.

ZADANIA



1. Wyjaśnij, z czego zbudowane są tagmy oraz jakie rodzaje tagm są spotykane u stawonogów.
2. Określ występujący u stawonogów typ wzrostu ściśle związany z procesem linienia.
3. Uzupełnij tabelę poniżej, wpisując do niej informacje dotyczące budowy stawonogów.

Cecha	Owady	Skorupiaki	Wije	Pajęczaki
Rodzaje tagm				
Czułki				
Narządy gębowe				
Odnóża krocze				
Odnóża odwłokowe				

BIBLIOGRAFIA



- Piotrowski F., *Stawonogi. Sprzymierzeńcy i wrogowie człowieka i zwierząt*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.
- *Świat zwierząt*, opracowanie zbiorowe, MULTICO Oficyna Wydawnicza, Warszawa 1997.

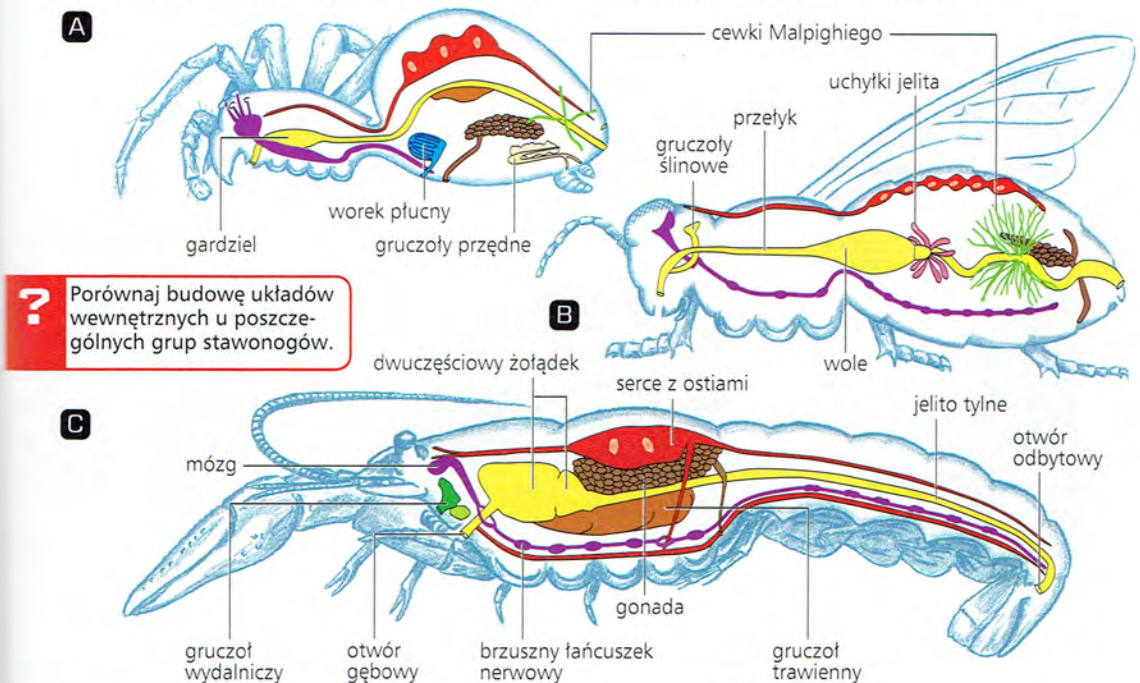
41. Budowa wewnętrzna stawonogów

Budowa wewnętrzna stawonogów jest przejawem licznych przystosowań do warunków środowiska, w których zwierzęta te mogą występować. Przykładem może być układ oddechowy sprawnie dostarczający tlen do tkanek zarówno u gatunków wodnych, jak i żyjących na lądzie. Układ krwionośny, mimo że jest otwarty, skutecznie zaopatruje stawonogi w substancje odżywcze, a dobrze rozwinięty układ nerwowy owadów pozwala na wykształcenie instynktownych zachowań społecznych (widocznych np. u mrówek lub pszczół).

Układ pokarmowy

Stawonogi to zwierzęta przystosowane do pobierania bardzo różnorodnego pokarmu. Ich układ pokarmowy zwykle jest zgodny z typowym dla tej grupy wzorcem budowy. **41.1.1** Oznacza to, że podobnie jak u pierścienic, jest drożny i składa się z trzech odcinków: **jelita przedniego** (ektodermalnego), **środkowego** (endodermalnego) oraz **tylnego** (ektodermalnego). Pochodzące z ektodermy odcinki jelita (przednie i tylne) pokryte są warstwą kutykuli. Ponieważ kutykula jest nieprzepuszczalna dla wody i gazów, w jelicie przednim i tylnym nie zachodzą procesy trawienia i wchłaniania. Miejscem ich przeprowadzania jest jelito środkowe. Zanim pokarm do niego trafi, może zostać mechanicznie rozdrobniony przez odpowiednie na-

rzędy gębowe. Może też zostać wessany przez silnie umięśnioną gardziel i żołądek ssący (np. u komarów odżywiających się pokarmem płynnym czy różnych gatunków pajaków). Pokarm jest trawiony dzięki wydzielinie tak zwanego **gruczołu wątrobowo-trzustkowego**. Narząd ten ma postać silnie rozgałęzionych uwypukleń i uchyłków środkowej części jelita, które wystają na nabłonkiem gruczołowym. Odpowiada za wydzielanie enzymów, które zewnątrzkomórkowo i wewnątrzkomórkowo trawią pokarm obecny w tej części jelita. Nabłonek gruczołu jelita środkowego wchłania produkty trawienia, jak również magazynuje materiały zapasowe. Niestrawione lub niewchłonięte substancje są następnie wydalone otworem odbytowym.



? Porównaj budowę układów wewnętrznych u poszczególnych grup stawonogów.

41.1. Schemat rozmieszczenia narządów wewnętrznych u stawonogów: A) pajęczaków, B) owadów, C) skorupiaków

Układ mięśniowy

U stawonogów nie występuje spotykany u pierścienic wór powłokowo-mięśniowy. Komórki mięśniowe uległy rozdzieleniu na zespoły pełniące zróżnicowane funkcje. U niektórych gatunków owadów wykształciło się blisko 2000 odrębnych **zespołów mięśni**, wśród których wyróżnić można: **mięśnie segmentalne**, **mięśnie trzewiowe** (odpowiadające za motorykę narządów we-

wnętrzných) oraz **mięśnie odnóży** (zawiadujące pracą odnóży krocnych, czułków oraz aparatu gębowego). Włókna mięśniowe stawonogów są zbudowane nieco inaczej niż u kręgowców, jednak traktujemy je jako włókna **poprzecznie prążkowane**. Są one zdolne do bardzo częstych skurczów (np. mucha wykonuje na sekundę nawet 350 uderzeń skrzydłami).

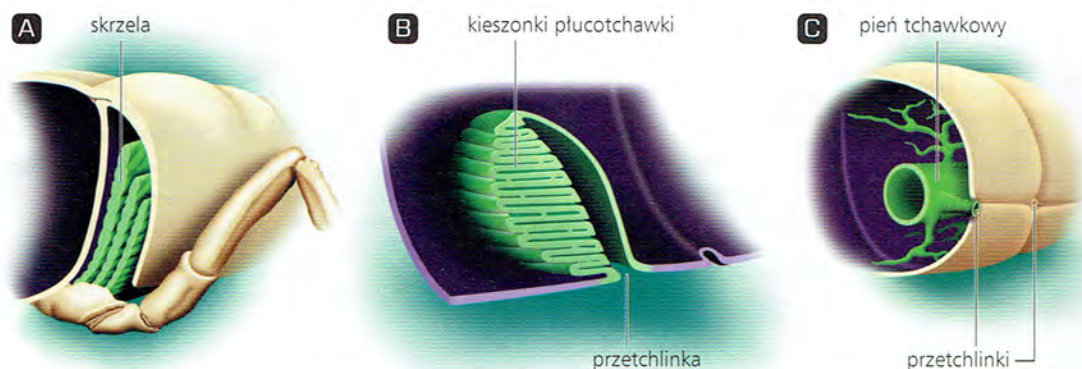
Układ oddechowy

Stawonogi w zależności od środowiska, w którym żyją, wykształciły różne narządy wymiany gazowej. Zalicza się do nich: **skrzelą**, **płucotchawki** lub **tchawki**. **41.2.1** U niektórych wodnych form larwalnych występują skrzelotchawki. **Skrzelą** stawonogów służą do przeprowadzania wymiany gazowej w wodzie. Mają formę cienkościennej wyrostków, wewnątrz których krąży krew. Mogą być osadzone na tułowi, odwłoku lub odnóżach.

Płucotchawki to narządy, których wykształcenie przyczyniło się do ewolucyjnego sukcesu pajęczaków w środowisku lądowym. Ta adaptacja umożliwiła wydajne pobieranie tlenu z powietrza atmosferycznego. Płucotchawki występują u pajęczaków i mają postać głębokich wpukleń na powierzchni ciała. Prowadzi do nich otwór zwany **przetchlina**, a wewnątrz komory wypełniają blaszkowate pofałdowania ułożone w stopy. W ich wnętrzu krąży płyn z jamy ciała.

Wymiana gazowa między nim a powietrzem atmosferycznym zachodzi na zasadzie dyfuzji.

Tchawki to inny typ narządów wymiany gazowej spotykany u stawonogów żyjących w warunkach lądowych. Mają one postać długich kanałów zbudowanych z chityny i pokrytych cienkim oskórkiem zapewniającym im elastyczność. Otwór prowadzący do wnętrza kanału to **przetchlina**. Kanały tchawkowe rozgałęziają się na coraz drobniejsze kanaliki zwane **tracheolami**, które dochodzą do niemal wszystkich komórek. Na końcach tracheoli znajdują się komórki oddechowe o kształtach gwiazdzystych, które dzięki długim wypustkom doprowadzają gazy oddechowe do każdej komórki leżącej w ich pobliżu. U stawonogów wyposażonych w tchawki to kanały tchawkowe, a nie krew, odpowiadają za doprowadzanie tlenu i usuwanie dwutlenku węgla z tkanek ciała.



41.2. Schemat budowy układu oddechowego stawonogów: A) skrzelą raka, B) płucotchawki pająka, C) tchawki owada



Opisz morfologiczne i funkcjonalne różnice pomiędzy skrzelami raka, płucotchawkami pająka oraz tchawkami owada.

Skrzelotchawki to narząd oddechowy spotykany tylko u form larwalnych owadów żyjących w wodzie (np. u larw ważek) **41.3.1**, występujący **na tułowie** lub **odwłoku**. Są to nitkowate, krzaczkowate lub blaszkowate uwypuklenia powierzchni ciała połączone z występującym wewnątrz systemem tchawek. Do skrzelotchawek tlen dyfunduje przez powłokę ciała, a wewnątrz organizmu rozprowadzany jest przez typowe tchawki.



41.3. Blaszkowate skrzelotchawki na odwłoku larwy ważki (*Odonata*).

Układ krwionośny

System krążenia występujący u stawonogów ma charakter **otwarty**. Występuje w nim serce, które u różnych grup stawonogów może mieć odmienny stopień komplikacji budowy. Pompuje ono płyn nazywany **hemolimfą**, która z serca wypływa dużym naczyniem (tzw. aortą) ku przodowi ciała. Tam wpływa do rozgałęzień zwanych **tętnicami**, by następnie wylewać się do wewnętrznych jam ciała zwanych **hemocelem**. Stamtąd hemolimfa płynie do **zatoki około-sercowej** i jest „wsysana” zwrótnie do serca przez specjalne otwory (**ostia**). Stopień rozwoju układu naczyniowego jest różny u różnych grup stawonogów, najczęściej jednak ma postać wy-

dłużonego grubego tętniącego naczynia, przebiegającego zawsze po grzbietowej stronie ciała. U form wyżej zorganizowanych (np. u owadów) ostia wyposażone są dodatkowo w zastawki, które wymuszają jeden kierunek przepływu płynu tkankowego przez serce. Hemolimfa stawonogów zbudowana jest z części płynnej oraz amebocytów. U niektórych grup w płynnym osoczu rozpuszczone mogą być barwniki oddechowe: **hemocyjanina** (nadająca krwi barwę niebieską) oraz **erytrokruoryna** i **hemoglobina** (występują rzadko, nadają barwę czerwoną). U stawonogów wyposażonych w tchawki krew nie transportuje gazów oddechowych.

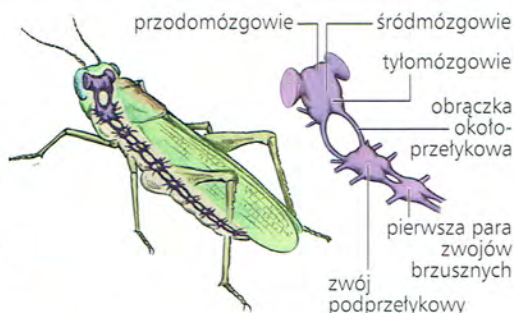
Układ wydalniczy

U stawonogów spotykamy się z dwoma typami narządów wydalniczych: **metanefrydiami** oraz **cewkami Malpighiego**. Metanefrydia występują u skorupiaków i części pajęczaków. Składają się z cienkościennej pęcherzyka połączonego z kanałem wyprowadzającym, który uchodzi na zewnątrz ciała specjalnym otworem. **Metanefrydiów** jest zwykle niewiele (ok. 4 par). Kiedy kanał wyprowadzający uchodzi u podstawy czułków, wówczas nazywa się go **gruczołem czułkowym** (antenalnym). Gdy uchodzi u podstawy szczęk, mówimy o **gruczole szczękowym** (skorupowych). U pajęczaków kanał wyprowadzający może też uchodzić u nasady odnóży – nosi wtedy nazwę **gruczołu biodrowego** (koksalnego). Płynne, zbędne produkty przemiany materii przenikają na drodze osmozy przez ściany pęcherzyków do wnętrza gruczołów, a następnie poprzez

kanaly wydostają się na zewnątrz organizmu. **Cewki Malpighiego** są podstawowymi elementami wydalniczymi większości stawonogów lądowych (dużej części pajęczaków oraz wszystkich owadów). Zlokalizowane są w końcowej części przewodu pokarmowego, na granicy jelita środkowego i tylnego. Mają postać nitkowatych odgałęzień odchodzących od niego promieniście. Występują zawsze parzyście, w liczbie od jednej do kilkuset par. Produkty przemiany materii obecne w hemolimfie drogą osmozy dostają się do wnętrza kanalików, a z nich przedostają się do światła jelita tylnego i wraz z odchodami usuwane są na zewnątrz organizmu. Stawonogi wodne wydalają głównie **amoniak**. U stawonogów lądowych wydalany jest przede wszystkim słabo rozpuszczalny w wodzie **kwaz moczowy** (owady) lub **guanina** (pajęczaki).

Układ nerwowy

Układ nerwowy stawonogów wykazuje budowę zbliżoną do układu nerwowego pierścienic, jednak jest o wiele lepiej zorganizowany. **41.4.1** W tagmie głowowej znajduje się centralny, parzysty zwoj nerwowy nazywany **mózgiem**. W obrębie mózgu zlokalizowane są **ośrodki kojarzenia** (tzw. **ciała grzybkowate**). Są one związane z procesem uczenia, zapamiętywania oraz rozpoznawania zapachów. Szczególnie silnie rozwinięte są u owadów społecznych (np. u pszczół). Zwoje nerwowe prymitywnych skorupiaków powstały ze złącia dwóch płatów, z których pierwszy nosi nazwę **przodomózgowia**, a drugi – **śródmózgowia**. U pozostałych stawonogów w mózgu obserwuje się również trzeci płat, zwany **tyłomózgiem**. Ze zwojów mózgowych stawonogów wychodzą pasma nerwowe (**konektywy**), które przebiegają po bokach przedniej części układu pokarmowego i tworzą **obraczkę okołoprzełykową**.

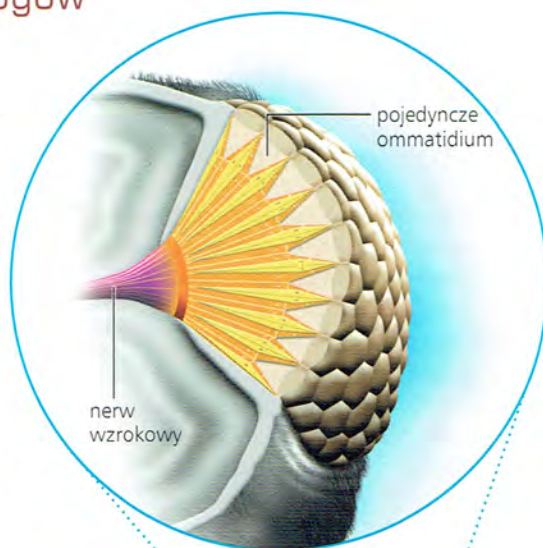


41.4. Budowa układu nerwowego u stawonogów

wą. Łączy ona mózg z leżącym po brzusznej stronie ciała **zwojem podprzełykowym**. Od niego odchodzą włókna nerwowe zaopatrzone w regularnie rozmieszczone **parzyste zwoje brzuszne**. U najprymitywniejszych stawonogów (jak przekopnica, rozwiłtka) układ nerwowy ma budowę zbliżoną do drabinkowej (podobnie jak u pierścienic). U form wyższych w układzie nerwowym widać tendencję do scalania par zwojów segmentalnych. W efekcie tego pojawia się pojedynczy, brzuszny łańcuch nerwowy.

Narządy zmysłów stawonogów

Stawonogi to zwierzęta znakomicie przystosowane do środowisk, w których żyją. Wyrazem tego jest doskonale rozwinięty układ zróżnicowanych narządów zmysłów. Wykształcenie sprawnie działającego **narządu wzroku** stało się jednym z najważniejszych przystosowań stawonogów do środowiska. U pajęczaków występują **oczy proste** (ocelle) zdolne jedynie do odbierania informacji o kierunku i natężeniu światła. Daleko bardziej skomplikowaną budowę wykazują tak zwane **oczy złożone** (występujące np. u owadów). **41.5.1** W ich skład wchodzi niekiedy nawet kilkadziesiąt tysięcy pojedynczych elementów zwanych **fasetkami** (ommatidiami). Każda pojedyncza fasetka jest od sąsiednich izolowana pigmentem, dlatego odbiera jedynie informację punktową. Dane docierające ze wszystkich fasetek tworzą **obraz złożony**, zwany **obrazem mozaikowym**. Każde ommatidium pokrywa przezroczysta warstwa oskórka (tzw. **rogówka**), pod którą znajduje się struktura zwana stożkiem krystalicznym. Zarówno rogowka, jak i stożki krystaliczne odpowiadają za załamywanie promieni świetlnych. Za



41.5. Model budowy oka złożonego owada na przykładzie muchy



odbiór wrażeń świetlnych odpowiadają leżące u podstawy ommatidium komórki zmysłowe tworzące **rdzeń światłoczuły**. Wyróżnia się dwa zasadnicze typy oczu złożonych: apozycyjne i superpozycyjne. **Oko apozycyjne** jest charakterystyczne dla owadów prowadzących dzienny tryb życia. Stożek krystaliczny i rdzeń światłoczuły są ściśle otoczone komórkami pigmentowymi, które wymuszają rozchodzenie się promieni świetlnych prostopadle do soczewki. Oko apozycyjne składa się z olbrzymiej ilości fasetek, a obraz jest ostrzejszy (przypomina obraz na ekranie monitora wyświetlony w większej rozdzielczości). **Oko superpozycyjne** (typowe dla owadów zmierzchowych i nocnych, a także skorupiaków) zawiera mniejszą liczbę fasetek. Słabsza jest również izolacja elementów światłoczułych. Powstający obraz jest mniej ostry, a stawonogi wyposażone w oko superpozycyjne muszą orientować się w przestrzeni, wykorzystu-

jąc również inne zmysły. U stawonogów istotną rolę odgrywa narząd słuchu, a także różnego rodzaju **chemoreceptory** odbierające informacje chemiczne (bodźce smakowe i zapachowe). U wielu gatunków są również obecne **włoski dotykowe**, **narządy strunowe** (informujące o stopniu napięcia mięśni) oraz **statocysty** (informujące o zmianach położenia ciała).

❖ Ciekawostka

Niektóre owady porozumiewające się za pomocą wydawanych dźwięków (np. świerszcze) wytworzyły specyficzny **narząd słuchowy** zwany **narządem tympanalnym** (bębenkowym). Jest on zlokalizowany najczęściej na odnóżach kroczych lub na granicy tułowia i odwłoka. To rodzaj rezonatora pokrytego błoną bębenkową, do której przylegają trójkomórkowe struktury (tzw. **skolopofory**) odbierające wrażenia akustyczne.

Układ rozrodczy

Większość stawonogów jest **rozdzielnopłciowa**, a gatunki hermafrodytyczne stanowią zdecydowaną mniejszość. Zarówno gonady (w liczbie jednej pary), jak i narządy płciowe zwykle rozmieszczone są na odwłoku. Dla wielu

gatunków charakterystyczny jest wyraźnie zaznaczony **dymorfizm płciowy**. Jaja stawonogów są na ogół bogate w żółtko, a w rozwoju pozazarodkowym często występuje stadium larwalne.

PODSUMOWANIE

- Dużym osiągnięciem ewolucyjnym stawonogów jest wykształcenie oczu złożonych.
- U stawonogów występują również chemoreceptory odbierające bodźce smakowe i zapachowe, włoski dotykowe, narządy strunowe oraz statocysty.
- Narządami wydalniczymi stawonogów są metanefrydia oraz cewki Malpighiego.
- Stawonogi w zależności od środowiska, w którym żyją, wykształciły różne narządy wymiany gazowej (skrzela, płucotchawki lub tchawki).
- Układ krwionośny stawonogów jest otwarty. Krew nazywana hemolimfą wylewa się z naczyń do jamy ciała, a następnie powraca do naczynia sercowego przez specjalne otwory (ostia).

ZADANIA

1. Porównaj budowę oka superpozycyjnego i apozycyjnego.
2. Dokonaj charakterystyki ośrodków kojarzenia, szczególnie dobrze rozwiniętych w mózgu owadów społecznych (np. pszczoł).
3. Znajdź w dostępnych źródłach wiadomości dotyczące zachowań godowych mrówek.
4. Wymień barwniki oddechowe, jakie mogą być rozpuszczone w osoczu różnych grup owadów, i określ, jaką barwę nadają krwi.
5. Sklasyfikuj i opisz trzy typy metanefrydiów występujących w układzie wydalniczym owadów.

BIBLIOGRAFIA

Reichholf-Riehm H., *Leksykon Przyrodniczy. Owady*, GeoCenter, Warszawa 1997.



42. Rozmnażanie i rozwój owadów

Owady są najliczniejszą gatunkowo grupą zwierząt. Związana z tym olbrzymia różnorodność form oraz zajmowanych siedlisk spowodowała pojawienie się różnych typów rozwoju.

U prymitywnych owadów bezskrzydłych (rybików) występuje rozwój **prosty** zwany **ametabolią**. Powstające w jego wyniku młode osobniki są zbudowane identycznie jak osobniki dorosłe (*imago*), ale znacznie od nich mniejsze oraz niedojrzałe płciowo. W trakcie kolejnych wyliniek powiększają swoje rozmiary, aż ostatecznie osiągną wielkość charakterystyczną dla danego gatunku. Dla owadów uskrzydłych charakterystyczny jest **rozwój złożony**, w którym może zachodzić przeobrażenie niepełne lub zupełne.

Przeobrażenie niepełne (*hemimetabolia*)

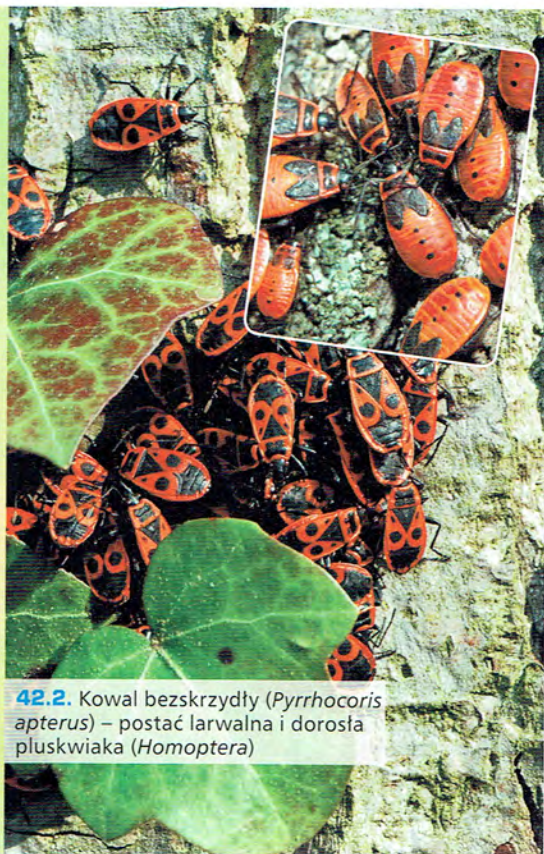
W rozwoju złożonym, w trakcie którego zachodzi przeobrażenie niepełne, osobniki wykluwające się z jaj mogą różnić się od postaci *imago*. Zasadniczo jednak mają identycznie zbudowane narządy gębowe oraz oczy. Ostatnie stadium larwalne nazywamy **nimfą**. Ten typ rozwoju występuje u ważek [42.1], jętek, karaczanów, wszy oraz pluskwiaków. [42.2] Nimfy na ogół nie linieją (wyjątek stanowi m.in. czerwiec polski – *Porphyrophora polonica*).

:: Ciekawostka

Niewiele osób wie, że barwnik znajdujący zastosowanie w wielu dziedzinach przemysł – **koszenila** (zwana też kwasem karminowym) – jest uzyskiwany z wysuszonych, a następnie zmielonych owadów: **czerwców kaktusowych** (*Dactylopius coccus*) lub **czerwców polskich** (*Porphyrophora polonica*). W przeszłości koszenila używana była powszechnie do barwienia tkanin. Obecnie stosuje się ją przy produkcji kosmetyków oraz do barwienia produktów spożywczych (takich jak ciasta, napoje oraz jogurty, zwłaszcza truskawkowe).



42.1. Wążka (*Odonata*) – postać dorosła i larwalna



42.2. Kowal bezskrzydły (*Pyrrhocoris apterus*) – postać larwalna i dorosła pluskwiaka (*Homoptera*)

Przeobrażenie zupełne (*holometabolia*)

W grupie owadów, u których dochodzi do przeobrażenia zupełnego, występuje postać rozwojowa zwana **poczwarą**, poprzedzająca stadium owada dorosłego. Postaci larwalne tych owadów różnią się znacząco od *imago* (są to tzw. **larwy właściwe**). W większości wypadków trudno bez znajomości stadiów rozwojowych zaklasyfikować taką larwę do właściwego gatunku (a czasami nawet rodziny). Narządy występujące u larw właściwych często różnią się od spotykanych u postaci dorosłych, co jest związane z odmiennym środowiskiem życia

i typem spożywanego pokarmu. Przeobrażenie zupełne występuje u: muchówek, błonkówek [42.3.1], motyli [42.4.1], chrząszczy oraz pcheł. [42.5.1] W przeciwieństwie do tych bezkręgowców, których larwy odpowiadają również za reprodukcję, larwy (lub nimfy) owadów mają za zadanie przede wszystkim magazynować energię i materiały zapasowe potrzebne do osiągnięcia stadium *imago*. W trakcie rozwoju masa ciała larwy ulega zwielokrotnieniu (np. u jedwabnika morwowego, *Bombyx mori*, może się powiększyć nawet 10 000 razy!).



42.3. Trzmieć (*Bombus* sp.)



42.4. Niedźwiedziówka kaja (*Arctia caja*)



42.5. Pchła (*Aphaniptera* sp.)

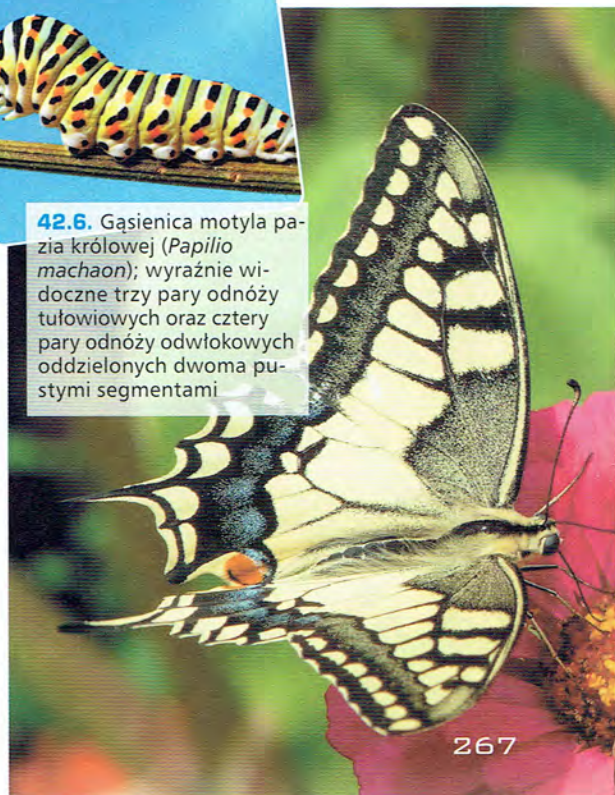
Stadia rozwojowe owadów o przeobrażeniu zupełnym

Larwy owadów o przeobrażeniu zupełnym w chwili opuszczenia osłon jajowych są zupełnie niepodobne do postaci dorosłej. Wszystkie postaci larwalne (poza pędrakiem) są bardzo ruchliwe, intensywnie żerują i szybko powiększają swoje rozmiary. Dopiero pod koniec stadium larwalnego ich ruchliwość maleje, a wiele z nich zaprzestaje pobierania pokarmu. Larwa na tym etapie swojego życia przekształca się w **poczwarę**.

Gąsienica [42.6.1] ma trzy pary odnóży tułowiowych oraz 5–8 par odnóży odwłokowych. Gąsienice mają narządy gębowe typu gryzącego, a ich oczy są proste. Larwy te bytują na liściach i odżywiają się pokarmem roślinnym.



42.6. Gąsienica motyla papia królowej (*Papilio machaon*); wyraźnie widoczne trzy pary odnóży tułowiowych oraz cztery pary odnóży odwłokowych oddzielonych dwoma pustymi segmentami





42.7. Stonka (*Leptinotarsa decemlineata*)



42.8. Czerw muchy domowej (*Musca domestica*)



Pędrak to larwa występująca u chrząszczy (np. żukowatych stonkowatych). **42.7.1** Posiada trzy pary odnóży tułowiowych (odnóży odwłokowych brak). Głowa pędraka jest dobrze widoczna, ciemniejsza, mocno schitynizowana. Ciało jest łukowato wygięte (w kształt litery C). Larwy te są mało ruchliwe, żyją przeważnie w glebie, w próchniejącym drewnie lub oborniku. Żywią się korzeniami lub innymi podziemnymi częściami roślin.



Czerw to larwa muchówek. **42.8.1** Jej miękkie jasno zabarwione ciało, słabo schitynizowane, pozbawione jest wykształconego odcinka głowowego oraz odnóży. Larwa ta jest częstym pasożytem zewnętrznym lub wewnętrznym ssaków.

Larwa kampodealna jest charakterystyczna dla niektórych chrząszczy **42.9.1** oraz chruścików. Ma wydłużone ciało, o segmentacji heteronomicznej. Jej głowa zaopatrzona jest w czułki, a na segmentach tułowiowych



42.9. Larwa kampodealna pływaka żółto-brzeżka (*Ditiscus marginalis*)

:: Ciekawostka

Stadium larwalne nie zawsze jest krótkim i przejściowym okresem w życiu owada. **Larwa kozioroga dębosza** (*Cerambyx cerdo*) żyje nawet 3 lata, o wiele dłużej niż postać *imago*! Podobnie jest u jętek pospolitych (*Ephemera vulgata*). Ich larwy żyją od roku do 3 lat, przechodząc nawet do 30 wylinek. Po tym czasie pojawia się ostatecznie postać *imago*. Nie pobiera ona pokarmu, ponieważ nie ma układu pokarmowego. Po zapłodnieniu i złożeniu jaj ginie, a żyje często nie dłużej niż jedną dobę (stąd inna nazwa jętek – *jednodniówka*).



znajdują się dobrze wykształcone odnóża lokomocyjne. Odżywia się larwami innych owadów, a pod koniec rozwoju nawet postaciami *imago* owadów wodnych czy kijankami!

Zanim dojdzie do powstania osobnika dorosłego, postać larwalna ulega przekształceniu w **poczwarkę**. [42.10.1] Nie pobiera ona pokarmu i przez dłuższy czas pozostaje nieruchoma. U wielu gatunków poczwarki są dodatkowo zabezpieczone **kokonem** lub budują w glebie specjalne struktury ochronne zwane **kolebką**. W stadium poczwarki całkowitej przebudowie ulegają narządy wewnętrzne (poza układem nerwowym). Zachodzą również fundamentalne zmiany morfologiczne. Po zakończeniu przeobrażenia dochodzi do powstania postaci dorosłego owada.

42.10. Poczwarka motyla rusałki pawika (*Inachis io*)



PODSUMOWANIE



- U prymitywnych owadów bezskrzydłych występuje ametabolia (rozwój prosty). Młode osobniki są zbudowane identycznie jak *imago*, ale mniejsze i niedojrzałe płciowo.
- W przeobrażeniu niezupełnym (hemimetabolii) występują trzy postaci rozwojowe: jajo → nimfa → postać dorosła (*imago*). Nimfa jest zbliżona wyglądem do *imago*.
- W przeobrażeniu zupełnym (holometabolii) występują cztery postaci rozwojowe: jajo → larwa → poczwarka → postać dorosła (*imago*). Larwa jest zupełnie niepodobna do *imago*.
- Gąsienica jest larwą motyli. Ma trzy pary odnóży tułowiowych i 5–8 par odnóży odwłokowych.
- Pędrak jest nieruchliwą larwą występującą u chrząszczy. Ma trzy pary odnóży tułowiowych. Brak odnóży odwłokowych.
- Czerw występuje u muchówek. Często jest pasożytem zewnętrznym i wewnętrznym ssaków.
- Larwa kampodealna występuje u niektórych chrząszczy (np. pływaka żółto-brzeżka) i chrzączków. Ma wydłużone ciało o symetrii heteronomicznej i dobrze wykształcone odnóża na części tułowiowej.
- Po zakończeniu stadium larwalnego u owadów z przeobrażaniem zupełnym pojawia się poczwarka. Wyróżniamy poczwarki otwarte, zamknięte i baryłkowate (bobówki) w zależności od tego, czy zawiązki skrzydeł, czułków i odnóży są przyklejone do ciała, czy pozostają wolne.

ZADANIA



1. Scharakteryzuj procesy zachodzące w organizmie poczwarki. Jaka jest rola wytwarzanych przez nią struktur ochronnych?
2. Ostatnie stadium larwalne owadów o przeobrażeniu niezupełnym to nimfa, która z reguły nie linieje. Podaj przykład owada, którego nimfy zachowują zdolność linienia.
3. Wymień i scharakteryzuj postacie larwalne występujące u owadów o przeobrażeniu zupełnym.

BIBLIOGRAFIA



Zahradnik J., Przewodnik. Owady, MULTICO, Warszawa 1996.

PRZEOBRAŻENIE U OWADÓW

U owadów występuje rozwój złożony, w którym pojawiają się postacie larwalne. Wyróżniamy przeobrażenie niezupełne – larwy są podobne do postaci dorosłej, i przeobrażenie zupełne – postacie larwalne różnią się morfologicznie od postaci dojrzałej (dodatkowo zachodzi między nimi stadium poczwarki).

PRZEOBRAŻENIE NIEZUPEŁNE



Postać dorosła turkucia podjadka (*Gryllotalpa gryllotalpa*) ma w pełni wykształcone skrzydła, jest dojrzała płciowo i nie linieje. Osiąga znaczne rozmiary – samice nawet do 10 cm. Cały rozwój turkucia podjadka odbywa się w glebie, gdzie kopie on skomplikowane systemy korytarzy. Żywi się dżdżownicami i korzeniami roślin. Jedynie latem, w okresie godowym, następuje krótki przelot osobników, podczas którego dochodzi do zapłodnienia samicy. Składa ona następnie w specjalnej komorze lęgowej około 600 jaj, z których wylęgają się larwy.

Larwa, zwana również nimfą, jest miniaturą postaci dorosłej turkucia, wyposażoną w zawiązki skrzydeł. To stadium – niedojrzałe płciowo – może trwać nawet 2,5 roku. Zachodzi wówczas intensywny wzrost owada. Po kilku linieniach przekształca się on w postać dojrzałą (*imago*).

Postać dorosła chrabąszcza majowego (*Melolontha melolontha*) ma silnie schitynizowane ciało, dwie pary skrzydeł i segmentowany odwłok. Samce są zaopatrzone w duże pierzaste czułki wykrywające feromony samicy. Po zapłodnieniu samica składa pod ziemią jaja w korytarzu wydrążonym przez siebie. Rozwój chrabąszcza majowego zachodzi częściowo w ziemi, gdzie rozwijają się larwa i poczwarka. Dorosły chrząszcz wychodzi na powierzchnię i na przełomie maja i czerwca odbywa lot godowy.



PRZEOBRĄŻENIE ZUPEŁNE



Poczwarka jest etapem przejściowym, w którym następuje przeobrażenie postaci larwalnej w postać dorosłą. Całkowitej przebudowie ulegają narządy wewnętrzne, oprócz układu nerwowego. W tym nieruchomym stadium poczwarka nie pobiera pokarmu.

Larwa nazywana pędrakiem ma trzy pary odnóży tułowiowych, schitynizowaną głowę i dobrze wykształcony aparat gębowy. Nie występują u niej skrzydła ani układ rozrodczy. Przez 3 lata rozwija się w ziemi, intensywnie żeruje i przechodzi kilka etapów linienia, dzięki czemu zwiększa swój rozmiar.



Wskaż podstawowe różnice między przeobrażeniem niezupełnym i zupełnym.

43. Przegląd systematyczny i znaczenie stawonogów

Stawonogi (*Arthropoda*) to najliczniejsza grupa systematyczna królestwa zwierząt. Według niektórych szacunków, do samego tylko rzędu chrząszczy (jednego z największych w obrębie tej grupy) należy co czwarte zwierzę żyjące na Ziemi! Stawonogi są wszechstronnie przystosowane do życia we wszystkich niemal środowiskach i mogą występować na wszystkich poziomach troficznych. Do typu *Arthropoda* zaliczamy obecnie cztery podtypy.

Podtyp: skorupiaki (*Crustacea*)

Do podtypu tego zalicza się ponad 50 000 gatunków. Jego przedstawiciele charakteryzuje obecność chitynowego pancerza zewnętrznego (często przesyconego solami wapnia). Odnóża pierwotnie znajdują się na wszystkich segmentach ciała (cecha prymitywna) poza ostatnim (**telsonem**). Ponieważ skorupiaki prowadzą zasadniczo wodny tryb życia (większość to gatunki morskie), oddychają skrzelami umieszczonymi na odnóżach. Mają **dwie pary czułków**, **parę żuwaczek** oraz **dwie pary szczęk**. Czasami również obecne są szczękonoża (do 3 par). Bardzo często dwie pierwsze tagmy zrastają się ze sobą w **głowo-tułów**. Charakterystyczną cechą niektórych skorupiaków jest występowanie aż **pięciu par**

Podtyp: *Crustacea* – skorupiaki

Gromada: *Branchiopoda* – skrzelonogi

Gromada: *Cephalocarida* – podkowiastogłowe

Gromada: *Malacostraca* – pancerzowce

Gromada: *Maxillopoda*

Gromada: *Ostracoda* – małżoraczki

Gromada: *Remipedia* – łopatonogi

Podtyp: *Chelicerata* – szczękoczułkowce

Gromada: *Arachnida* – pajęczaki

Gromada: *Merostomata* – staroraki

Gromada: *Pycnogonida* – kikutnice

Podtyp: *Myriapoda* – wije

Gromada: *Chilopoda* – pareczniki

Gromada: *Diplopoda* – dwuparce

Gromada: *Pauropoda* – skąponogi

Podtyp: *Hexapoda* – sześcionogi

Gromada: *Entognatha* – skrytoszczękie

Gromada: *Insecta* – owady

Gromada: *Collembola* – skoczogonki

Gromada: *Diplura* – widłogonki

Wybrane przykłady skorupiaków



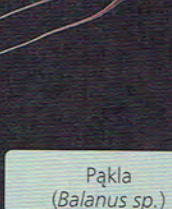
Rozwielitka
(*Daphnia* sp.)



Przekopnica
(*Triops* sp.)



Oczlik
(*Cyclops* sp.)



Pąkla
(*Balanus* sp.)

odnóży kroczych, z czego pierwsza często ulega przekształceniu w **szczypce**. Hemolimfa jest bezbarwna, niekiedy zawiera barwniki oddechowe (hemoglobinę lub hemocyjaninę). Wydalanie odbywa się za pomocą gruczołów szczękowych i czułkowych. Skorupiaki

są rozdzielnopłciowe, a dymorfizm płciowy jest wyraźny u większości gatunków. W ich rozwoju zachodzi przeobrażenie, a charakterystyczną larwą jest **pływik** (*nauplius*). Wzrost skorupiaków jest możliwy dzięki procesowi linienia.

Podtyp: szczękoczułkowce (*Chelicerata*)

Są stawonogami zamieszkującymi zarówno morza, wody słodkie, jak i środowisko lądowe (zdecydowana większość). W przeważającej mierze są wolno żyjące, choć zdarzają się także formy pasożytnicze (np. niektóre roztozcza). Stanowią wektory chorób wirusowych i bakteryjnych. W ramach tego podtypu wyróżniamy trzy gromady, najważniejszą z nich są pajęczaki.

Gromada: Pajęczaki (*Arachnida*)

Ciało pajęczaków pokrywa chitynowy oskórek. W grupie tej na tagmie głowowej zamiast typowych czułków występują **szczękoczułki** (zaopatrzone w szczypce lub pazurki). Ciało złożone jest z dwóch odcinków (głowotułowia i odwłoka). Na głowotułowiu zlokalizowanych jest sześć par odnóży, z czego dwie pierwsze stanowią narządy gębowe (para wspomnianych **szczękoczułków** oraz para **nogogłaszczków**. Pozostałe cztery pary

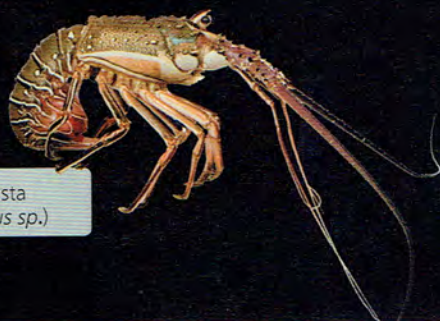
odnóży pełnią funkcje lokomocyjne, co jest charakterystyczną cechą tej grupy. Pajęczaki oddychają za pomocą płucotchawek lub tchawek. Narządami wydalniczymi są gruczoły biodrowe oraz cewki Malpighiego. Unikalnymi tworami pajęczaków są **gruczoły** przednie oraz **jadowe**. Gruczoły przednie wydzielają lepka, płynną substancję, która w zetknięciu z powietrzem krzepnie; tworzy cienką nić – **pajęczynę**. Powstaje ona jako zastygła wydzielina nawet kilkunastu tysięcy gruczołów przednich zgrupowanych u pająków w odwłokowe **kądziołki przedne**. Nić pajęcza służy przede wszystkim do budowy sieci łownych. Niektóre gatunki pajęczaków dysponują również **gruczołami jadowymi** zlokalizowanymi w nasadowym członie szczękoczułków (ujście gruczołów znajduje się w członie końcowym). Mają one za zadanie paraliżować lub uśmiercać ofiary.



Rak rzeczny
(*Astacus astacus*)



Homar
(*Homarus sp.*)



Langusta
(*Polinurus sp.*)



Kryl
(*Euphausia sp.*)

PAJĘCZAKI

Pajęczaki dzielą się na 5 grup zróżnicowanych morfologicznie. Ich wspólną cechą jest obecność 4 par odnóży krocnych, 2 par odnóży gębowych (szczękoczułków i nogogłaszczek), gruczołów jadowych i przędných. Nie mają czułków. Większość pajęczaków to drapieżniki, prowadzące nocny tryb życia. Niektóre (np. roztocze) mogą być pasożytami zewnętrznymi. W większości są to gatunki lądowe, choć część wtórnie zasiedliła środowisko wodne.



Roztocze

Nie ma u nich wyraźnej segmentacji ciała, poszczególne odcinki łączą się w jedną całość, większość gatunków jest ślepa.

W cyklu rozwojowym występuje larwa, co stanowi rzadkość u pajęczaków. Wiele z nich prowadzi pasożytniczy tryb życia, przenosi choroby (kleszcze) lub wywołuje alergię (roztocze kurzu domowego).



Kosarze

Mają niesegmentowany głowotułów i odwłok niepołączony stylikiem. Odwłok całą swą średnicą przylega do głowotułowia – tworzą jedną całość. W sytuacji zagrożenia potrafią odrzucać odnóża, które później odrastają (zjawisko autotomii).



Skorpiony

Segmentacja ciała jest wyraźna, nogogłaszczki zostały przekształcone w silne szczypce, a na końcu odwłoka znajduje się kolec jadowy. Pojawiają się u nich pierwsze przejawy opieki nad potomstwem – samice niektórych gatunków noszą młode na grzbiecie.



Zaleszczotki

Dość wyraźna jest u nich segmentacja ciała. Nogogłaszczki przekształcone w szczypce, do których uchodzą gruczoły jadowe. Mają zdolność poruszania się w różnych kierunkach bez konieczności zawracania przedniej części ciała w kierunku ruchu. Umieją też biernie przenosić się z miejsca na miejsce przyklepione do ciała muchy (zjawisko forezy).



Pająki

Wyróżniają je niesegmentowany głowotułów i odwłok połączony wąskim stylikiem. Mają 4 pary oczu prostych, gruczoły jadowe zlokalizowane na szczękoczułkach, a na końcu odwłoka ujście gruczołów przednich. Na ostatnim członie nogogłaszczek mieści się narząd kopulacyjny. U niektórych występuje dyspersja powietrzna, czyli przemieszczanie się za pośrednictwem nici pajęczyny (np. tygryk paskowany), lub kanibalizm seksualny – zjadanie samca przez większą samicę po akcie płciowym, a niekiedy w jego trakcie.



Które części ciała pajęczaków są wyposażone w ujścia gruczołów jadowych?

Podtyp: wiję (*Myriapoda*)

Są najprymitywniejszą grupą stawonogów. Mają dobrze wyodrębnioną głowę zaopatrzoną w **jedną parę czułków**, tak jak owady, i tak jak one należą do stawonogów oddychających tchawkami (tchawkodysznymi). Pozostałe odnóża głowowe przekształcają się w **jedną parę żuwaczek** oraz **1–2 pary szczęk**. Ciało wijów ma kształt robakowaty, jest złożone z licznych jednakowych segmentów zaopatrzonych w członowane odnóża, których liczba może dochodzić do kilkuset! Żyją wyłącznie na lądzie, są rozdzielnopłciowe. Obserwuje się u nich rozwój prosty, ale mogą też występować stadia larwalne. Narządami wydalniczymi są cewki Malpighiego.



43.1. Przedstawiciel dwuparców – krocionóg czarny (*Tachypodoiulus niger*), mający dwie pary odnóży na każdym z wielu segmentów ciała.

Do najbardziej charakterystycznych gromad wijów należą **dwuparce** **43.1.1** (o dwóch parach odnóży na każdym segmentcie) oraz **pareczniki** (posiadające jedną parę odnóży na segmentcie).

Podtyp: sześcionogi (*Hexapoda*)

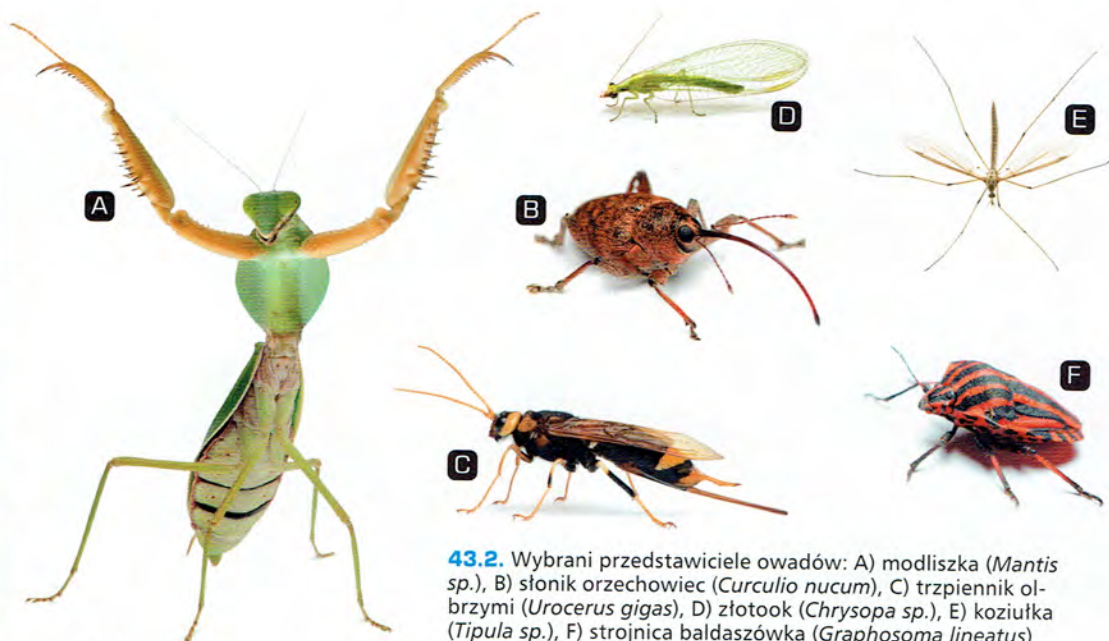
To podtyp obejmujący stawonogi wyposażone w sześć odnóży tułowiowych. Zamieszkują w większości środowisko lądowe. Współcześnie w obrębie tego podtypu wyróżniamy cztery gromady, najliczniejszą z nich jest **gromada owadów**.

Gromada: owady (*Insecta*)

Owady są typowymi zwierzętami lądowymi pod względem przystosowań w zakresie wymiany gazowej i zdolności do lotu. Przypuszcza się, że

pochodzą od stawonogów lądowych (wijów) lub – według niektórych źródeł – od wodnych skorupiaków. Osiągnęły olbrzymi sukces ewolucyjny: gdyż opanowały wszystkie środowiska występujące na Ziemi. Do owadów należy większość żyjących współcześnie gatunków zwierząt.

43.2.1 Ciało owadów pokryte jest chitynowym oskórkiem. Dzieli się na trzy wyraźnie oddzielone tagmy: **głowę**, **tułów** oraz członowany **odwłok**. Oprócz jednej pary czułków, na tagmie



43.2. Wybrani przedstawiciele owadów: A) modliszka (*Mantis* sp.), B) słoń orzechowiec (*Curculio nucum*), C) trzpiennik olbrzymi (*Urocerus gigas*), D) złotook (*Chrysopa* sp.), E) koziołka (*Tipula* sp.), F) strojnica baldaszówka (*Graphosoma lineatus*)

głowej są zlokalizowane również trzy pary odnóży gębowych: para żuwaczek oraz dwie pary szczęk. Charakterystyczną cechą owadów jest odcinek tułowiowy składający się zawsze z trzech segmentów. Każdy z nich zaopatrzony jest w jedną parę odnóży krocnych, których w sumie jest sześć. Ze względu na zdolność do aktywnego lotu dzieli się **owady** na **bezskrzydłe** (np. rybak cukrowy) oraz **uskrzydłone** (przytłaczająca większość, np. pszczoła, ważka, mucha, chrząszcz). Owady zaliczane do tej ostatniej grupy wytwarzają na ogół na dwóch ostatnich segmentach tułowiowych dwie pary błoniastych skrzydeł. Owady różnią się znacząco ubarwieniem ciała. Zabarwienie maskujące może służyć biernej ochronie przed drapieżnikami (np. u motyla **krępaka nabrzożaka**) lub być pułapką na potencjalną ofiarę (np. u **modliszki**). Niektóre gatunki owadów ze względu na dodatkowe przystosowania defensywno-ofensywne (żądła, gruczoły jadowe,

nieprzyjemny smak) nie starają się ukryć przed drapieżnikami. Ich jaskrawe zabarwienie ma charakter odstraszały. Choć u skorpionów należących do pajęczaków spotyka się formy opieki nad jajami, to owady są pierwszą grupą zwierząt, u których wykształciły się złożone formy opieki nad potomstwem (mrówki, niektóre pluskwiaki) oraz zachowania społeczne (pszczoły, mrówki, termity). Zachowania społeczne wiążą się ze zjawiskiem **polimorfizmu**. Jego przejawem jest występowanie obok siebie w obrębie jednego gatunku form odmiennych morfologicznie (takich jak spotykane w mrówkach samice matki, żołnierze i robotnice), wyspecjalizowanych do pełnienia zróżnicowanych funkcji. Różnicowanie morfologiczne owadów często ma charakter **dymorfizmu sezonowego**. Jest on charakterystyczny dla gatunków mających kilka pokoleń w ciągu roku. Różnią się one, ponieważ każde rozwija się w nieco odmiennych warunkach środowiska.

Porównanie cech morfologicznych czterech głównych grup stawonogów

	Skorupiaki	Pajęczaki	Wije	Owady
Tagmy	głowotułów odwłok	głowotułów odwłok	głowa tułów	głowa tułów odwłok
Czułki	2 pary	brak	1 para	1 para
Odnóże gębowe	1 para żuwaczek 2 pary szczęk 3 pary szczękonoży	1 para szczękoczułków 1 para nogogłaszczków	1 para żuwaczek 1–2 pary szczęk	1 para żuwaczek 2 pary szczęk
Odnóże krocne	5 par lub więcej	4 pary	nawet do kilkuset	3 pary

Znaczenie stawonogów w przyrodzie

Ponieważ stawonogi są **najliczniejszą gatunkowo grupą organizmów żywych**, nietrudno przewidzieć, że ich wpływ na funkcjonowanie przyrody jest olbrzymi. Są nieodłącznym elementem sieci troficznych i obiegu materii, ponieważ stanowią bazę pokarmową dla ryb, a także wodnych ptaków i ssaków. Występujące wśród stawonogów gatunki drapieżne i pasożytnicze pełnią rolę regulatora liczebności populacji wielu gatunków zwierząt. Owady odgrywają ważną rolę w procesach zapylania roślin kwiatowych, zarówno występujących w naturze, jak i hodowanych przez człowieka (ocenia się, że dotyczy to ok. 30% tych roślin).

W ekosystemach naturalnych owady (przede wszystkim muchówki) uczestniczą również w rozsiewaniu nasion. Dzięki olbrzymiej zdolności do adaptacji opanowały wszystkie środowiska, w tym glebę (np. mrówki, termity). Drażąc podziemne korytarze, spulchniają i napowietrzają ją oraz wzbogacają w próchnicę. Wiele owadów wchodzi w ścisłe związki symbiotyczne z innymi organizmami. Potwierdzają to termity, w których jelitach żyją różne gatunki wiciowców odpowiedzialnych za trawienie celulozy spożywanej przez te owady. Symbiotyczny układ występuje również pomiędzy mrówkami i grzybami lub mrówkami i mszycami.

Pozytywne znaczenie stawonogów z punktu widzenia człowieka

- Pewne gatunki pajęczaków polują na organizmy przynoszące szkodę człowiekowi (np. zaleszczotki pożerający larwy moli oraz roztocza).
- Pszczoły produkują wiele przydatnych substancji, zwłaszcza miód.
- Przemysł kosmetyczny i farmaceutyczny wykorzystują produkowane przez pszczoły mleczko pszczele i propolis zwany kitem pszczelim (to masa złożona z żywic roślinnych, pyłków kwiatowych, wosku oraz cząsteczek glebowych).
- Wosk pszczeli znajduje zastosowanie przy produkcji świec.
- Jedwab jest produktem gruczołów przednich gąsienicy jedwabnika morwowego.

Negatywne znaczenie stawonogów z punktu widzenia człowieka

- Kleszcze roznoszą wiele groźnych chorób (np. kleszczowe zapalenie mózgu, borelioza).
- Owady, które odżywiają się przede wszystkim ziarnami zbóż (np. wołek zbożowy), powodują znaczne straty w rolnictwie.
- Niektóre gatunki owadów bytujące w domach niszczą ubrania i tkaniny (np. mole).
- Owady mogą wywoływać uciążliwe reakcje alergiczne (np. roztocze kurzu domowego).
- Niebezpieczne są owady roznoszące choroby (np. komar widliszek będący wektorem malarii, mucha tse-tse rozprzestrzeniająca świdrowca gambijskiego wywołującego śpiączkę afrykańską).

PODSUMOWANIE

- Do stawonogów zaliczamy współcześnie cztery podtypy: skorupiaki, szczękoczułkowce (należą tu pajęczaki), wiję oraz sześcionogi (należą tu owady).
- Cechami przedstawicieli skorupiaków są chitynowy pancerz zewnętrzny oraz odnóża znajdujące się na każdym segmencie ciała poza ostatnim (telsonem).
- U skorupiaków występuje pięć par lub więcej odnóży krocnych, z czego pierwsza ulega często przekształceniu w szczypce.
- U skorupiaków dwie pierwsze tagmy często są zrośnięte, tworząc głowotułów.
- Najbardziej charakterystyczną gromadą należącą do szczękoczułkowców są pajęczaki.
- Przedstawiciele *Arachnida* cechuje brak czułek (zastąpiła je para szczękoczułków).
- Charakterystyczną cechą pajęczaków jest również obecność gruczołów przednich lub jadowych.
- U wijów występuje para czułek i para żuwaczek oraz 1–2 pary szczęk.
- Ciało wijów jest robakowate, segmentowane, zaopatrzone w liczne odnóża krocne (nawet do kilkuset).
- Ciało owadów zbudowane jest z głowy, tułowia oraz odwłoka. Występuje u nich para czułek i para żuwaczek oraz dwie pary szczęk.
- Owady (pszczoły, błonkówki, muchówki, chrząszcze) przynoszą nieocenione korzyści człowiekowi, gdyż zapylają rośliny kwiatowe i uprawne.
- Niektóre gatunki pajęczaków mogą przyczyniać się do rozprzestrzeniania chorób zakaźnych (np. kleszcze roznoszące odkleszczowe zapalenie mózgu).



ZADANIA

1. Określ typ i liczbę odnóży gębowych występujących u skorupiaków.
2. Podaj przykłady owadów będących wektorami niebezpiecznych chorób zakaźnych człowieka. Zaprojektuj plakat informacyjny o środkach zapobiegawczych, które należy podjąć przed podróżą w te regiony świata, gdzie występuje dana choroba.
3. Udowodnij na przykładzie dowolnie wybranej grupy owadów, że zjawisko polimorfizmu ma szczególne znaczenie adaptacyjne dla tych zwierząt.
4. Na podstawie własnej wiedzy i dostępnych źródeł informacji opracuj prosty klucz dychotomiczny pozwalający zidentyfikować główne podtypy stawonogów.



BIBLIOGRAFIA

Stanek V. J., *Encyklopedia owadów: chrząszcze*, DELTA, Warszawa 1990.

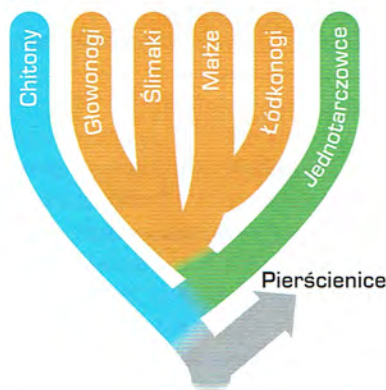


44. Budowa i funkcje życiowe mięczaków

Mięczaki (*Mollusca*) ustępują liczbą gatunków, których według szacunków jest ponad 130 tysięcy, jedynie stawonogom. Pod względem filogenetycznym to grupa bardzo stara, czego dowodzą formy kopalne z okresu kambryjskiego, zbliżone budową do występujących współcześnie. Pierwotne mięczaki były zwierzętami morskimi, gatunki spotykane obecnie w wodach słonych cechuje największa różnorodność. Pomimo oczywistych przystosowań do życia w wodzie spora grupa mięczaków odniosła sukces ewolucyjny na lądzie.

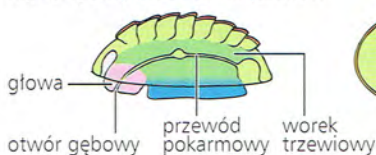
Budowa zewnętrzna mięczaków

Pod względem wielkości mięczaki są bardzo zróżnicowaną grupą, do której należą zarówno osobniki wielkości mikroskopowej, jak i największe bezkręgowce (np. **kałamarnice olbrzymie**, *Architeuthis dux*, dorastające do 25 m długości i ważące ponad 20 t). W budowie mięczaków zaznacza się pierwotna symetria dwuboczna, która u niektórych uległa poważnemu zaburzeniu. Trzy podstawowe gromady mięczaków: **ślimaki** (*Gastropoda*), **głownogi** (*Cephalopoda*) oraz **małże** (*Bivalvia*) przejawiają całkowicie odmienny typ budowy. Jednak pewne podobieństwa morfologiczne wskazują na istnienie wspólnego przodka, od którego mogła się rozpocząć ewolucja tych bezkręgowców biegnąca odmiennymi drogami. W budowie mięczaków



(zarówno wymarłych, jak i współcześnie żyjących) można wyróżnić trzy zasadnicze elementy: **głowę** (która uległa zanikowi u małży), **worek trzewiowy** oraz **nogę**. **144.1.1**

hipotetyczny przodek mięczaków



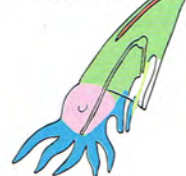
małż



ślimak



głownóg



44.1. Organizacja ciała mięczaków

Organizacja ciała mięczaków

Głowa

U współcześnie żyjących mięczaków – głownogów i ślimaków – odcinek głowowy jest wykształcony, u małży uległ on całkowitej redukcji (czyli acefalizacji). Głowa jest miejscem lokalizacji zwojów mózgowych, narządów zmysłów oraz otworu gębowego.

Worek trzewiowy

Worek trzewiowy występuje u wszystkich grup mięczaków. Od strony grzbietowej tworzy fałd nabłonkowy zwany **płaszczem**, którego rozmiary u poszczególnych grup są różne. Obszar pomiędzy płaszczem a pozostałą częścią ciała wypełnia wolna przestrzeń zwana **jamą płaszczową**. Płaszcz

u większości mięczaków odpowiada za wytwarzanie elementów szkieletu zewnętrznego, czyli **muszli** (skorupki). Jest ona bardzo twarda dzięki obecności substancji organicznej zwanej **konchioliną**. Muszla jest dodatkowo wzmocniona wykryształizowanym węglanem wapnia. Występuje on w dwóch postaciach: **argonitu** (który tworzy **warstwę perłową**) oraz **kalcytu** (tworzącego **warstwę porcelanową**). Muszla zewnętrzna może tworzyć jedną zwartą strukturę lub być złożona z podjednostek (np. u małży). Ponieważ to płaszcz wytwarza muszlę, jej kształt wskazuje na wielkość i kształt płaszcza. Pozostała część worka trzewiowego (płaszcz i jama płaszczowa) jest miękka i elastyczna. Pokrywa ją nabłonek jednowarstwowy (tzw. **naskórek**), za-

opatrzony w liczne gruczoły śluzowe, w większości jednokomórkowe. Pod warstwą naskórka znajduje się tkanka łączna, która nie tworzy wyraźnie odgraniczonej warstwy. Znajdujące się poniżej tkanki łącznej mięśnie mogą być wyspecjalizowane (np. do wciągania nogi do muszli). Są to na ogół mięśnie gładkie, rzadko – poprzecznie prążkowane.

Noga

Znajduje się najczęściej po brzusznej stronie ciała, jest wyposażona w dużą liczbę włókien mięśniowych i u większości mięczaków pełni funkcje lokomotoryczne. U niektórych form może ulegać znacznej redukcji.

Budowa ślimaków

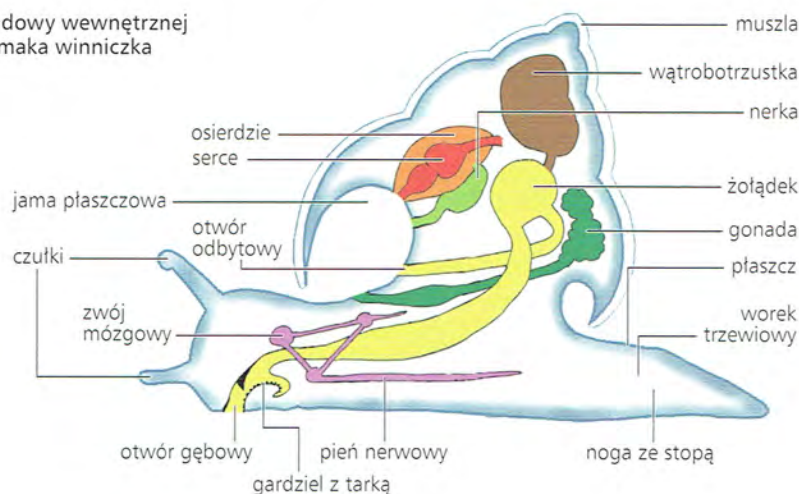
Ślimaki mogą osiągać wielkość od jednego do około 60 centymetrów. Przodkowie ślimaków wykazywali symetrię dwuboczną, jednak w toku ewolucji została ona poważnie zaburzona w wyniku spiralnego zwinięcia oraz skręcenia worka trzewiowego. Proces ten (nazywany **torsją**) spowodował, że parzyste narządy ciała uległy przesunięciu na jedną stronę, a wiele z nich uległo redukcji do postaci nieparzystych (np. skrzela).

Układ pokarmowy

Rozpoczyna go otwór gębowy zaopatrzony w **szczęki** służące do odgryzania kawałków pokarmu. Za otworem gębowym mieści się gar-

dziel wyposażona w bardzo charakterystyczną dla ślimaków strukturę zwaną **tarką** (radulą). **144.2.1** Jest to mięsisty fałd przypominający język, zaopatrzony dodatkowo w liczne ząbki. Tarka pełni funkcję pomocniczą przy zdzieraniu pokarmu (np. glonów) z powierzchni płaskich. Do gardzieli uchodzą również liczne przewody wyprowadzające **gruczołów ślinowych**. Za gardzielą znajduje się krótki odcinek zwany **przetykiem**, który prowadzi do **żołądka**. Od niego odchodzi bocznie narząd zwany **wątro- bą** (lub gruczołem wątrobotrzustkowym). Jest to zarazem gruczoł trawienny, jak i magazynujący pokarm. U ślimaka winniczka (jako typowego roślinożercy) uchytek wątrobowy jest bardzo

44.2. Schemat budowy wewnętrznej płucodysznego ślimaka winniczka



dobrze rozwinięty (u mięsożernych ślimaków jest zredukowany). Żołądek jest umięśniony, a tkanki wyściełające go od wewnątrz produkują enzymy trawiące pokarm. Od żołądka uchodzi także jelito kończące się otworem odbytowym w fałdzie płaszczu zakrywającej wejście do muszli.

Układ wydalniczy

Funkcje wydalnicze pełnią u ślimaków parzyste narządy zwane **nerkami** (u winniczka dochodzi do redukcji jednej nerki), będące przekształconymi **metanefrydiami**. Świadczy o tym obecność **lejków** w jamie okołosercowej (**worku osierdziowym**). Nerka (lub nerki) zbierają szkodliwe produkty metabolizmu: kwas moczowy (u ślimaków lądowych) lub amoniak i mocznik (u ślimaków wodnych). Kanał wyprowadzający nerki zwany moczowodem uchodzi w jamie płaszczowej niedaleko otworu odbytowego.

Układ oddechowy

Rolę narządu wymiany gazowej u ślimaka winniczka pełni jama płaszczowa nazywana **płucem**. Prowadzi do niej **otwór płucny** położony na grzbietowej stronie ciała, u ujścia jamy płaszczowej tuż za głową. Wymiana gazowa zachodzi między powietrzem wypełniającym jamę płaszczową a jej bogato unaczynionymi ścianami. U ślimaków wodnych podstawowym narządem oddechowym są **skrzela**.

Układ krwionośny

Przepływ krwi u ślimaków warunkowany jest pulsowaniem **dwukomorowego** narządu zwanego **sercem**. Składa się ono z jednego przedsionka i jednej komory. To efekt redukcji narządowej powiązanej z asymetrią budowy (u innych mięczaków serca są na ogół złożone z większej liczby przedsionków odpowiadającej liczbie skrzeli, najczęściej dwóch). Krew natlenowana w jamie płaszczowej dostaje się żyłami do przedsionka, a stamtąd – do komory. Cykliczne skurcze komory powodują wyprowadzenie krwi z serca przez naczynie zwane aortą. Rozgałęzia się ona w pewnej odległości od serca na dwa naczynia tętnicze. Jedno biegnie ku przodowi, doprowadzając krew do głowy i nogi. Drugie naczynie biegnie ku tyłowi ciała zwierzęcia i zaopatruje w krew pozostałe narządy.

;; Ciekawostka

Unikatowy **przykład symbiozy** prezentuje roślinożerny morski ślimak tyłoskrzelny – *Elysia chlorotica*. Nie niszczy on w procesie trawienia chloroplastów zjadanych roślin (przeważnie glonów z rodzaju *Vaucheria*). Za sprawą niepoznanego jeszcze mechanizmu przemieszczają się one do komórek naskórka zwierzęcia i tam pozostają aktywne, przez co zapewniają ślimakowi dostęp do produktów fotosyntezy!

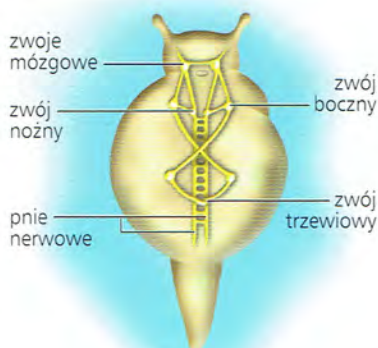


Układ nerwowy

W układzie nerwowym ślimaków wyraźnie zaznaczone są **parzyste zwoje nerwowe** połączone spoidłami. **144.3.1** Najlepiej wykształcone są zwoje głowowe (zwane mózgowymi), po nich – zwoje nożne oraz trzewiowe.

Narządy zmysłów

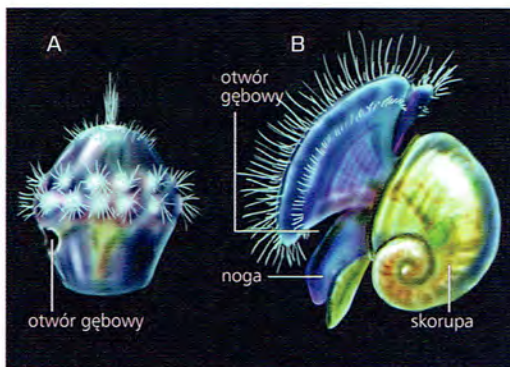
Jednym z najważniejszych narządów zmysłów ślimaków są oczy. U winniczka osadzone są na pierwszej parze czułków, u innych ślimaków mogą czasem występować na obrzeżu płaszczu. Są to oczy pęcherzykowate, zaopatrzone w prymitywną rogówkę i soczewkę. Poza nimi istotną rolę odgrywają również takie narządy zmysłów, jak statocysty (informujące o położeniu ciała) oraz **rinofory** (zlokalizowane na czułkach receptory odbierające zapach).



44.3. Układ nerwowy ślimaków

Układ rozrodczy

Większość ślimaków to obojnaki – pojedynczy osobnik jest wyposażony zarówno w męski, jak i żeński układ rozrodczy (u ślimaka winniczka występuje obupłciowa gonada produkująca plemniki i komórki jajowe). Samozapłodnienie jest jednak w tej grupie zwierząt bardzo rzadkie. Najczęściej w procesie płciowym uczestniczą dwa osobniki (**zapłodnienie krzyżowe**). Winniczki składają jaja do jamek specjalnie wygrzebanych w ziemi. W rozwoju lądowych płucodysznych ślimaków nie występują stadia larwalne. Rozwój jest prosty, a wykluwające się z jaj osobniki są miniaturami osobników dorosłych. U ślimaków wodnych pojawia się w rozwoju stadium larwalne zwane **trochoforą** (zbliżoną morfologicznie do larwy pierścienic). Przekształ-



44.4. Stadia larwalne ślimaków: A) trochofora, B) weliger

ca się ona w drugie stadium larwalne zwane **żeglarkiem** (veligerem). **144.4.1** Różni się ono od trochofory obecnością niewielkiej skorupki (tzw. muszli zarodkowej).

Budowa małży

Charakterystyczną cechą małży jest redukcja odcinka głowowego. Ich dwubocznie spłaszczone ciało składa się wyłącznie z worka trzewiowego i nogi. Typowym przedstawicielem małży jest szczeżuja pospolita (*Anodonta piscinalis*). Ma ona niewielkie zdolności motoryczne: porusza się po dnie zbiorników wodnych za pomocą klinowatej nogi wysuwanej spomiędzy połówek muszli. Wór trzewiowy tych zwierząt charakteryzuje się bardzo rozbudowanym płaszczem, zwisającym po obu stronach ciała. Takie ukształtowanie płaszcza

sprawia, że muszla małży jest dwuczęściowa (o kształcie kolistym, owalnym lub trójkątnym). W jej przekroju poprzecznym można zauważyć trzy warstwy: **rogową**, **porcelanową** oraz **perłową**. Obie części muszli połączone są na grzbiecie więzadłem i zawiasem, a dzięki działaniu silnych mięśni mogą się w razie potrzeby zatrzasnąć. Pomiedzy fałdami płaszcza tworzy się pusta przestrzeń zwana **jamą płaszczową**, w głąb której zwisają dwie pary skrzeli oraz noga. W miejscach zrośnięcia się fałdów płaszcza powstają szczeliny, z których wyrastają długie rury. Przez pierwszą (tzw. **syfon wpustowy**) woda z rozpuszczonym tlenem i substancjami pokarmowymi dostaje się do jamy płaszczowej, przez drugą (tzw. **syfon wypustowy**) woda jest z niej usuwana. U gatunków zagrzebujących się w mule występuje szczególnie długi syfon wpustowy. **Noga** małży jest mięsista i dobrze rozwinięta, wielu gatunkom służy za narząd powolnej lokomocji. U form osiadłych w nodze zlokalizowana jest **jama bisiorowa**, do której uchodzą gruczoły o takiej samej nazwie. Produkują one **bisior**, czyli wiązkę wytrzymałych nici służących do przytwierdzenia małża do podłoża. **144.5.1** W razie potrzeby małż po prostu odcepią się i przenosi się w inne miejsce.



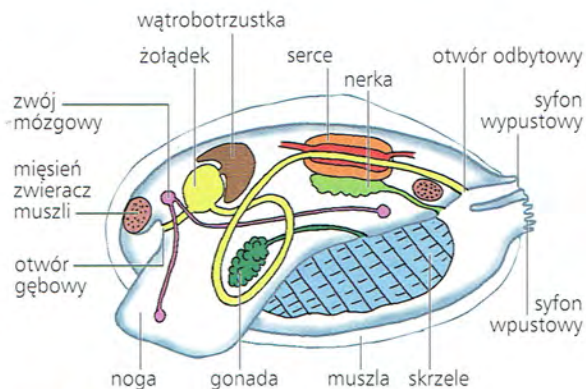
44.5. Omutek kalifornijski przytwierdzony do podłoża za pomocą bisioru

Układ pokarmowy

Układ pokarmowy małży rozpoczyna się **otworem gębowym**, otwierającym się do jamy płaszczowej w jej przedniej części nad nogą. **144.6.1** Małże nie mają tarki, szczęk ani gruczołów ślinowych. Przełyk prowadzi do umięśnionego żołądka znacznych rozmiarów. Dzięki jego ruchom pokarm jest rozdrabniany. Stąd częściowo zmacerowana treść pokarmowa (podobnie jak u ślimaków) trafia do gruczołu wątrobowo-trzustkowego, gdzie zachodzi właściwy proces trawienia. Niestrawione resztki pokarmowe są usuwane przez otwór odbytowy, uchodzący do jamy płaszczowej w tylnej części ciała. Otwór gębowy nie jest duży, a małże nie poszukują aktywnie pokarmu (choć większość jest mięsożerna). Należą jednak do filtratorów i wychwytyją cząstki pokarmowe również za pomocą układu oddechowego. Woda, omywając skrzela, pozostawia na nich drobiny pokarmowe. Są one następnie zlepiane wydzielaną gruczołów śluzowych i popychane w kierunku otworu gębowego.

Układ nerwowy

Tworzą go trzy pary zwojów nerwowych: **mózgowo-płaszczowe, trzewiowe i nożne**. **144.7.1** Ze względu na brak głowy są one rozwinięte w jednakowym stopniu (nie obserwuje się żadnych oznak centralizacji). Z narządów zmysłów u małży spotyka się **oczy proste** reagujące na natężenie światła. Są one rozmieszczone na obrzeżu płaszcza, gdzie mogą również

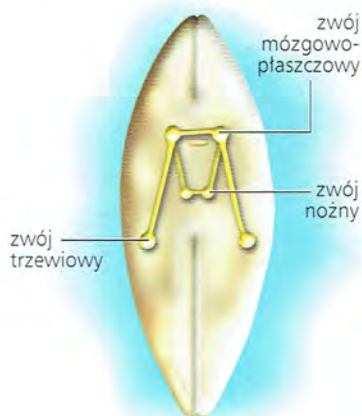


44.6. Schemat budowy wewnętrznej małży – przekrój podłużny

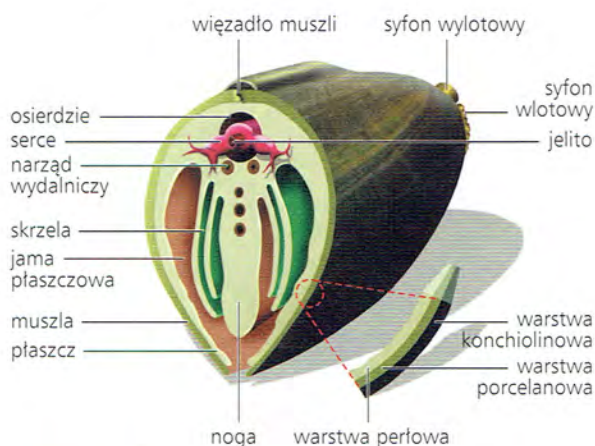
występować receptory odbierające wrażenia chemiczne.

Układ krwionośny

Układ krwionośny małży jest **otwarty**. Składa się z serca, naczyń oraz zatok. Serce otoczone jest workiem okołosercowym (zwanym osierdziem) i składa się z dwóch przedsionków i komory. U większości gatunków małży przez serce przechodzi ostatni odcinek jelita! **144.8.1** Z komory wybiegają dwie tętnice, z których krew wylewa się do jam ciała, przepływa przez skrzela, a następnie zostaje zebrana przez system naczyń żylnych z powrotem do serca. Barwnikiem oddechowym większości małży jest niebieska hemocyjanina (u niektórych gatunków wykryto obecność hemoglobiny).



44.7. Zwoje nerwowe małży



44.8. Schemat budowy wewnętrznej małży – przekrój poprzeczny

Układ wydalniczy

Zbudowany jest z parzystych **metanefrydiów** położonych symetrycznie po obu stronach ciała. U małży noszą nazwę **narządów Bojanusa** i rozpoczynają się lejkiem w okolicy worka okołosercowego. Stąd kanaliki wyprowadzające metanefrydiów usuwają toksyczne produkty przemiany materii otworem odbytowym znajdującym się w tylnej części jamy płaszczowej.

Układ rozrodczy

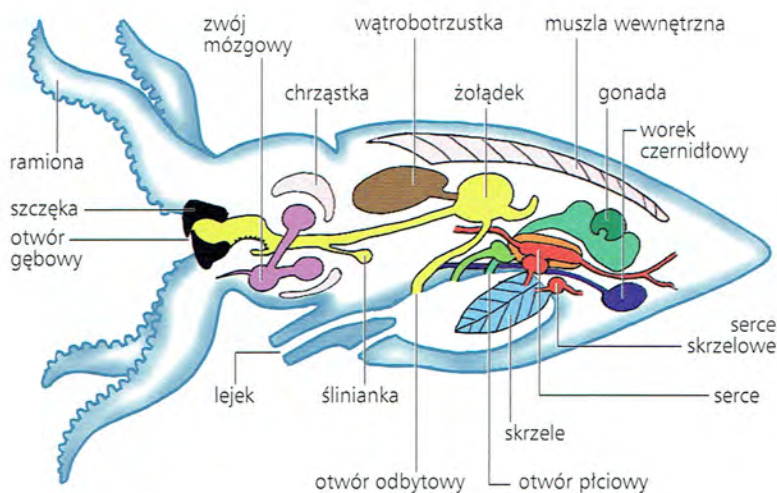
Małże są w zdecydowanej większości rozdzielnopciowe. Mają parzyste gonady, przewody wyprowadzające o prostej budowie i nie wy-

kształciły narządów kopulacyjnych. Zapłodnienie jest wewnętrzne. Odbywa się w wodzie wypełniającej jamę płaszczową, do której plemniki dostają się przez syfon wpustowy. Niektóre gatunki małży wykazują prymitywne formy opieki nad potomstwem: przez pewien czas noszą je pomiędzy blaszkowatymi skrzelami. U gatunków morskich w rozwoju występuje larwa **trochofora**, która przekształca się w **weliger**. Niektóre larwy małży są początkowo pasożytami: przyczepiają się do płetw ryb. Po osiągnięciu odpowiednich rozmiarów opadają na dno, gdzie prowadzą osiadły tryb życia.

Budowa głowonogów

U głowonogów **głowa**, oddzielona od **tułowia** przewężeniem, jest dobrze rozwinięta i zaopatrzona w parę dużych oczu. **Noga** uległa przekształceniu w **wieniec czułków** lub **ramion**. [44.9.1] Występujące u łodzików czułki są liczne (jest ich ok. 90), natomiast ramion może być 8 (ośmiornice) lub 10 (kałamarnice, mątwy). Zaopatrzone są one w przyssawki lub haki ułatwiające chwytanie zdobyczy. Dodatkowym narządem powstałym z przekształcenia nogi jest **lejek**, przez który woda wydostaje się z jamy płaszczowej na zasadzie odrzutu. Dzięki temu zwierzę może bardzo

szybko się poruszać, co jest istotne w czasie ucieczki przed drapieżnikami. U kałamarnic spotykany jest również inny mechanizm obronny. Są one wyposażone w **worek czernidłowy**, w którym zbierają ciemnobrązowy barwnik zwany **sepią**. W razie zagrożenia wyrzucają w kierunku napastnika porcję sepii, która intensywnie zabarwia wodę. Dzięki takiej „zasłonie dymnej” kałamarnica ma czas, aby uciec. Sepia działa również na chemoreceptory, powodując ich czasowy paraliż. Napastnik jest w wyniku tego przez jakiś czas pozbawiony węchu.



44.9. Schemat budowy wewnętrznej głowonogów

Układ pokarmowy

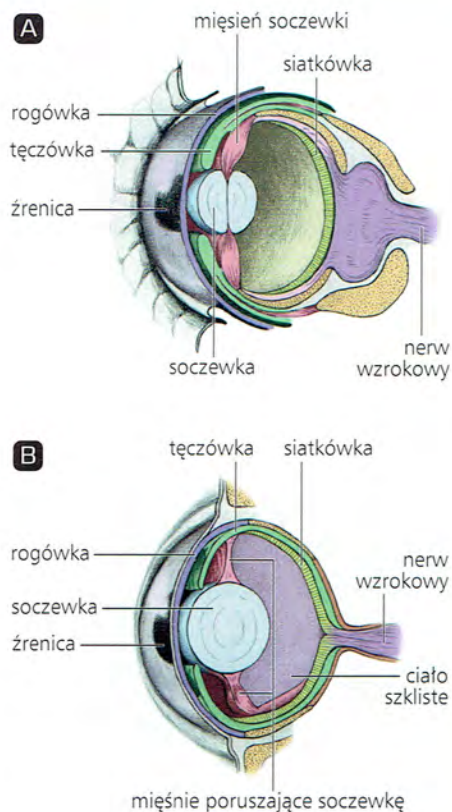
Układ pokarmowy głowonogów rozpoczyna się **jamą gębową** wyposażoną w dwie olbrzymie szczęki. Przypominają one odwrócony papuzi dziób i służą do zabijania i rozrywania ofiary. Do jamy gębowej uchodzą **gruczoły ślinowe** produkujące silną truciznę (niebezpieczną niekiedy również dla człowieka). Podobnie jak u ślimaków, w jamie gębowej głowonogów znajduje się **tarka** zaopatrzona w zęby. Długie i poskręcane jelito jest, tak jak u innych mięczaków, połączone z **gruczołem wątrobowo-trzustkowym**. Odbyt uchodzi do jamy płaszczowej.

Układ nerwowy

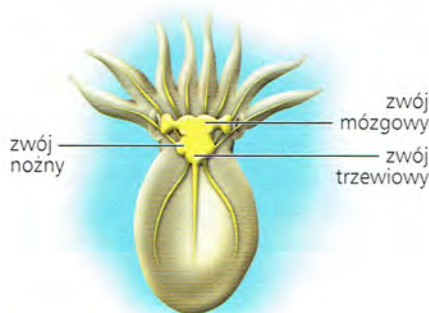
Układ nerwowy głowonogów jest najlepiej rozwinięty spośród wszystkich mięczaków. Na ogół



Porównaj budowę anatomiczną i funkcjonalną oka głowonoga oraz kręgowca.



44.11. Budowa oczu: A) głowonoga, B) ryby



44.10. Układ nerwowy głowonogów

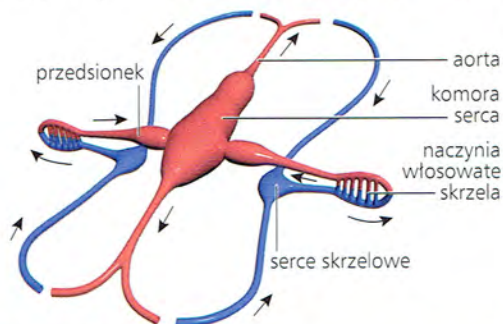
składa się z **czterech par zwojów** zlokalizowanych dookoła przełyku (nad przełykiem znajdują się zwoje mózgowy, za nimi trzewiowy, po bokach – zwoje płaszczowe, a ostatnia para to tzw. zwoje nożne). **44.10.1** Ponieważ zwoje te są znacznych rozmiarów oraz leżą blisko siebie u głowonogów powstał właściwy mózg chroniony torebką głowową zbudowaną z **chrząstki**. Zwoje mózgowy są połączone ze zwojami obwodowymi (np. wzrokowymi) za pomocą licznych nerwów. Proces centralizacji i rozbudowy układu nerwowego pozwolił głowonogom na osiągnięcie niespotykanego wśród bezkręgowców poziomu inteligencji, która idzie w parze ze wzrostem poziomu złożoności narządów zmysłów. **Oczy** głowonogów budową przypominają oczy kręgowców. **44.11.1** Mimo że narządy te powstają z różnych zawiązków (oko głowonoga jest wytworem naskórki, natomiast np. oko ryby powstaje z zawiązków mózgowia – jest wypustką mózgu), pełnią jednakową funkcję. Innymi narządami zmysłów występującymi u głowonogów są **statocysty** (narządy równowagi) zlokalizowane po bokach mózgu, **chemoreceptory** (narządy węchu), **narząd podtarkowy** (receptor smaku) oraz **receptory dotyku** zlokalizowane na ramionach.

;; Ciekawostka

Inteligencja głowonogów przejawia się w zdolności do wykonania tak zwanego **manewru ominięcia** (poza nimi potrafią to jedynie ssaki i ptaki). Umożliwia on dotarcie do pokarmu odgradzonego niewidoczną przeszkodą. Jeśli w poprzek akwarium z ośmiornicą umieścimy szybę, a za nią pożywienie, to głowonóg dotrze do pokarmu górą, omijając przeszkodę.

Układ krwionośny

Układ krwionośny głowonogów ma dość złożoną budowę i nazywany jest **układem półotwartym**. [44.12.] Krew (zawierająca rozpuszczony w osoczu barwnik – **hemocyjaninę**) przez większość czasu krąży w naczyniach krwionośnych: tętnicach, żyłach oraz **naczyniach włosowatych**. Otoczone osierdziem serce składa się z jednej komory oraz z przedsionków, których liczba odpowiada liczbie skrzel (dwóch lub czterech). Krew pobiera tlen w skrzelach, skąd przemieszcza się do przedsionków i komory. Z niej wypływa aortami, które rozgałęziają się następnie



44.12. Półotwarty układ krwionośny głowonogów

na tętnice prowadzące krew bezpośrednio do docelowych narządów. Krew odtlenowana jest zbierana przez żyły i prowadzona do skrzel. U głowonogów żyły główne skrzelowe wykazują na pewnych odcinkach zdolność do skurczów. Odcinki te nazywamy **sercami skrzelowymi**. Możemy zatem powiedzieć, że u głowonogów występują dwa obiegi krwi – duży i mały.

Układ rozrodczy

Głowonogi to w większości organizmy rozdzielonopłciowe. Z gonad gamety są wyprowadzane do jamy płaszczowej za pomocą nasieniowodów (samce) lub jajowodów (samice). Głowonogi cechuje dymorfizm płciowy objawiający się przekształceniem jednego z ramion (u samców) w narząd kopulacyjny. Kopulacja jest poprzedzona **rytuałem godowym**, po którym dochodzi do przeniesienia plemników do jamy płaszczowej samicy. W efekcie zapłodnienia wewnętrznego samica składa niewielką liczbę jaj. Wylęgają się z nich osobniki podobne do organizmu macierzystego. U głowonogów nie występują stadia larwalne, a rozwój określany jest jako prosty.

PODSUMOWANIE

- Mięczaki to organizmy w większości wodne (poza niektórymi gatunkami ślimaków).
- Ciało mięczaków składa się z głowy, worka trzewiowego oraz nogi.
- Od strony grzbietowej worek trzewiowy tworzy płaszcz odgraniczający, a od wewnątrz jamę płaszczową.
- Nieparzysta noga jest narządem lokomocyjnym, a u głowonogów uległa przekształceniu w czułki lub ramiona.
- W zależności od trybu życia mięczaki oddychają skrzelami lub bogato unaczynioną jamą płaszczową (np. ślimaki lądowe).
- Nerki mięczaków zwykle mają postać przekształconych metanefrydiów.
- Układ krwionośny mięczaków jest otwarty lub półotwarty (u głowonogów).
- Układ nerwowy ma postać zwojów nerwowych otaczających przełyk.
- W rozwoju osobniczym mięczaków występują larwy: trochofora (podobna do spotykanej u pierścienic) i weliger (zwany żeglarkiem).

ZADANIA

1. Określ zależność między budową układu oddechowego mięczaków a liczbą przedsionków w ich sercu.
2. Porównaj budowę układu krwionośnego obecnego u omawianych grup mięczaków.
3. Jakie znaczenie ma szczególnie długi syfon wpustowy występujący u gatunków małży zagrzebujących się w mule?

W INTERNECIE

<http://www.muszele.concha.pl/?id=24>

45. Przegląd systematyczny i znaczenie mięczaków

Według najnowszej klasyfikacji do mięczaków zalicza się siedem gromad. Podstawą tego podziału jest olbrzymie zróżnicowanie budowy, a także środowiska oraz trybu życia tej grupy zwierząt. Poza trzema głównymi gromadami do mięczaków należą: **beztarczowce** (*Aplacophora*), **jednotarczowce** (*Monoplacophora*), **chitony** (*Polyplacophora*), **łódkonogi** (*Scaphopoda*).

:: Ciekawostka

Nazwa gromady **Chitony** (*Polyplacophora*), podobnie jak wyraz „chityna”, wywodzi się od greckiego słowa *chitōn*, które oznacza tunikę. Chitony są organizmami dennymi, żyjącymi na dużych głębokościach (dochodzących do 4000 m). To w większości algofagi, które żywią się glonami zeszkrobującymi za pomocą tarki. W budowie chitonów zauważalna jest metameria pierwotna widoczna szczególnie w układzie płytek pancerza.



Gromada: ślimaki (*Gastropoda*)

„Ślimaki” to potoczna i powszechnie przyjęta nazwa oznaczająca przedstawicieli gromady *Gastropoda*. Inna nazwa systematyczna – „**brzuchonogi**” – lepiej oddaje ich morfologiczną budowę. Ślimaki to najliczniejsza pod względem gatunkowym gromada mięczaków (należy do niej ok. 110 tysięcy gatunków). W ich budowie widocznych jest wiele cech stanowiących przystosowanie do środowiska lądowego oraz słono- i słodkowodnego. Ślimaki są w większości organizmami wolno żyjącymi. Wśród bardzo nielicznych w tej grupie pasożytów dominuje pasożytnictwo zewnętrzne (**ektopasożytnictwo**), głównie ryb i parzydełkowców. Rzadkie przykłady oddziaływań symbiotycznych przejawiają się głównie we współpracy z wiciowcami bytującymi w przewodzie pokarmowym, których obecność wspomaga proces trawienia błonnika.

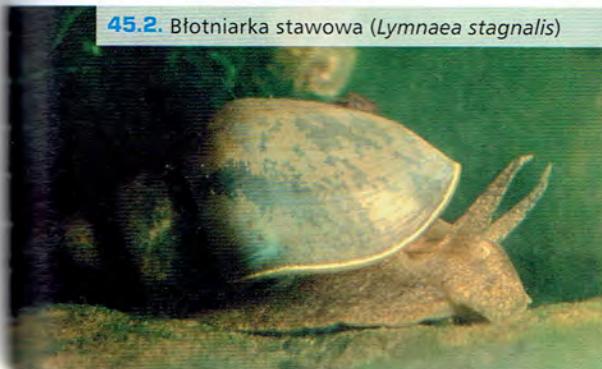
Typowym przedstawicielem ślimaków żyjących w Polsce jest płucodyszny **winniczek** (po-

stać dorosła może dochodzić do długości 8 cm przy średnicy muszli 5 cm). **145.1.** Jego siedliskiem są obszary o dużej wilgotności. Odżywia się świeżymi liśćmi, dlatego często traktuje się go jak szkodnika. Na głowie ma dwie pary czułków: krótsze pełnią rolę receptorów dotyku, na dłuższych osadzone są oczy. Na spodzie głowy znajduje się otwór gębowy. Innym przedstawicielem ślimaków lądowych jest pozbawiony muszli **pomrów wielki**. Do ślimaków żyjących w środowisku wodnym należą **blotniarka stawowa** **145.2.1** i **zatoczek rogowy**. **145.3.1**

45.1. Ślimak winniczek (*Helix pomatia*)



45.2. Blotniarka stawowa (*Lymnaea stagnalis*)



45.3. Zatoczek rogowy (*Planorbis corneus*)



Gromada: małże (*Bivalvia*)

Gromada małży liczy około 25 tysięcy gatunków (ich rozmiary wahają się od 2 mm do nawet 1,5 m w przypadku muszli **przydaczni wielkiej**). **445.4.1** Są to organizmy wyłącznie wodne, z czego 80% żyje w wodach słonych. W przeciwieństwie do ślimaków oraz głowonogów prowadzą osiadły tryb życia: bytują w piasku lub mule. Są zwierzętami długowiecznymi: perłoródka rzeczna będąca bio-indykatoorem wrażliwym na zanieczyszczenia wód słodkich może żyć nawet 120 lat! Popularnymi w Polsce małżami są **szczeżuja pospolita** **445.5.1** oraz **sercówka pospolita**. **445.6.1** Najśłynniejszym gatunkiem małża jest **perłopław morski** **445.7.1** – żyjący do 100 lat i wytwarzający perły cenione przez jubilerów.



45.4. Przydacznia wielka (*Tridacna gigas*)



45.5. Szczeżuja pospolita (*Anodonta* sp.)



45.7. Perłopław morski (*Meleagrina margaritifera*)



45.6. Sercówka pospolita (*Cardium glaucum*)

45.8. Łodzik (*Nautilus sp.*)45.9. Ośmiornica zwyczajna (*Octopus vulgaris*)

Gromada: głowonogi (*Cephalopoda*)

Jest to grupa obejmująca około 700 gatunków, różniąca się w znaczącym stopniu od pozostałych przedstawicieli mięczaków – tak pod względem budowy anatomicznej, jak i trybu życia. Podobnie jak małże, głowonogi są zwierzętami wyłącznie wodnymi, prowadzą jednak bardzo aktywny tryb życia. Są to jednak wyłącznie organizmy morskie. Ich charakterystyczną cechą jest brak u większości przedstawicieli muszli zewnętrznej (zachowała się za to u form kopalnych). Nie zanikła ona jednak, a jedynie uległa przekształceniu w elementy szkieletu wewnętrznego. Wśród głowonogów jedyną grupą, która zachowała zewnętrzną skorupę, są łodziki zamieszkujące wody Oceanu Indyjskiego.

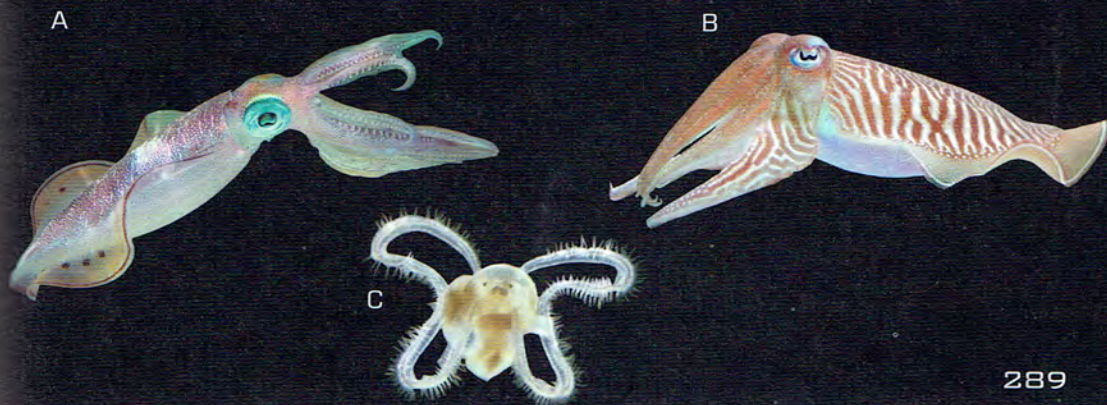
Głowonogi są bezwzględnie drapieżnikami, bardzo dobrze pływają oraz doskonale znoszą ciśnienie wody panujące na dużych głębokościach. Ich ciało jest różnie zabarwione, a u niektórych gatunków obserwuje się zjawisko **bioluminescencji**. Przykładem głowonogów o pierwotnej budowie



45.10. Muszla łodzika zawierająca komory powietrzne

ciała są **łodziki** [45.8.] zaopatrzone w zewnętrzną muszlę. Jej komory wypełnione gazem zapewniają ciału głowonoga pewną pływalność, umożliwiając swobodne unoszenie się w toni wodnej. [45.10.] Powszechnie występującymi gatunkami głowonogów są należące do ośmiornic **ośmiornica zwyczajna** [45.9.] i **żeglarek**. Samica żeglarka wytwarza okresowo muszlę, która nie jest wytworem płaszcza i służy jako komora lęgowa. Inną grupę głowonogów stanowią **dziesięciornice**, do których należą **kałamarnice** oraz **mątwy**. [45.11.]

45.11. Na rycinie: A) kałamarnica (*Loligo vulgaris*), B) mątwą (*Sepia officinalis*), C) samica żeglarka (*Argonauta argo*) z wytworzoną muszlą lęgową



Znaczenie mięczaków w przyrodzie i gospodarce człowieka

Głównoniogi stanowią bardzo ważne ogniwo sieci troficznych w ekosystemach oceanów. Są to w większości drapieżniki, jednak same również padają ofiarą ryb, delfinów, a nawet pingwinów czy kaszalotów. Liczne gatunki mięczaków są wykorzystywane w wielu kuchniach świata (np. francuskiej) jako surowiec kulinarny. Są to ślimaki, takie jak ślimak winniczek czy znacznie mniejsze **wstężyki ogrodowe**. **445.12.1** Z małży chętnie spożywane są **omułki jadalne** i **ostrygi jadalne**. **445.15., 445.13.1** Oba są gatunkami morskimi prowadzącymi osiadły tryb życia. Spośród głównonogów szczególnym uznaniem cieszy się mięso z płaszcza **kalmara pospolitego**. **445.14.1** przyrządzane w krajach nadmorskich.

Ponieważ ślimaki są jedynymi mięczakami lądowymi, tylko wśród nich znajdziemy trudne do wytępienia i uciążliwe dla człowieka szkodniki. Dotyczy to zwłaszcza ślimaków pozbawionych muszli, czyli **pomrowów** (jak np. pomrów polny, pomrów wielki). **445.16.1** Można je nazwać gatunkami **synantropijnymi** (towarzyszącymi człowiekowi), gdyż występują w pobliżu ludzkich siedzib – w kompostownikach, śmietnikach. Małże są wykorzystywane przez człowieka także poza sferą kulinarną (zwłaszcza gatunki należące do perłopławów). Przykładem jest **perłopław morski** (*Meleagrina margaritifera*) wytwarzający

największe i najbardziej cenione perły. Powstają one jako reakcja małża na pojawienie się ciała obcego w przestrzeni między muszlą a płaszczem. Perłopławy przez wieki były niszczone przez poławiaczy szukających pereł „na ślepo”. Dziś perłopławy najpierw prześwietla się promieniami Roentgena, a otwierają tylko te, w których wnętrzu znajduje się perła (polega to często na jej chirurgicznym usunięciu).



445.13. Ostryga jadalna (*Ostrea edulis*)



445.14. Kalmar pospolity (*Loligo vulgaris*)



445.12. Wstężyk ogrodowy (*Cepaea hortensis*)

445.15. Omułek jadalny (*Mytilus edulis*)





45.16. Pomrów wielki (*Limax maximus*)

PODSUMOWANIE

- Najliczniejszą gatunkowo gromadą mięczaków są ślimaki (należy do nich ok. 110 tysięcy gatunków). To jedyni przedstawiciele typu *Mollusca* przystosowani do życia w środowisku lądowym.
- Ślimaki to w większości organizmy wolno żyjące, u form pasożytniczych dominuje ektopasożytnictwo.
- Drugą pod względem liczebności gromadą mięczaków są małże liczące około 25 tysięcy gatunków.
- Większość głowonogów charakteryzuje się brakiem zewnętrznej muszli, która uległa przekształceniu w elementy szkieletu wewnętrznego.
- Jedyną grupą głowonogów zachowującą zewnętrzną skorupę są przedstawiciele rodzaju łodzik (*Nautilus sp.*) zamieszkujący wody Oceanu Indyjskiego.
- Ze względu na olbrzymie zróżnicowanie mięczaków i dużą ich liczebność odgrywają one znaczącą rolę w ekosystemach wodnych i lądowych.



ZADANIA

1. Która z omawianych gromad mięczaków ma największe znaczenie w gospodarce człowieka?
2. Głowonogi są określane mianem najbardziej progresywnej gromady mięczaków. Udowodnij, że to stwierdzenie jest słuszne – podaj co najmniej trzy argumenty.
3. Oceń, jaką funkcję spełnia muszla wytwarzana okresowo przez samice żeglarka należącego do głowonogów.
4. Określ, jaki element budowy zewnętrznej chitonów świadczy o zachowaniu przez nie pierwotnej metamerii ciała.
5. Wymień przedstawicieli gatunków:
 - A) mięczaków lądowych spotykanych w Polsce,
 - B) mięczaków niewytwarzających zewnętrznej skorupy,
 - C) mięczaków żyjących w środowisku wodnym.
 Porównaj je pod względem budowy anatomicznej i adaptacji do środowisk, w których żyją.



BIBLIOGRAFIA

- Urbański J., *Mięczaki Pienin*, Poznań 2010.
- Penkowski A., *Ślimaki i małże Polski*, Warszawa 2003.
- Jura C., *Bezkregowce*, Warszawa 2005.



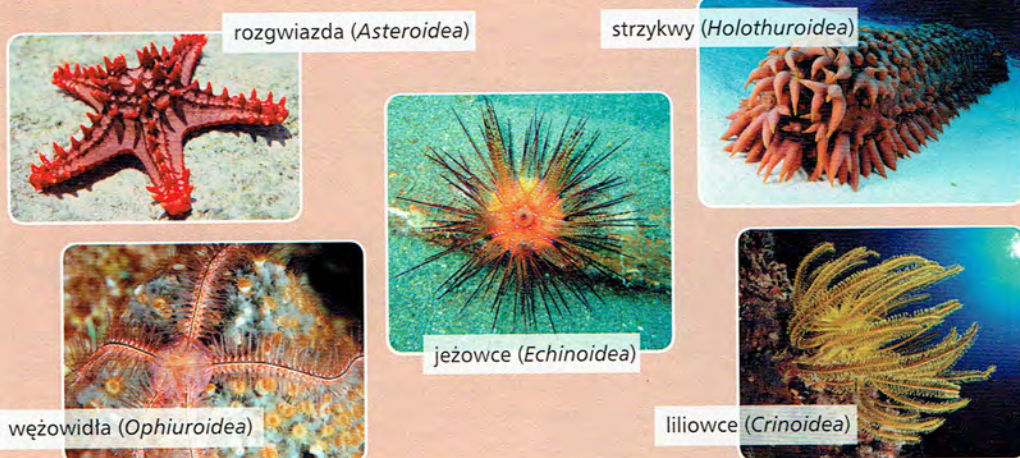
W INTERNECIE

<http://oczkwodne.net/strony/mollusca.php>



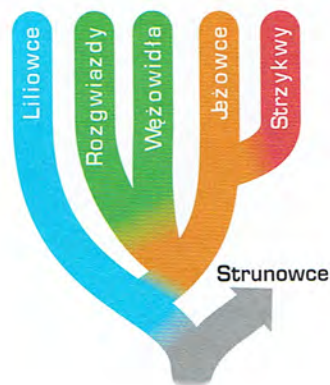
46. Budowa i czynności życiowe szkarłupni

Szkarłupnie (*Echinodermata*) to boczna linia rozwojowa bezkręgowych zwierząt wtóroustych (*Deuterostomia*). Oznacza to, że (w odróżnieniu od zwierząt pierwoustych) ich otwór gębowy powstaje z otworu wykształcającego się w drugiej kolejności w ciele zarodka, podczas gdy odbył formuje się z otworu wykształconego pierwotnie. Postaci larwalne szkarłupni charakteryzują się symetrią dwuboczną, którą formy dorosłe tracą w większości wypadków na rzecz **symetrii pięcioramiennej**. Mimo że żyjących gatunków szkarłupni opisano blisko 7000, są one uznawane za grupę reliktową, gdyż zdecydowanie więcej tych zwierząt (około 20 000 gatunków) znaleziono w osadach pochodzących z dolnego kambru (większość z nich wymarła pod koniec paleozoiku). Szkarłupnie na ogół prowadzą osiadły tryb życia, tylko nieliczne unoszą się swobodnie w toni wodnej (wężowidła). Charakterystyczny jest również dla tej grupy brak form pasożytniczych. Szkarłupnie występują zarówno w strefach przybrzeżnych, jak i głębinach dochodzących do 7000 metrów poniżej lustra wody, prawie wyłącznie w wodach morskich o pełnym zasoleniu. Nieliczne gatunki strzykwy i wężowideł przystosowały się do życia w wodach o niskim stopniu zasolenia (np. wężowidło białawe w Bałtyku).



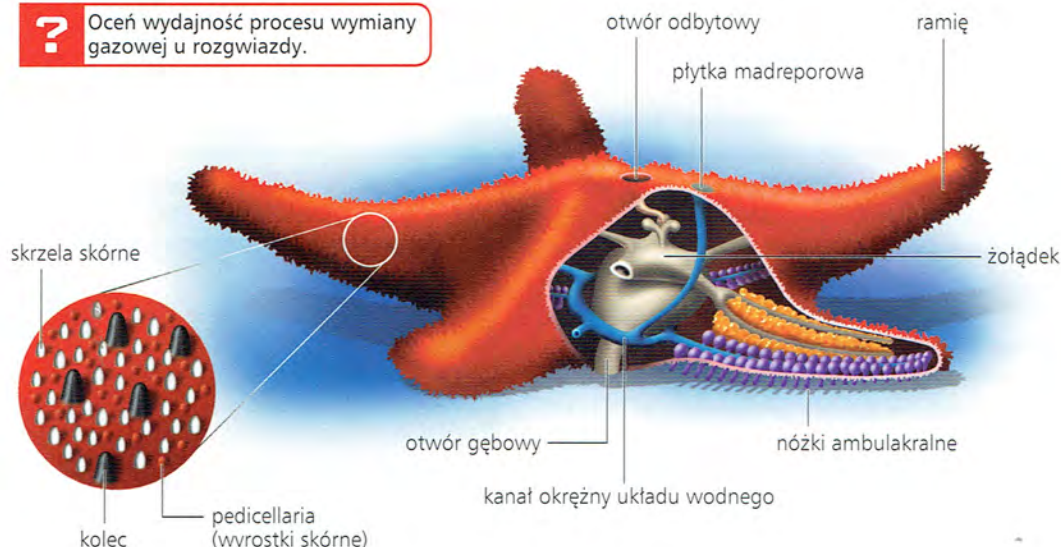
Budowa wewnętrzna szkarłupni

Szkarłupnie są wyposażone w szkielet wewnętrzny złożony z płytek o porowatej strukturze zbudowanych z węglanu wapnia (CaCO_3). Tworzą one dookoła zwierzęcia sztywny pancerz, często zaopatrzony w liczne kolce (u jężowców poruszane za pomocą mięśni). Płytki i kolce nie są jednak wytworem naskórka (jak np. pancerzyki owadów), ale mezodermy (odpowiednika skóry właściwej). Na zewnątrz mezodermalny szkielet pokrywa orzęsiony naskórek. Od kolców w szkielecie wewnętrznym wzięła się łacińska nazwa tej grupy zwierząt – *Echinodermata* oznacza „kolczastokóra”. Specyficzną cechą, charakterystyczną tylko dla szkarłupni, jest wykształce-





Oceń wydajność procesu wymiany gazowej u rozgwiazdy.



46.1. Budowa wewnętrzna szkarłupni na przykładzie rozgwiazdy

nie **układu ambulakralnego**, zwanego też **układem wodnym**. Rozpoczyna się on **płytką madreporową** zlokalizowaną na **aboralnej** (górnej) powierzchni ciała. Przez liczne, niewielkie otworki w tej płytce woda morska wpływa do umieszczonego osiowo **kanału kamiennego**, przechodzącego po spodniej stronie ciała w **kanał okrężny**. Odchodzą od niego **kanały promieniste** biegnące wzdłuż ramion (u rozgwiazd) lub wzdłuż promieni na naskórku (u jeżowców). Rozprowadzana tymi kanałami woda dociera do najważniejszego elementu motorycznego układu wodnego, czyli do systemu **nózek ambulakralnych**.

146.1.1 U rozgwiazd nóżki te są wypustkami skóry po spodniej stronie ciała i są wyposażone w przyssawki. U jeżowców natomiast kolce współpracują z nóżkami w lokomocji. U podstawy każdej nóżki znajdują się umięśnione **ampułki**. W wyniku skurczu mięśni woda jest przepompowywana do nóżki, która się wówczas wysuwa.

Wymiana gazowa szkarłupni

Funkcjonalny układ oddechowy u szkarłupni jako taki nie istnieje. Większość z nich prowadzi wymia-

nę gazową całą powierzchnią ciała, którą usprawniają specyficzne przystosowania morfologiczne. U rozgwiazd obserwuje się uwypuklenia naskórka (tzw. **skrzela skórne**) zwiększające powierzchnię wymiany gazowej. U węzowideł z kolei rolę tę odgrywają zagłębienia zlokalizowane u nasady ramion. U strzykw za wymianę gazową odpowiadają **płuca wodne** będące rozgałęzionymi uchyłkami jelita końcowego, a u liliowców funkcję tę spełniają wyrostki ambulakralne i czułki.

Układ krążenia

Układ krążenia szkarłupni, zwany też **układem hemalnym**, u większości gatunków jest słabo zaznaczony. Nie występuje w nim serce, chociaż u niektórych strzykw (mających najlepiej rozwinięty układ krążenia wśród szkarłupni) zaobserwowano tętnienie naczyń. Układ krwionośny składa się z dwóch **pierścieni hemalnych** (okołogębowych), od których odchodzi pięć promienistych odgałęzień biegnących w ramionach pomiędzy nerwem a naczyniem okołogębowym. U strzykw poza pierścieniem okołogębowym występuje również dobrze rozwinięty hemalny układ trzewiowy, mający postać sieci naczyń oplatających jelito.

Układ nerwowy

Wspomniana już na wstępie symetria promienista idzie u szkarłupni w parze z redukcją odcinka głowowego. Jest ona posunięta do tego stopnia, że nawet w budowie wewnętrznej nie udaje się wyróżnić nadrzędnych zwojów mogących pełnić funkcję mózgu. Układ nerwowy ma postać pierścienia okołoprzetykowego i odchodzących od niego pni zwanych **nerwami promiennymi**.

Szkarłupnie cechują się olbrzymimi zdolnościami do regeneracji, a odcięte fragmenty ciała reagują na bodźce podobnie jak cały osobnik. Jednak w zdecydowanej większości wypadków, ze względu na osiadły i mało aktywny tryb życia, szkarłupnie nie mają dobrze rozwiniętego systemu narządów zmysłów. U niektórych występują prymitywne narządy światłoczułe (np. u rozgwiazd czerwone oczy złożone znajdujące się w pobliżu otworu gębowego) lub receptory chemiczne zlokalizowane w nóżkach ambulakralnych. U rozgwiazd, jeżowców oraz strzykw występują niekiedy **statocysty**.

Układ pokarmowy

Układ pokarmowy szkarłupni ma bardzo prostą budowę. Składa się z **otworu gębowego** znajdującego się po spodniej stronie ciała i **otworu odbytowego** po stronie górnej, a także z jelita i żołądka, który ma unikalną zdolność wynicowy-

:: Ciekawostka

Ciekawa reakcja obronna występuje u **strzykw**. Podrażniona strzykwa wystrzeliwuje przez odbyt większość swojego przewodu pokarmowego, razem z gonadami i płucami wodnymi (stąd nazwa – strzykwy). Utracone elementy w sprzyjających warunkach ulegają całkowitej regeneracji.



wania się na zewnątrz. U jeżowców występuje poza tym charakterystyczna struktura zwana **latarnią Arystotelesa**, mająca postać pięciu wapiennych zębów poruszanych za pomocą potężnych mięśni. **146.2.1**

Odżywianie

Najbardziej typową grupą szkarłupni są rozgwiazdy. Zdecydowana większość z nich to sprawne **drapieżniki**, których ofiarą padają mięczaki, skorupiaki, pierścienice, a nierzadko inne szkarłupnie (wyjątkowo rozgwiazdy są w stanie upolować rybę!). Przymakiem rozgwiazd są jednak małże, wobec których stosują one specjalną technikę polowania. Rozgwiazda otacza małża ramionami i za pomocą ambulakralnych przyssawek mocuje się do obu połówek jego muszli. Wyginając się, rozgwiazda stopniowo doprowadza do jej otwarcia. Wówczas przez otwór gębowy wynicowuje do wnętrza muszli swój żołądek, a enzymy wydzielane przez jego nabłonek rozpoczynają proces trawienia małża (co przypomina trawienie zewnętrzne spotykane u pajaków). Częściowo strawione tkanki ofiary są następnie wchłaniane przez rozgwiazdę i ostatecznie trawione za pomocą enzymów wydzielanych przez gruczoły zlokalizowane w ramionach.

46.2. Latarnia Arystotelesa to specyficzny narząd gębowy dla jeżowców, złożony z pięciu potężnych wapiennych zębów.



Układ wydalniczy

Usuwanie szkodliwych metabolitów odbywa się u szkarłupni na drodze dyfuzji, przez wyrostki znajdujące się na powierzchni ciała. Funkcję wydalniczą pełnią również **amebocyty** krążące w układzie ambulakralnym, które wypełniają się produktami przemiany materii. Są one wydalone na zewnątrz bezpośrednio do wody morskiej otaczającej zwierzę.

Rozmnażanie się i rozwój szkarłupni

Szkarłupnie są w większości zwierzętami **rozdzielnopłciowymi**, jedynie nieliczne gatunki rozgwiad i strzykw są **obojnakami**. U form rozdzielnotłociowych nie obserwuje się dymor-

fizmu płciowego (rzadko zdarza się odmienne zabarwienie przedstawicieli różnych płci). W większości wypadków płeć szkarłupni można rozpoznać jedynie na podstawie kształtu gonad (widocznych dopiero po rozcięciu ciała zwierzęcia). Zapłodnienie ma na ogół charakter zewnętrzny: jaja i plemniki uwalniane są bezpośrednio do otaczającej wody, gdzie dochodzi do ich połączenia. W charakterystycznym dla tej grupy zwierząt rozwoju złożonym obecna jest **planktoniczna larwa** o dwubocznej symetrii ciała. Prawdziwą rzadkością wśród szkarłupni jest opieka nad potomstwem. U pewnych gatunków węzowideł i jeżowców w okresie rozrodu funkcjonują kieszenie lęgowe, w których przebywają larwy.

PODSUMOWANIE

- Szkarłupnie to zwierzęta wtórouste o symetrii promienistej (najczęściej pięciopromiennej).
- Do szkarłupni zaliczamy pięć gromad: rozgwiad, węzowidła, jeżowce, strzykwy oraz liliowce.
- Charakterystyczną dla szkarłupni cechą budowy jest dobrze rozwinięty układ ambulakralny (wodny).
- Wymiana gazowa u szkarłupni zachodzi całą powierzchnią ciała lub za pomocą specjalnie przystosowanych do tego celu uwypukleń naskórka (skrzela skórne u rozgwiad) bądź uchyłków jelita (płuca wodne u strzykw).
- Układ krążenia zwany układem hemalnym odgrywa marginalną rolę na rzecz układu ambulakralnego.
- W układzie nerwowym nie jest zaznaczony odcinek głowowy (jest to tzw. acefalizacja).
- Układ pokarmowy szkarłupni jest drożny. Zwierzęta te odżywiają się mięczakami, skorupiakami, pierścienicami, a czasem innymi szkarłupniami.
- U szkarłupni nie występuje układ wydalniczy.
- Szkarłupnie są w większości zwierzętami rozdzielnotłociowymi, u których zachodzi na ogół zapłodnienie zewnętrzne.



ZADANIA

1. Omów te cechy szkarłupni, które odróżniają je od innych zwierząt wyposażonych we wtórną jamę ciała.
2. Wyjaśnij, dlaczego szkarłupnie są nazywane grupą reliktową. Podaj stosowne argumenty.
3. Określ, z jakiej części ciała strzykw powstają tak zwane płuca wodne.
4. Scharakteryzuj budowę i znaczenie układu ambulakralnego występującego u szkarłupni.
5. Scharakteryzuj narządy zmysłu równowagi charakterystyczne dla rozgwiad, jeżowców i strzykw.
6. Określ, jakie komórki pełnią funkcję pomocniczą w usuwaniu zbędnych produktów przemiany materii u szkarłupni.
7. Omów zjawisko ewolucji regresywnej zachodzące u szkarłupni.



W INTERNECIE

<http://edunauka.pl/zlogszkar.php>



47. Pochodzenie i linie rozwojowe strunowców

Strunowce cechuje olbrzymie zróżnicowanie morfologiczne, mimo to wszystkie zachowują jeden plan budowy wskazujący na ich wspólne pochodzenie. Do strunowców zaliczamy obecnie około 65 tysięcy gatunków zwierząt pogrupowanych w dwa podtypy:

podtyp: *Tunicata* – osłonice

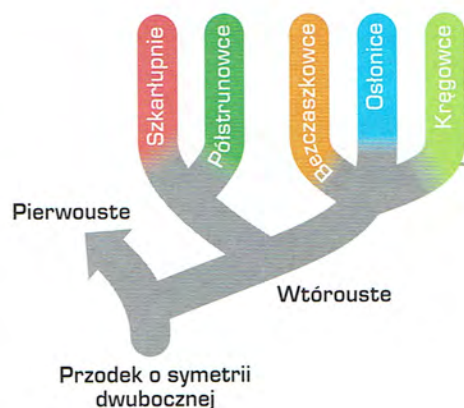
podtyp: *Vertebrata* – kręgowce.

Poza nimi w obrębie strunowców wyróżniamy też gromadę **bezczaszkowców** (*Cephalochordata*).

Pochodzenie strunowców

Przodkowie dzisiejszych strunowców wywodzili się prawdopodobnie od pierwotnych zwierząt wtóroustych, które ponad 530 milionów lat temu rozdzieliły się na dwie główne linie rozwojowe. Pierwsza dała początek szkarłupniom i półstrunowcom, których przedstawiciele w niemal niezmienionej formie przetrwali do dziś. Druga linia dała natomiast początek wszystkim grupom strunowców. Nastąpiło to najprawdopodobniej na skutek ewolucyjnej zmiany w sposobie zdobywania pokarmu (zamiast czułków wykorzystywanych dotąd przez parzydełkowce wykształciła się gardziel filtrująca wodę morską z zawartego w niej planktonu).

Według najnowszej systematyki pierwszymi strunowcami byli wymarli przedstawiciele gromady *Cephalochordata*. Bezczaszkowce, współcześnie reprezentowane przez 33 gatunki, mimo obecności struny grzbietowej różnią się od typowych



wych kręgowców wieloma istotnymi cechami budowy. Najważniejszą z nich jest brak odcinka głowowego: struna grzbietowa sięga do przedniego końca ciała zwierzęcia, natomiast u typowych kręgowców – jedynie do podstawy mózgu (nawet w rozwoju zarodkowym). Brak również samego mózgu (jest obecny jedynie niewielki pęcherzyk mózgowy), a w układzie krwionośnym nie występuje serce (jest zatoka żylna).

Odrębną gałąź ewolucyjną strunowców stanowią osłonice (*Tunicata*) **147.1.1** oraz kręgowce (*Vertebrata*). Oba podtypy pojawiły się prawdopodobnie w tym samym czasie, niezależnie od siebie. Żyjący współcześnie przedstawiciele **osłonice** (ok. 2400 gatunków) to osiadłe, morskie zwierzęta niewielkich rozmiarów, wyglądem przypominające bardziej gąbki i jamochłony niż strunowce. W obrębie tego podtypu wyróżniamy trzy gromady: **ogonice** (*Appendicularia*), **zachwy** (*Ascidacea*) oraz **sprzągle** (*Thaliacea*).

147.1. Osłonice



W wyniku analizy budowy kopalnych przedstawicieli wczesnych strunowców udało się stworzyć jej ogólny schemat. Charakterystyczną cechą tych zwierząt była dwuboczna symetria ciała podzielonego na części: trzewną oraz somatyczną. Przedni odcinek zbudowany był z szerokiej gardzieli poprzecinanej szczelinami skrzelowymi i tworzącej strukturę nazywaną koszem skrzelowym. Odcinek ten odpowiadał zarówno za pobieranie pokarmu, jak i za wymianę gazową. Woda przepływająca przez kosz skrzelowy omywała skrzelę, oddając tlen do biegnących w nich naczyń. Jednocześnie do śluzu produkowanego

przez komórki ścianek gardzieli przyklejały się drobne zwierzęta planktoniczne. Przodkowie strunowców byli zatem filtratorami. Pokarm przesuwany był za pomocą ruchów rzęsek w kierunku dolnej części gardzieli, którą zajmowała tak zwana rynienka podgardzielowa (endostyl). Ruch rzęsek nabłonka endostylu przesuwał pokarm w kierunku przełyku, za którym znajdowała się część somatyczna. Znajdowały się w niej metamerycznie ułożone mięśnie (miomery), których skurcze powodowały wyginanie ciała zwierzęcia na boki. Umożliwiało to strunowcom przemieszczanie się w toni wodnej.

PODSUMOWANIE

- Do strunowców zaliczamy 65 tysięcy gatunków podzielonych na dwa podtypy: ostonice i kręgowce oraz odrębną grupę bezczaszkowców.
- Przodkowie współczesnych strunowców wywodzili się od pierwotnych zwierząt wtóroustych, które rozdzieliły się na dwie główne linie rozwojowe.
- Ewolucja kręgowców rozpoczęła się około 530 milionów lat temu.
- W podtypie ostonic wyróżniamy trzy gromady: ogonice, żachwy oraz sprzagle.
- Główne cechy strunowców są obecne u wszystkich gatunków przynajmniej na pewnych etapach rozwoju zarodkowego. W późniejszych fazach życia niektóre z nich mogą zostać utracone lub zmienić swą podstawową funkcję.



ZADANIA

1. Pierwotne zwierzęta wtórouste rozdzieliły się na dwie linie rozwojowe, z których jedna dała początek dzisiejszym strunowcom. Podaj przykład zwierzęcia należącego do drugiej z nich.
2. Znajdź w dostępnych źródłach nazwy rodzajowe dwóch kopalnych przedstawicieli pierwotnych bezczaszkowych strunowców.
3. Określ, na jakie dwie części dzieli się ciało typowego strunowca oraz jakie główne funkcje one pełnią.



BIBLIOGRAFIA

- *Zoologia. Bezkręgowce*, t. 1, praca zbiorowa, Warszawa 2009.
- *Gady, Płazy i Bezkręgowce. Encyklopedia Zwierząt*, praca zbiorowa, Warszawa 2007.



W INTERNECIE

- <http://www.fossils.booo.pl/html/strunowce.html>
- <http://www.eol.org/pages/694>
- <http://www.bumblebee.org/invertebrates/CHORDATA.html>



48. Charakterystyka strunowców na przykładzie lancetnika

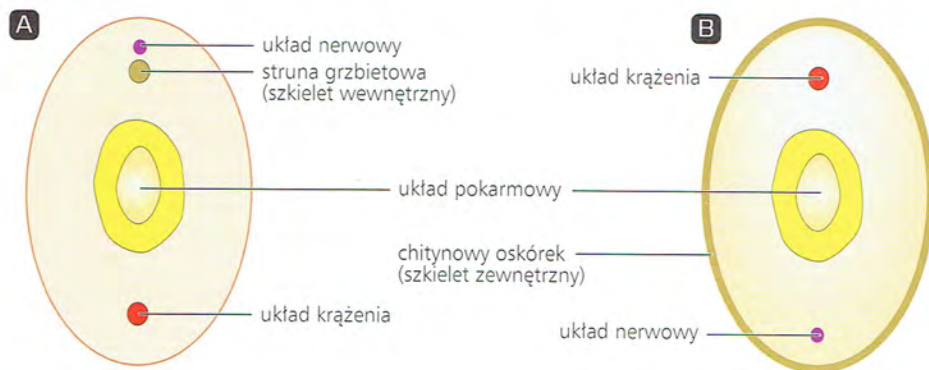
Nazwa „strunowce” pochodzi od **struny grzbietowej** (*chorda dorsalis*) – elementu budowy wewnętrznej obecnego u wszystkich zwierząt należących do tego typu (przynajmniej na pewnym etapie cyklu życiowego). Struna grzbietowa to struktura długa, w przekroju owalna i przypominająca elastyczny pręt, zbudowana z komórek tkanki łącznej ułożonych blisko siebie. Pełni ona przede wszystkim funkcję podporową: stanowi wewnętrzny szkielet osiowy. U form bardziej złożonych zostaje zastąpiona przez kręgosłup.

Budowa ciała lancetnika

Wzdłuż ciała strunowców, po grzbietowej stronie struny, ciągnie się centralny, cewkowaty układ nerwowy, który w przedniej części ulega pogrubieniu (tworzy tzw. pęcherzyk mózgowy). Jest to sytuacja całkowicie odwrotna niż u bezkręgowców, których układ nerwowy (w postaci łańcuszka nerwowego) był położony po brzusznej stronie ciała. W planie budowy strunowców widoczna jest dwuboczna symetria ciała oraz, podobnie jak u bezkręgowców, metameryczny (segmentalny) układ mięśni. Co charakterystyczne, u wszystkich strunowców (przynajmniej w pewnym okresie życia) pojawiają się **szczeliny skrzelowe**. Tworzą się one jeszcze na etapie rozwoju zarodkowego, gdy powłoki ciała w okolicy gardzieli ulegają sfałdowaniu, a powstałe wgłębienia łączą się z fragmentami ściany gardzieli. U strunowców wodnych powstałe otwory przekształcają się w szczeliny skrzelowe. Szczeliny te u kręgowców lądowych, u których rozwinęły się

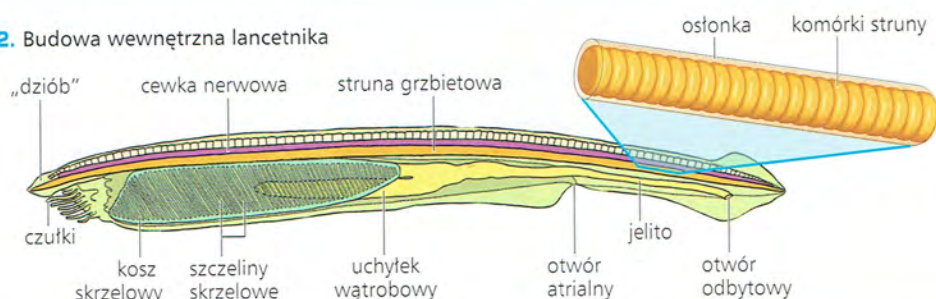
inne struktury wymiany gazowej, ulegają przekształceniu (m.in. w kanał ucha zewnętrznego).

Porównując plan budowy strunowca i dowolnego stawonoga lub pierścienicy, można zauważyć wyraźną prawidłowość. **48.1.** Okazuje się, że strunowce przypominają budową wewnętrzną stawonogi odwrócone brzuchem do góry! Grzbietową część ciała strunowców zajmuje cewka nerwowa, a brzuszną – układ krążenia. U bezkręgowców jest odwrotnie. Modelowym przykładem współczesnych strunowców jest należący do **bezczaszkowców** (*Acrania*) **lancetnik** (*Branchiostoma lanceolatum*). To nieduże zwierzę (długości 5–10 cm) o ciele wyraźnie ostro zakończonym z obu stron, przypominające małą rybę. Wyróżnia się 24 gatunki lancetników. Występują one głównie w morzach u wybrzeży Europy, gdzie swobodnie pływają lub pozostają do połowy zakopane w gruboziarnistym piasku w pobliżu brzegu.



48.1. Położenie szkieletu i układów narządów u: A) strunowców, B) stawonogów

48.2. Budowa wewnętrzna lancetnika



Ich przezroczyste ciało doskonale uwidacznia wszystkie typowe cechy strunowców. **Struna grzbietowa** 48.2.1 ciągnie się od czubka głowy do końca ogona, cewka nerwowa biegnie wzdłuż całego grzbietu, a gardziel przebiegają liczne szczeliny skrzelowe. Mimo uderzającego zewnętrznego podobieństwa do ryb lancetniki są od nich o wiele bardziej prymitywne. Nie mają bowiem parzystych płetw, narządów zmysłów, serca ani też rozbudowanego mózgu.

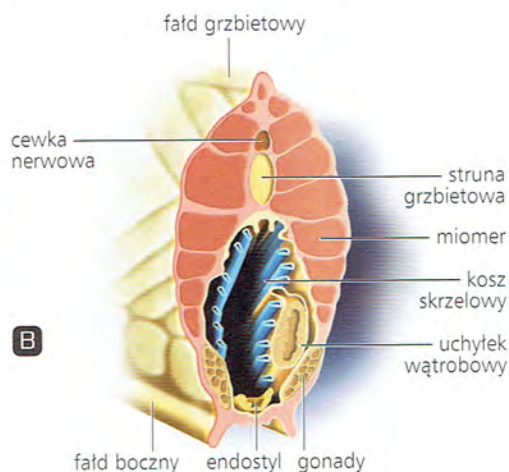
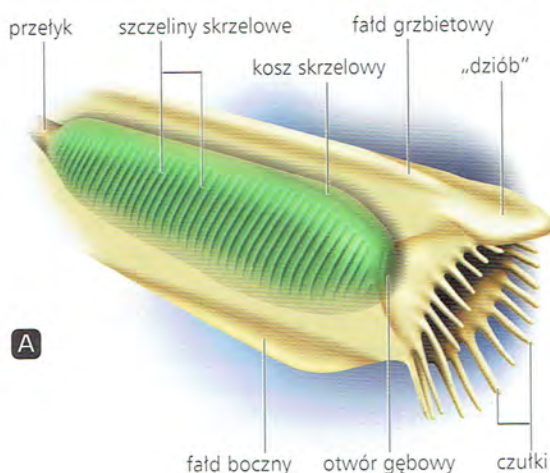
Układ pokarmowy lancetnika

Lancetnik należy do typowych filtratorów, co oznacza, że pobiera pokarm, napędzając wodę do gardzieli ruchami rzęsek nabłonka migawkowego. Początkowy odcinek przewodu pokarmowego lancetnika stanowi jama przedgębowa. Wyścielając ją komórki produkują śluz, który skleja drobne cząstki pokarmowe, a ruch rzęsek przesuwają je do tyłu – przez otwór gębowy do jamy gębowej i gardzieli. Gardziel zajmuje prawie połowę długości ciała lancetnika i poprzębjana jest aż 180 parami **szczelin skrzelowych**. 48.3.1 Przez te

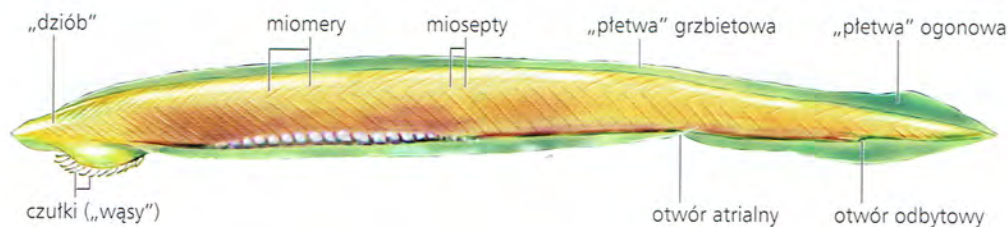
:: Ciekawostka

Endostyl minogów w czasie ich przeobrażenia z postaci larwalnej przekształca się w gruczoł tarczycy. Jest on zatem uważany za element budowy homologiczny z tarczycą kręgowców.

szczeliny woda opuszcza gardziel i trafia do jamy okołoskrzelowej, a stamtąd – na zewnątrz ciała przez pojedynczy otwór atrialny po stronie brzusznej. Wzdłuż gardzieli, po spodniej stronie, biegnie **rynienka** (endostyl), której komórki wydzielają bogate w jod substancje zlepiające cząstki pokarmowe. Pokarm znajdujący się w gardzieli, wciąż zlepiony śluzem, przechodzi przez krótki przełyk, a następnie w wyniku ruchów urzęsionego nabłonka trafia do jelita. Na pewnym jego odcinku treść pokarmowa łączy się z wydzieliną uchyleka wątrobowego wytwarzającego enzymy trawienne (pełniące więc jednocześnie funkcje wątroby i trzustki). Nadtrawiony pokarm jest wchłaniany w tylnej części jelita, które zbiega się ku odbytwi.



48.3. Kosz skrzelowy lancetnika: A) schemat budowy, B) przekrój poprzeczny na wysokości tylnej części



48.4. Pokrój ciała lancetnika z wyraźnie zaznaczonymi miomerami

Układ mięśniowy lancetnika

Możliwość poruszania (wyginania) zapewniają lancetnikowi dobrze wykształcone mięśnie, ciągnące się po obu stronach ciała. Ich wyraźną segmentację widać dzięki przezroczystej powłoce ciała zwierzęcia. Powtarzające się elementy kurczliwe noszą nazwę **miotomów** i są oddzielone od siebie błoniastymi przegrodami (**miotomami**) zbudowanymi z tkanki łącznej. **48.4.1** Każdy z miotomów jest zbudowany z tkanki mięśniowej poprzecznie prążkowanej i ma kształt litery „V” zwróconej ostrym końcem ku przodowi ciała strunowca. Rzędy miotomów po lewej stronie są przesunięte względem tych po stronie prawej. Ponieważ lancetniki nie wykształciły skomplikowanego systemu kontroli pracy mięśni, wszystkie miotomy kurczą się jednocześnie.

Układ wydalniczy

Układ wydalniczy lancetnika składa się z około 100 par narządów zwanych **protonefrydami**. Są one rozlokowane metamerycznie w grzbietowej ścianie oddzielającej gardziel od zatoki okołogardzielowej. Na każdy element funkcjonalny składa się ślepo zakończony kanalik w kształcie litery „L”, do którego uchodzą pęczkami komórki płomykowe (solenocyty) otoczone przez liczne naczynia krwionośne. Zbędne produkty przemiany materii (głównie amoniak) przenikają na drodze dyfuzji do wnętrza komórek płomykowych. Ostatecznie ruch wici przesuwają je do kanalików otwierających się do jamy okołogardzielowej, przez którą usuwane są na zewnątrz wraz z wodą.

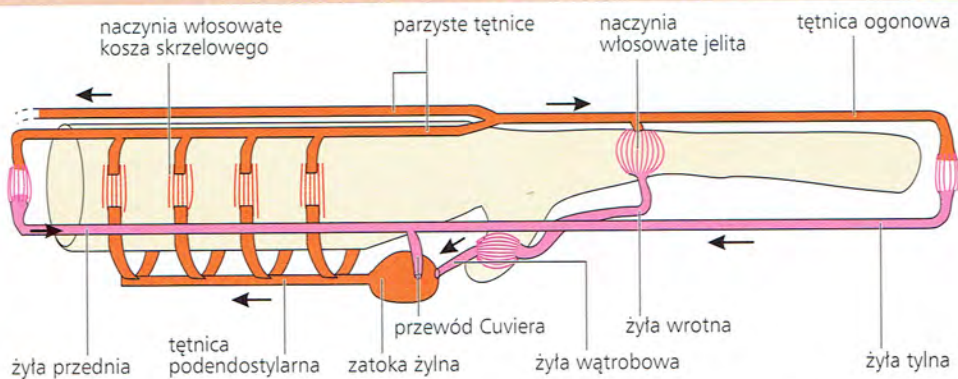
Układ krążenia

Układ krążenia lancetnika jest zamknięty i nie występuje w nim serce. Krew, pozbawiona krwinek i rozpuszczonych barwników oddechowych, krąży w jednym obiegu, uczestnicząc w niewiel-

kim stopniu w transporcie gazów oddechowych. Przepływ krwi zapewniają skurcze tętnicy biegnącej pod endostylem i tętnic skrzelowych od niej odchodzących. Krew przemieszcza się ku przodowi ciała nieparzystą tętnicą podendostylarną, znajdującą się w brzusznej ścianie odcinka gardzielowego. Następnie licznymi odgałęzieniami tętniczymi biegnącymi w ścianach szpar skrzelowych przemieszcza się do góry. Tu tętnice łączą się w parzyste tętnice po grzbietowej stronie gardzieli, którymi krew dociera zarówno do przedniej, jak i tylnej części ciała. W części tylnej parzyste tętnice łączą się w pojedynczą tętnicę ogonową, biegnącą aż do końca odcinka ogonowego. Od tętnic grzbietowych odchodzą segmentalne rozgałęzienia doprowadzające krew do miotomów, rdzenia nerwowego, struny grzbietowej oraz jelita środkowego i tylnego. Naczynia włosowate tętnicze przechodzą w naczynia żyłne, które zbierają się w dwie żyły główne przednie oraz dwie żyły główne ogonowe. Krew żylna przemieszcza się następnie do centralnego rozszerzenia podjelitowego zwanego zatoką żylną za pośrednictwem parzystych przewodów Cuviera. U lancetnika pojawia się również krążenie wrotne: krew zbierana siecią włosowatych naczyń żylnych z obszaru jelita płynie żyłą wrotną w kierunku uchyłka wątrobotrzustki, gdzie ponownie ulega rozgałęzieniu na system naczyń włosowatych. Stamtąd trafia do kapilar żyły wątrobowej, która doprowadza krew do zatoki żyłnej. **48.5.1**

Układ nerwowy i narządy zmysłów

Układ nerwowy lancetnika ma prostą budowę. Składa się z **cewki nerwowej** położonej powyżej struny grzbietowej. Odchodzą od niej metameryczne nerwy złożone z korzeni grzbietowych (unierwiających narządy wewnętrzne i ścianę ciała) oraz korzeni brzusznych (unierwiających



48.5. Schemat budowy układu krążenia lancetnika (strzałki wskazują kierunek przepływu krwi).

mięśnie). U lancetnika nie występuje typowy mózg, a jedyną jego namiastką jest pęcherzyk nerwowy w przednim odcinku ciała. Znajdują się w nim skupiska komórek światłoczułych, dzięki którym lancetnik ma zdolność reagowania na zmiany natężenia i kierunku padania światła. Bodźce dotykowe oraz chemiczne (smak i zapach) są odbierane przez receptory rozmieszczone głównie w przedniej części ciała, przede wszystkim w czułkach otaczających wlot do jamy gębowej.

Rozmnażanie się i rozwój

Lancetnik jest zwierzęciem **rozdzielnopłciowym**. Wokowate **gonady** (czyli gruczoły roz-

rodcze) zlokalizowane są w dolnobocznych rejonach ściany oddzielającej gardziel od jamy okołogardzielowej. U lancetnika nie występują gonadodukty (kanały wyprowadzające), a gamety uwalniane są do jamy okołogardzielowej w wyniku pęknięcia ścian gonad i wraz z wodą wydostają się na zewnątrz. Z jaja zapłodnionego poza organizmem samicy wylęga się larwa o wyjątkowo asymetrycznej budowie. Po lewej jej stronie znajduje się otwór gębowy, a po prawej – szczeliny skrzelowe. W trakcie dojrzewania otwór gębowy przesuwają się na brzuszną stronę przedniej części ciała. Przekształceniu ulegają również pozostałe szczeliny skrzelowe po lewej stronie lancetnika.

PODSUMOWANIE

- Struna grzbietowa (*chorda dorsalis*) jest elementem budowy wewnętrznej strunowców.
- Strunowce cechuje dwuboczna symetria ciała i metameryczny układ mięśni.
- Powtarzające się kurczliwe elementy mięśniowe lancetnika noszą nazwę miomerów.
- W układzie krwionośnym lancetnika nie występuje serce.
- U lancetnika występuje krążenie wrotne.
- Układ wydalniczy lancetnika jest złożony z protonefrydów.
- Układ nerwowy lancetnika zbudowany jest z cewki nerwowej.
- Lancetnik jest rozdzielnopłciowy.
- Lancetnik należy do typowych filtratorów.

ZADANIA

1. W którym regionie świata najczęściej występują lancetniki? Ile gatunków tych zwierząt żyje współcześnie? Podaj ogólną liczbę.
2. Nazwij występujące u lancetnika parzyste przewody doprowadzające krew odtlenowaną do centralnego rozszerzenia podjelitowego zwanego zatoką żylną.
3. Scharakteryzuj mechanizm krążenia wrotnego u lancetnika.
4. Opisz budowę pojedynczego elementu funkcjonalnego układu wydalniczego lancetnika.
5. Przedstaw (np. w formie plakatu) porównanie cech lancetnika: typowych dla kręgowców i tych charakterystycznych wyłącznie dla strunowców.

49. Ogólna charakterystyka i pochodzenie kręgowców

Kręgowce (*Vertebrata*) są najliczniejszym podtypem strunowców (obecnie zalicza się do nich ponad 62 tysiące gatunków). Osiągnęły niezaprzeczalny sukces ewolucyjny, o czym świadczy fakt, że skolonizowały wszystkie ekosystemy spotykane na Ziemi: lądowe, wodne oraz przestrzeń powietrzną, w której niepodzielnie dominują przedstawiciele gromady ptaków. Kręgowce wykazują również szczytowy poziom zaawansowania ewolucyjnego w zakresie budowy anatomicznej i fizjologii, a dzięki rozwojowi układu nerwowego na niespotykaną skalę są grupą najinteligentniejszych istot na Ziemi.

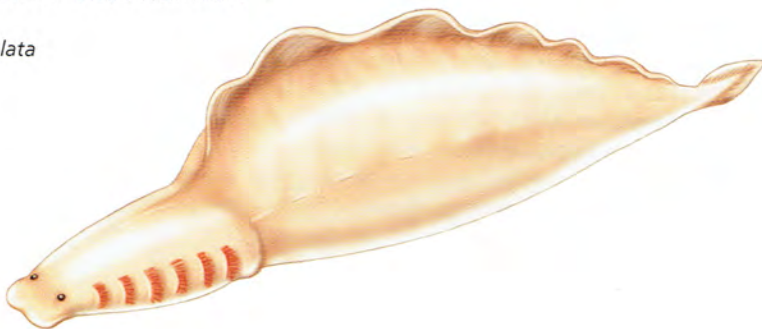
Podtyp: *Vertebrata* – kręgowce
Infratyp: *Gnathostomata* – żuchwowce
Gromada: *Placodermi* – żuchwowce pancerne (grupa wymarła)
Mikrotyp: *Eugnathostomata* – żuchwowce właściwe
Gromada: *Chondrichthyes* – ryby chrzęstnoszkieletowe
bez rangi: *Teleostomi* (*Acanthodii* i *Osteichthyes*)
Gromada: *Acanthodii* – ryby faldopłetwe (grupa wymarła)
Nadgromada: *Osteichthyes* – ryby kostnoszkieletowe
Gromada: *Actinopterygii* – ryby promieniopłetwe
Gromada: *Sarcopterygii* – ryby mięśniopłetwe
Nadgromada: *Tetrapoda* – tetrapody (czworonogi)
Gromada: *Amphibia* – płazy
bez rangi: *Amniota* – owodniowce
Gromada: *Sauropsida* – zauropody (gady ptakokształtne)
Gromada: *Aves* – ptaki
Gromada: *Synapsida* – synapsydy (gady ssakokształtne)
Gromada: *Mammalia* – ssaki

Filogeneza kręgowców

Początki kręgowców sięgają zamierzchłej przeszłości. W kambrze (ok. 525 mln lat temu), tuż po pojawieniu się (w skali geologicznej) pierwszych bezczaszkowców, słone wody zamieszkiwał jeden z pierwszych znanych strunowców. Jego unikalne cechy anatomiczne wskazują, że może być on traktowany jako prymitywny przodek wszystkich kręgowców. Mowa o *Haikouella*

lanceolata, odkrytym w Chinach. **49.1.1** Pomimo braku wykształconej czaszki ważną zdobyczą ewolucyjną tego zwierzęcia (mierzącego do 4 cm długości) było dobrze wykształcone serce oraz aorta grzbietowa i brzuszna. Strunowiec ten miał dobrze wykształcony mózg oraz prymitywne oczy rozstawione po bokach głowy.

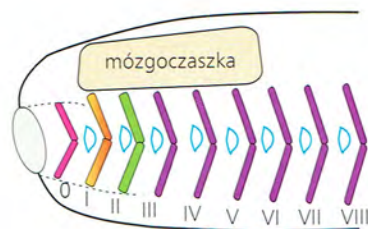
49.1. *Haikouella lanceolata*
zamieszkujący oceany
525 milionów lat temu



Po tych zwierzętach, pod wieloma względami podobnych do współcześnie żyjącego lancetnika, nastąpił czas typowych wodnych kręgowców. Najprymitywniejszymi z nich były **ostrakodermi** (*Ostracodermi*). Były to typowe bezżuchwce o dobrze wykształconej czaszce (żyły ok. 480 mln temu). **49.2.1**

Ostrakodermi najprawdopodobniej odcedzały planktoniczny pokarm na podobieństwo najprymitywniejszych strunowców. Po grzbietowej stronie ich ciała, pokrytej skórnym pancerzem, znajdowały się parzyste oczodoły oraz tak zwane **trzęcie oko ciemieniowe**.

Większość ostrakodermów wymarła pod koniec dewonu. Również w dewonie pojawili się ich ewolucyjni następcy, czyli wyposażone w żuchwę **plakodermi** (*Placodermi*) zwane **rybami pancernymi (tarczowcami)**. **49.3.1** Osiowy szkielet wewnętrzny tarczowców miał budowę chrzęstną, a głowa i większa część tułowia były pokryte pancerzem masywnych płyt kostnych. Płyty te wykazywały przyrost na krawędziach zewnętrznych i otaczały otwór gębowy wyposażony w ostre zęby. Unikalną cechą ryb pancernych było stawowe połączenie czaszki z elementami pancerza. U zwierząt tych występowały również płetwy piersiowe, brzuszne oraz heterocerciczna (asymetryczna) płetwa ogonowa.

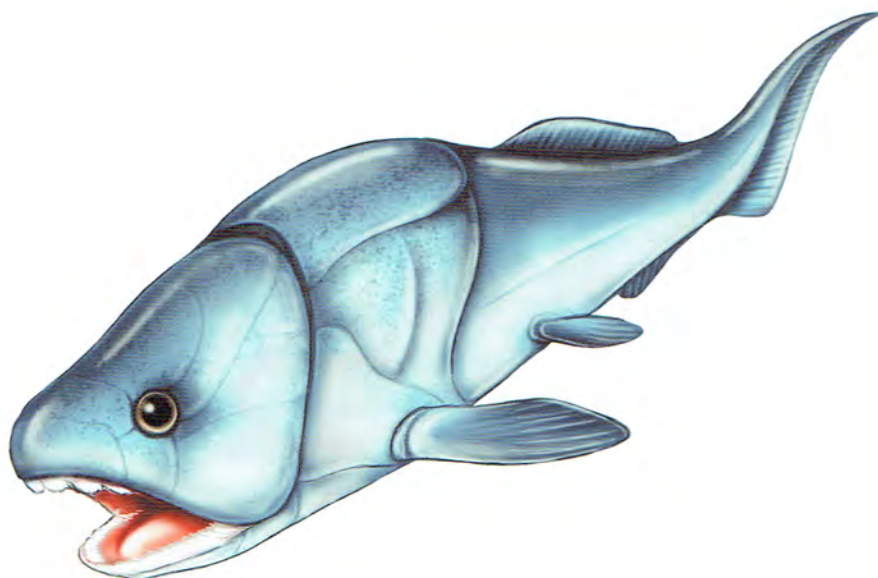


49.2. Schemat budowy mózgowcaszki oraz łuków skrzelowych pierwszych bezżuchwców

;; Ciekawostka

Wiele o biologii ostrakodermów możemy się dowiedzieć, obserwując zachowania jedynych żyjących przedstawicieli bezżuchwców, czyli

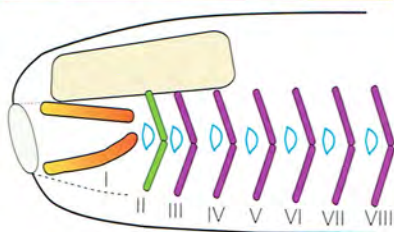
minogów i śluzic. Dochodzą one do jednego metra długości. Ich gładka skóra pozbawiona jest łusek, nie mają również parzystych płetw. Wiele gatunków minogów prowadzi pasożytniczy tryb życia, atakując ryby (to jedyne znane pasożytnicze kręgowce). Śluzice to z kolei głównie morscy padlinożercy, polują też na denne bezkręgowce lub osłabione ryby.



49.3. *Coccoosteus cuspidatus* – przedstawiciel plakodermów



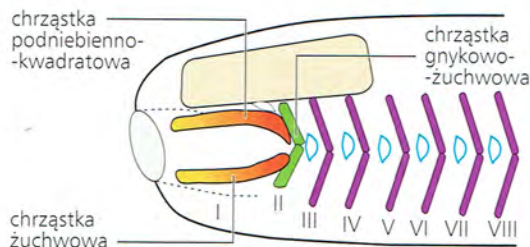
Przeanalizuj proces ewolucji łuków skrzelowych u kręgowców.



49.4. Schemat budowy mózgowcaszki oraz łuków skrzelowych ryb fałdopłetwych (*Acanthodii*)

Następcami ryb pancernych stały się równoległe **ryby fałdopłetwe** (*Acanthodii*) **49.4.1** oraz **ryby chrzęstnoszkieletowe** (*Chondrichthyes*). **49.5.1** Fałdopłetwe (o wielkości ok. 25 cm) pojawiły się na początku syluru, a wymarły pod koniec permu. Podobnie jak u ryb pancernych, ich głowę osłaniał pancerz płytek kostnych. Aparat gębowy był utworzony z **pierwszego łuku skrzelowego** (żuchwowego), w skład którego wchodziły **chrząstka podniebno-kwadratowa** (górna) oraz dolna **chrząstka żuchwowa**. Drugi łuk skrzelowy (gnykowy) jeszcze nie uległ przekształceniu (nie połączył się z łukiem żuchwowym). Z tej wymarłej grupy wzięły swój początek późniejsze **ryby kostnoszkieletowe** (zarówno promieniopłetwe, jak i mięśniopłetwe). **49.6.1** Świadczą o tym skostniała czaszka, łuski romboidalne oraz pokrywa skrzelowa występujące u przedstawicieli fałdopłetwych.

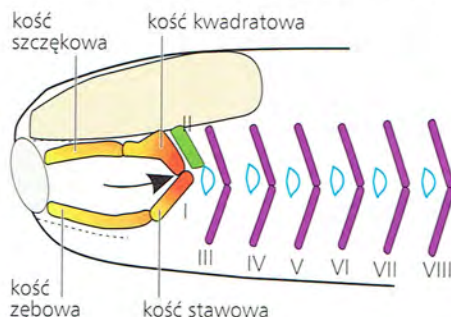
Drugą grupą następców ryb pancernych są żyjące do dziś ryby chrzęstnoszkieletowe. W budowie ich trzewiowcaszki widać przesunięcie pierwszej szczeliny skrzelowej w pobliże mózgowcaszki. Tworzy ona tak zwaną tryskawkę, która u wyższych ewolucyjnie kręgowców stanie się zaczątkiem ucha środkowego. Drugi łuk skrzelowy (łuk gnykowy)



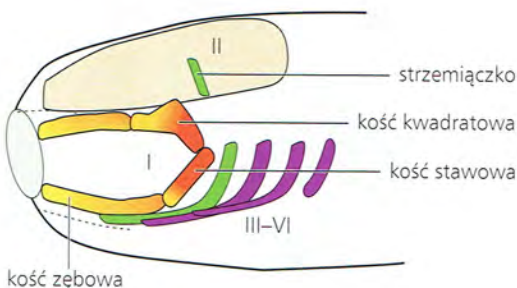
49.5. Schemat budowy mózgowcaszki oraz łuków skrzelowych ryb chrzęstnoszkieletowych (*Chondrichthyes*)

łączy się z łukiem żuchwowym. Poza tym aparat gębowy wsparty na pierwszym łuku żuchwowym ma budowę zbliżoną do obserwowanej u ryb pancernych i fałdopłetwych. Po rybach chrzęstnoszkieletowych pojawiły się ryby kostnoszkieletowe, u których występowały skostniałe elementy szkieletu (stąd nazwa). Ryby te rozdzieliły się (najdalej 419 mln lat temu) na dwie podgromady: **promieniopłetwe** (*Actinopterygii*), które dały początek współcześnie żyjącym rybam kostnoszkieletowym, oraz na **mięśniopłetwe** (*Sarcopterygii*), z których w toku ewolucji wykształciły się kręgowce lądowe.

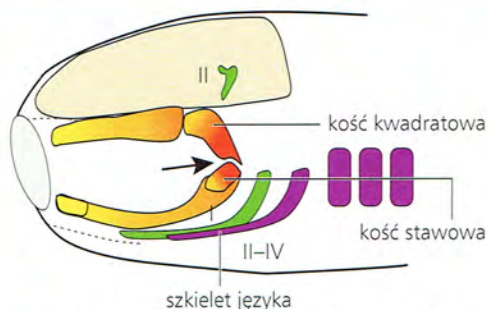
Schemat uwidacznia, że górna chrząstka podniebno-kwadratowa ryb kostnoszkieletowych rozdzieliła się na kość szczękową i kość kwadratową, natomiast dolna chrząstka żuchwowa na kość zębową i kość stawową. Łuk gnykowy uległ skróceniu i przesunięciu w kierunku mózgowcaszki. Opanowanie lądu i dalsza ewolucja kręgowców lądowych wiązały się ze stopniową komplikacją budowy aparatu gębowego. U płazów po raz pierwszy pojawia się pierwsza **kostka słuchowa** – **strzemiączko**. **49.7.1** Jest ono przekształconą górną częścią łuku gnykowego (drugiego łuku skrzelowego).



49.6. Schemat budowy mózgowcaszki oraz łuków skrzelowych ryb kostnoszkieletowych (*Osteichthyes*)

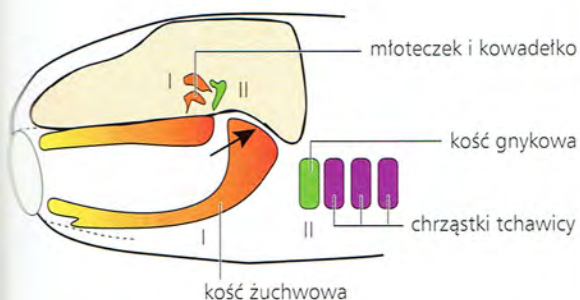


49.7. Schemat budowy mózgowcaszki oraz łuków skrzelowych płazów (*Amphibia*)



49.8. Schemat budowy mózgowcaszki oraz łuków skrzelowych gadów (*Reptilia*) i ptaków (*Aves*)

W związku z wyjściem na ląd i wykształceniem innego typu narządów wymiany gazowej widać wyraźne zmiany w budowie łuków skrzelowych u płazów. Ulegają one spłaszczeniu, a otwory skrzelowe zanikają. U gadów i ptaków drugi, trzeci oraz czwarty łuk skrzelowy przekształcają się w szkielec języka. [49.8.] U ssaków natomiast **kość stawowa** przekształca się w drugą kosteczkę słuchową – **młoteczek**, a **kość kwadratowa** w trzecią kostkę – **kowadełko**. [49.9.] Pozostałość drugiego łuku skrzelowego u ssaków przekształca się w kość gnykową, która bierze udział w ruchach krtań, natomiast pozostałe łuki skrzelowe tworzą chrząstki tchawicy. Jak widać, ewolucja kręgowców przebiegała wielokierunkowo. Niektóre grupy (np. ryby chrzęstnoszkieletowe) zatrzymały się w rozwoju miliony lat temu, a inne bezpowrotnie wyginęły (ryby pancerne). Ssaki są szczytowym osiągnięciem ewolucji kręgowców, jednak pozostałe gromady zaliczane do tego podtypu również wykazują ciekawe przystosowania do środowiska życia. Zostaną one pokrótce omówione w kolejnych rozdziałach.



49.9. Schemat budowy mózgowcaszki oraz łuków skrzelowych ssaków (*Mammalia*)

PODSUMOWANIE

- Do kręgowców (*Vertebrata*) należy blisko 62 tysiące gatunków.
- Pierwszym znanym prymitywnym przodkiem strunowców był *Haikouella lanceolata*. Nie miał wykształconej czaszki, miał już jednak serce oraz oczy rozstawione po bokach głowy.
- Kolejnym przodkiem kręgowców był pierwszy bezzuchwowiec *Haikouichthys ercaicunensis* posiadający pozbawioną żuchwy czaszkę ochraniającą mózg.
- Typowymi bezzuchwowcami były żyjące około 430 milionów lat temu ostrakodermi.
- Jedynymi żyjącymi do dziś przedstawicielami bezzuchwowców są minogi i śluzice.
- Ewolucyjnymi następcami ostrakodermów były plakodermi zwane rybami pancernymi.
- Następcami ryb pancernych stały się wymarłe ryby fałdopłetwe (*Acanthodii*) oraz żyjące do dziś ryby chrzęstnoszkieletowe (*Chondrichthyes*).
- Ryby kostnoszkieletowe około 419 milionów lat temu rozdzieliły się na dwie podgromady: promieniopłetwe (*Actinopterygii*) oraz mięśniopłetwe (*Sarcopterygii*).
- Promieniopłetwe dały początek współcześnie żyjącym rybom kostnoszkieletowym.
- Z ryb mięśniopłetwych w toku ewolucji wykształciły się kręgowce lądowe.
- U płazów pojawia się pierwsza kostka słuchowa – strzemiączko.
- U ssaków kość stawowa przekształca się w drugą kosteczkę słuchową – młoteczek, a kość kwadratowa w trzecią kostkę – kowadełko.

ZADANIA

1. Scharakteryzuj i prześledź proces ewolucyjny, który doprowadził do wykształcenia się kosteczek słuchowych u kręgowców lądowych.
2. Wskaż grupy ostrakodermów, u których jako pierwszych doszło do wykształcenia płetw parzystych.
3. Określ element będący odpowiednikiem tryskawki ryb chrzęstnoszkieletowych u kręgowców lądowych.
4. Udowodnij za pomocą trzech argumentów słuszność tezy o przekształceniu się ryb fałdopłetwych w późniejsze ryby promieniopłetwe i mięśniopłetwe.

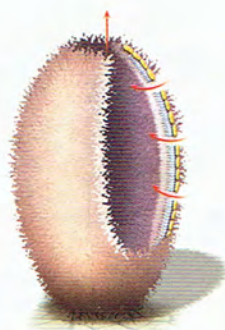
BIBLIOGRAFIA

Szarski H., *Historia zwierząt kręgowych*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1998.

Zadanie 1. (2 pkt)

Rysunek przedstawia jedną z form morfologicznych gąbek.

Nazwij tę formę, a następnie wskaż cechę pozwalającą na zaklasyfikowanie jej do tego właśnie typu.

**Zadanie 2. (1 pkt)**

Gąbki nie są zaliczane do organizmów tkankowych.

Wyjaśnij, dlaczego występujących u gąbek pinakodermy i choanodermy nie można utożsamić z listkami zarodkowymi, których komórki mają wspólne pochodzenie.

Zadanie 3. (3 pkt)

Wymień rolę, jaką pełnią wymienione komórki budujące ciało gąbek.

archeocyty –
 sklerocyty –
 porocyty –

Zadanie 4. (1 pkt)

Gąbki nazywa się czasami naturalnymi biofiltrami.

Wyjaśnij znaczenie tego określenia, odwołując się do zdobytej wiedzy na temat anatomii i funkcji życiowych gąbek.

**Zadanie 5. (2 pkt)**

Rysunek przedstawia budowę pewnego układu występującego u parzydełkowców.

Napisz, jaki to układ oraz jaką charakterystyczną cechę jego budowy widać na rysunku.

Zadanie 6. (2 pkt)

Do przedstawionych nazw (A–D) dobierz prawidłowe opisy (1–5).

- | | |
|---------------|---|
| A. efyra | 1. orzęsiona larwa będąca wynikiem rozmnażania płciowego chełbi |
| B. glutynant | 2. grudka węglanu wapnia będąca elementem narządu równowagi |
| C. planula | 3. niewielka meduza powstająca jako następstwo strobilizacji |
| D. statocysta | 4. rodzaj parzydełka zbudowanego z długiej i lepkiej nici |
| | 5. struktura będąca narządem równowagi u meduz |

A. B. C. D.

Zadanie 7. (1 pkt)

Przyporządkuj wymienione typy komórek do warstw tkanek ciała parzydełkowców, w których występują.

nabłonkowo-mięśniowe, gruczołowe, interstycjalne, nerwowe, parzydełkowe

ektoderma:

endoderma:

Zadanie 8. (2 pkt)

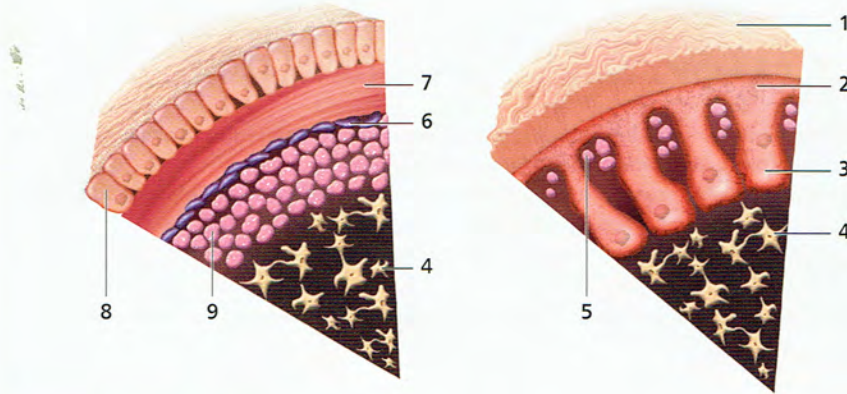
Wyjaśnij znaczenie pojęć „stenohalinowość” i „stenotermia” charakteryzujących parzydełkowce.

stenohalinowość:

stenotermia:

Zadanie 9. (2 pkt)

Napisz, którą cyfrą oznaczono na rysunku syncytium. Wyjaśnij znaczenie tego pojęcia.

**Zadanie 10. (1 pkt)**

Fotoreceptory płazińców – tak zwane **oczka** (*ocelli*) – składają się z 2 rodzajów komórek (zmysłowych i pigmentowych), których liczba może w jednym fotoreceptorze sięgać 150. Oczka leżą pod warstwą przejrzystego naskórka. Nie pozwalają na widzenie obrazów, a jedynie informują o kierunku padania światła. Reakcja wirków na światło jest negatywna.

Na podstawie tekstu napisz, co oznacza w zachowaniu wirków negatywna reakcja na światło w powiązaniu z funkcją fotoreceptora.

Zadanie 11. (3 pkt)

Połącz elementy budowy ciała płazińców (A–E) z ich właściwym opisem (1–6).

- | | |
|----------------|---|
| A. skoleks | 1. fotoreceptor odpowiedzialny za odbiór bodźców świetlnych |
| B. reoreceptor | 2. pojedynczy człon budujący ciało tasiemca |
| C. ocellum | 3. główka lub zbiór narządów czepnych tasiemca |
| D. cyrtocyt | 4. rodzaj mechanoreceptora reagującego na prąd wody |
| E. proglotydy | 5. postać larwalna tasiemca wylęgająca się w jelicie krowy |
| | 6. komórka płomykowa występująca w układzie wydalniczym |

Zadanie 12. (2 pkt)

Dobierz w pary pojęcia (A–D) i pasujące do nich opisy (1–5).

- | | |
|--------------|--|
| A. tegument | 1. wspólne ujście układu pokarmowego i płciowego |
| B. amfidium | 2. twór wielojądrowy, w którym po podziale nie zaszła cytokineza |
| C. kloaka | 3. chemoreceptor będący narządem zmysłu u nicieni |
| D. hipoderma | 4. boczne odgałęzienie macicy występujące u nicieni pasożytniczych |
| | 5. jednowarstwowy nabłonek znajdujący się pod warstwą oskórka |

Zadanie 13. (3 pkt)

Uzupełnij poniższy tekst będący fragmentem charakterystyki nicieni. Skorzystaj z podanego słownictwa.

okrężnych, nerwowych, celomą, limfa, wzdłuż ciała, mięśniowych, pseudocelomą, nabłonkowych, płyn surowiczy, podłużnych, surowica, mezogleą, wokół ciała, krew

Poniżej warstwy podskórkowej znajduje się warstwa włókien 1, które ze względu na istnienie wałków hypodermalnych biegną 2 Brak mięśni 3 Wnętrze ciała nicieni zajmuje pierwotna jama ciała zwana 4 Wypełnia ją 5 pełniący rolę szkieletu hydrostatycznego, który nadaje zwierzęciu sprężystość i sztywność.

Zadanie 14. (1 pkt)

Pośród wymienionych poniżej pasożytów wybierz ten gatunek nicienia, którym można się zarazić, jedząc mięso niedokładnie przebadane weterynaryjnie:

glista ludzka, tasieniec nieuzbrojony, tęgoryjec dwunastnicy, włosień kręty, włosogtówka, owsik

Zadanie 15. (4 pkt)

Wykonaj tabelę, w której porównasz co najmniej 4 cechy pozwalające odróżnić nicienie od płazińców.

Zadanie 16. (1 pkt)

Dżdżownice należą do pierścienic hermafrodytycznych, czyli obupłciowych. Oznacza to, że każdy osobnik jest zdolny do wytwarzania zarówno męskich, jak i żeńskich komórek rozrodczych. Osobniki te za wszelką cenę starają się jednak uniknąć samozapłodnienia i dążą do zapłodnienia krzyżowego, w którym uczestniczą dwa osobniki.

Wyjaśnij znaczenie zapłodnienia krzyżowego u hermafrodytycznych pierścienic.

Zadanie 17. (1 pkt)

Zaznacz zdania, które zawierają prawdziwe informacje na temat adaptacji pijawek do charakterystycznego dla nich sposobu odżywiania.

- A. Ciało większości pijawek składa się z 34 homonimicznych metamerów.
- B. W cyklu rozwojowym pojawia się siodełko.
- C. W jelicie środkowym znajduje się 10 ślepo zakończonych uchyłków, które służą do magazynowania krwi żywiciela.
- D. Charakterystyczną cechą tej podgromady jest występowanie dwóch przyssawek: przedniej i tylnej.
- E. Ciało większości pijawek jest silnie wydłużone, po stronie brzusznej spłaszczone, a po grzbietowej – uwypuklone.

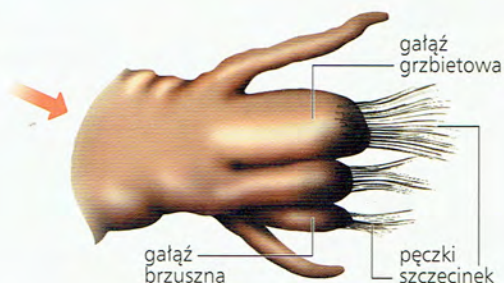
Zadanie 18. (1 pkt)

Opisz rolę dżdżownicy (*Ascaris sp.*) w przyrodzie i gospodarce człowieka.

Zadanie 19. (2 pkt)

Rysunek obok przedstawia element budowy ciała należący do przedstawiciela pewnej grupy pierścienic.

Nazwij pokazany element oraz podaj nazwę grupy pierścienic, które mają taką część ciała.

**Zadanie 20. (2 pkt)**

Przyporządkuj wybranym elementom budowy ciała pierścienic (1–4) właściwe opisy ich funkcji (A–E).

- | | |
|---------------|---|
| 1. pygidium | A. odcinki łączące ze sobą 2 zwoje nerwowe w obrębie segmentu |
| 2. komisury | B. zespół metamerów związanych z procesem rozmnażania |
| 3. trochofora | C. szczecinki na odnóżach bocznych spotykane u wieloszczetów |
| 4. siodełko | D. końcowy płat ciała pierścienic kończący się odbytem |
| | E. larwalna postać spotykana w rozmnażaniu wieloszczetów |

1 2 3 4

Zadanie 21. (2 pkt)

Poniższy tekst opisuje jedną z postaci larw właściwych owadów o przeobrażeniu zupełnym.

Ma 3 pary odnóży tułowiowych oraz 2–8 par odnóży odwłokowych. U dużej grupy stawonogów cechujących się tego typu larwą właściwą na 2 pierwszych segmentach odwłoka nie występują odnóża (lub są zredukowane), co jest ich cechą charakterystyczną.

Na podstawie tekstu podaj nazwę opisanej larwy właściwej oraz grupy owadów, w której rozwoju występuje ten typ.

Zadanie 22. (2 pkt)

U stawonogów nie występuje spotykany u pierścienic wór powłokowo-mięśniowy. Komórki mięśniowe, dotąd tworzące jego warstwę zewnętrzną, uległy rozdzieleniu na zespoły pełniące zróżnicowane funkcje. U niektórych gatunków owadów można wyróżnić blisko 2000 odrębnych zespołów mięśni, między innymi: **mięśnie segmentalne**, mięśnie trzewiowe (odpowiadające za motorykę narządów wewnętrznych) i mięśnie odnóży (zawiadujące pracą odnóży kroczych, czułek oraz aparatu gębowego). Pojedyncze włókna mięśniowe są nieco inaczej zbudowane niż u kręgowców, jednak traktujemy je jako włókna poprzecznie prążkowane. Każde włókno mięśniowe stawonogów jest zaopatrzone w liczne płytki nerwowo-motoryczne (u kręgowców tylko w jedną). Dzięki tej cesze włókna stawonogów są zdolne do wykonywania bardzo częstych skurczów (np. mucha wykonuje nawet 350 uderzeń skrzydłami na minutę).

Przeczytaj uważnie powyższy tekst, a następnie odpowiedz na pytania. Co odpowiada za możliwość ultraszybkich skurczów mięśni u owadów? Dlaczego u stawonogów nie mówimy już o spotykanym u pierścienic worze powłokowo-mięśniowym?

Zadanie 23. (3 pkt)

Przyporządkuj typy odnóży gębowych (A–D) do odpowiadających im grup stawonogów.

- A. nogogłaszczki
B. szczęki
C. żuwaczki
D. szczękoczułki

skorupiaki: pajęczaki: owady: wiję:

Zadanie 24. (4 pkt)

Uzupełnij tekst, korzystając z podanego słownictwa.

tarką, jadowych, kalcytoniny, gruczołem wątrobotrzustkowym, tchawicy, żołądka, przełyku, śledziony, ślinowych, jelita

Za otworem gębowym ślimaków mieści się gardziel wyposażona w strukturę zwaną 1..... . Jest to mięsisty fałd przypominający język, wyposażony dodatkowo w liczne ząbki zbudowane podobnie jak szczęki z konchioliny. Pełni on funkcję pomocniczą przy zdzieraniu pokarmu z powierzchni płaskich (np. glonów). Do gardzieli uchodzą również liczne przewody wyprowadzające gruczołów 2 Za gardzielą znajduje się krótki odcinek zwany 3 , który prowadzi do 4 Od niego odchodzi bocznie narząd zwany 5

Zadanie 25. (1 pkt)

Większość ślimaków z winniczkami na czele jest obojnaki. Każdy osobnik jest zatem wyposażony w 2 kompletne układy rozrodcze – męski i żeński. U winniczki gonada jest stale obupłciowa (produkuje plemniki i komórki jajowe). Samozapłodnienie jest jednak bardzo rzadkie.

Jak nazywa się proces rozmnażania płciowego spotykanego u hermafrodytycznych ślimaków?

Zadanie 26. (3 pkt)

Dobierz w pary pojęcia związane z mięczakami (A–D) oraz ich definicje (1–5).

- | | |
|----------------|---|
| A. konchiolina | 1. postać larwalna występująca w rozwoju głowonogów |
| B. kalcyt | 2. skleroproteina budująca skorupkę mięczaków |
| C. glochidium | 3. wiązka nici przytwierdzająca małża do podłoża |
| D. bisior | 4. krystaliczny węgiel wapnia tworzący warstwę porcelanową muszli |
| | 5. stadium larwalne małży |

Zadanie 27. (4 pkt)

Uzupełnij tabelę charakteryzującą 3 podstawowe grupy mięczaków.

	Ślimaki	Małże	Głowonogi
Obecność muszli			
Układ krwionośny			
Układ nerwowy			
Larwy pojawiające się w rozwoju			

Zadanie 28. (3 pkt)

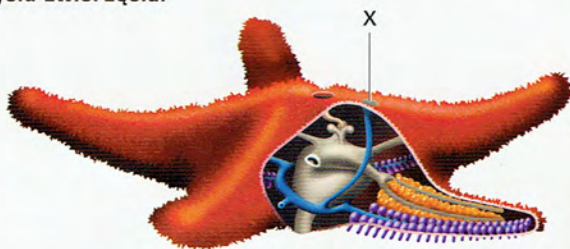
Rycina przedstawia przekrój ciała szkarłupnia.

Podaj nazwę narządu oznaczonego na schemacie literą X. Określ, do jakiego układu ten narząd należy i jaką rolę odgrywa w życiu zwierzęcia.

nazwa elementu X –

część układu –

rola elementu X –



Zadanie 29. (3 pkt)

Poniżej zamieszczono kilka zdań charakteryzujących szkarłupnie. Wskaż 2 z nich, które są błędne, a następnie uzasadnij swój wybór.

1. Układ ambulakralny poza swą funkcją motoryczną pełni również funkcję układu odpornościowego.
2. Za wymianę gazową u rozgwiazd odpowiadają tzw. skrzela skórne.
3. Zarówno postaci larwalne, jak i dorosłe szkarłupni cechuje symetria pięcioramienna.
4. Otwór gębowy i wydalniczy leżą obok siebie dzięki zjawisku torsji, obecnej także u ślimaków.

Zadanie 30. (2 pkt)

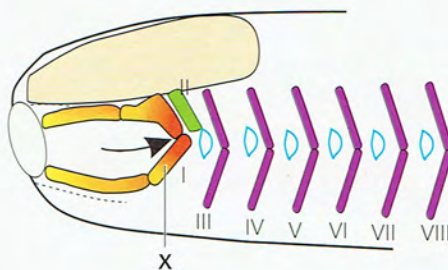
Wskaż 2 zdania błędnie charakteryzujące przedstawiciela strunowców – lancetnika.

- A. Lancetnik należy do grupy strunowców nazywanej beczczaszkowcami.
- B. Rynienka (endostyl) biegnie przez całą długość ciała.
- C. Układ nerwowy lancetnika, mający postać łańcuszka nerwowego, biegnie po jego brzusznej stronie ciała.
- D. Powtarzające się elementy kurczliwe lancetnika noszą nazwę miomerów.
- E. Układ krwionośny lancetnika jest zamknięty.

Zadanie 31. (2 pkt)

Rycina przedstawia schemat łuków skrzelowych pewnego kręgowca wodnego.

Podaj nazwę elementu oznaczonego na schemacie literą X. Nazwij grupę systematyczną kręgowców, które mają taką budowę, jak przedstawia schemat.



nazwa elementu X –

grupa systematyczna –



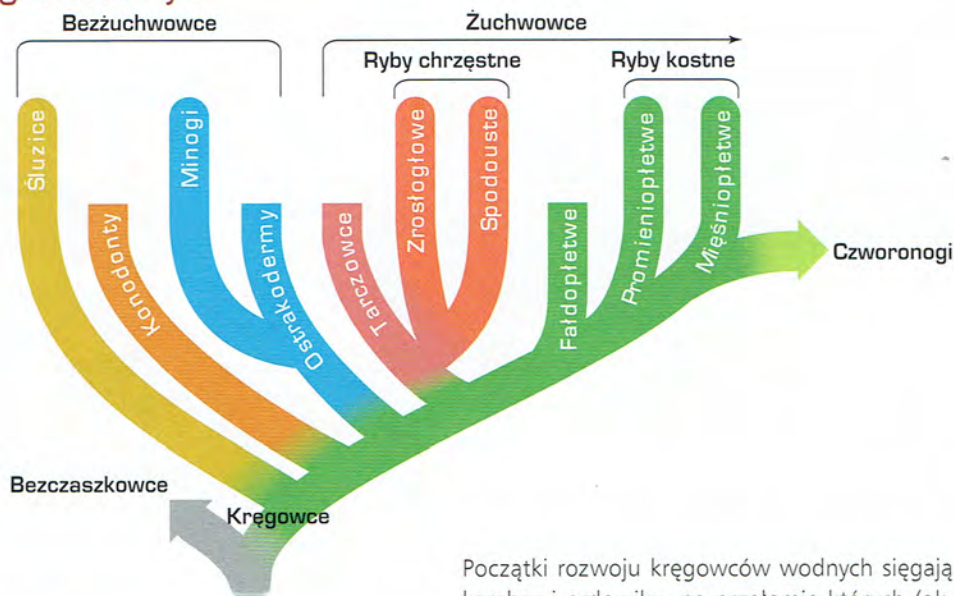
PRZEGLĄD RÓŻNORODNOŚCI ORGANIZMÓW – ZWIERZĘTA KRĘGOWE

- 50| Filogeneza i budowa zewnętrzna ryb
- 51| Budowa wewnętrzna i czynności życiowe ryb
- 52| Przegląd systematyczny i znaczenie ryb
- 53| Filogeneza i budowa zewnętrzna płazów
- 54| Budowa wewnętrzna i czynności życiowe płazów
- 55| Przegląd systematyczny i znaczenie płazów
- 56| Filogeneza i budowa zewnętrzna gadów
- 57| Budowa wewnętrzna i czynności życiowe gadów
- 58| Przegląd systematyczny i znaczenie gadów
- 59| Filogeneza i budowa zewnętrzna ptaków
- 60| Budowa wewnętrzna i czynności życiowe ptaków
- 61| Rozmnażanie i rozwój ptaków
- 62| Przegląd systematyczny i znaczenie ptaków
- 63| Filogeneza i budowa zewnętrzna ssaków
- 64| Budowa wewnętrzna i czynności życiowe ssaków
- 65| Przegląd systematyczny ssaków
- 66| Znaczenie i ochrona ssaków

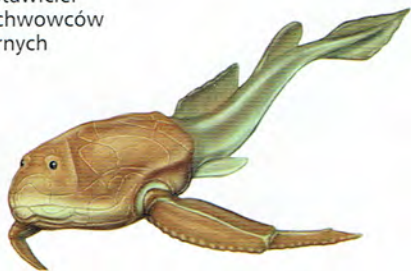
50. Filogeneza i budowa zewnętrzna ryb

Ryby (*Pisces*) są najliczniejszą grupą kręgowców – liczbę ich gatunków ostrożnie ocenia się na ponad 30 tysięcy. Wiele z nich zapewne jeszcze nie odkryto ze względu na słabo zbadane głębiny oceanów. Środowisko życia ryb jest jednym z bardziej zróżnicowanych na naszej planecie. Zbiorniki wodne mogą się różnić głębokością, zasoleniem, oświetleniem, ciśnieniem, temperaturą. Zamieszkujące je gatunki ryb wykazują przystosowania do warunków w nich panujących, często skrajnie odmiennych. Mimo to wiele cech budowy pozostaje wspólnych dla wszystkich przedstawicieli tej grupy zwierząt i podlega jedynie niewielkim modyfikacjom.

Filogeneza ryb



50.1. *Arandaspis* sp. – prawdopodobnie najstarszy przedstawiciel bezżuchwów pancernych

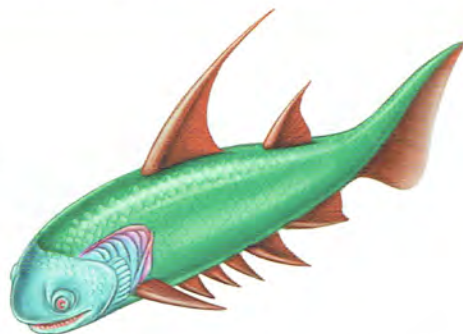


50.2. *Bothriolepis* sp. – przedstawiciel tarczowców

Początki rozwoju kręgowców wodnych sięgają kambru i ordowiku, na przełomie których (ok. 490 mln lat temu) pojawiły się pierwsze **bezzuchwowe pancerne** (*Agnatha*). Nazywa się je również – ze względu na obecność masywnego szkieletu skórno – **ostrakodermami**. Najstarszym ich przedstawicielem była *Arandaspis* sp. **[50.1.]** Pierwotne bezzuchwowe pancerne *Agnatha* miały jedynie płetwę ogonową. Charakteryzował je również wewnętrzny szkielet chrzęstny oraz zewnętrzny kostny, otaczający przód tułowia w postaci grubych tarcz. Przypuszcza się, że *Arandaspis* sp. i inne spokrewnione z nim bezzuchwowe pancerne były zwierzętami dennymi, filtrującymi cząstki pokarmowe. Współczesne bezzuchwowe są reprezentowane przez minogi oraz śluzice (obie grupy nie wytwarzają zewnętrznego pancerza). Krokiem miło-

wym w ewolucji kręgowców było powstanie szczęk z przekształconego pierwszego łuku skrzelowego. Usprawniło to znacznie mechanikę zdobywania pożywienia. W sylurze (ok. 420 mln lat temu) pojawili się pierwsi przedstawiciele **tarczowców** zwanych **plakodermami**. Ich szkielet osiowy był wciąż chrzęstny, a głowę wraz z częścią tułowia osłaniał pancerz kostny. Wykształciły się także płetwy piersiowe. W otworze gębowym nie występowały zęby, których rolę przejęły ostre krawędzie ruchomych szczęk. Przedstawicielem tarczowców był *Bothriolepis* sp. **150.2.1** Plakodermi (wymarłe z końcem dewonu, ok. 360 mln lat temu) są przypuszczalnie grupą, która dała początek rybom chrzęstnoszkieletowym.

Kolejną grupą znaczącą dla ewolucji ryb są **fałdopłetwe** – **akantody**. Według niektórych badaczy mogły pojawić się równoległe do tarczowców, a na pewno z nimi koegzystowały. Po brzusznej stronie tułowia fałdopłetwych znajdowały się liczne parzyste płetwy. Mimo że większość ich szkieletu była chrzęstna, miały



50.3. *Climatius* sp. – przedstawiciel fałdopłetwych

już skostniałą czaszkę oraz charakterystyczne dla ryb kostnych pokrywę skrzelową i łuski romboidalne. Dowodzi to, że akantody prawdopodobnie dały początek rybom kostnoszkieletowym. Fałdopłetwe wymarły z końcem dewonu (ok. 360 mln lat temu). Ich przedstawicielem był *Climatius* sp. **150.3.1** Już w dewonie wyodrębniły się obie główne gromady współczesnych ryb – **chrzęstnoszkieletowe** i **kostnoszkieletowe**. Potomkami tarczowców są ryby chrzęstne, natomiast z fałdopłetwych wyewoluowały ryby kostne.

Budowa ciała ryb

Ze względu na wodne środowisko życia ciało ryb ma zazwyczaj kształt opływowy. Ułatwia im to znacząco poruszanie się w ośrodku, jakim jest woda (ok. 775 razy gęstsza od powietrza i stawiająca stukrotnie większy opór!). Ciało ryb składa się z **głowy**, **tułowia** oraz **ogona**. **150.4.1** Sprawne poruszanie się w wodzie zapewniają im **płetwy**: **parzyste** oraz **nieparzyste**. U większości ryb wystę-

pują dwie pary płetw parzystych: **piersiowe** oraz **brzuszne**, choć u niektórych gatunków te ostatnie mogą ulegać zanikowi. Do płetw nieparzystych należą: **płetwa grzbietowa** i **odbytowa** oraz odgrywająca najważniejszą rolę **płetwa ogonowa** zapewniająca zwierzęciu napęd. Płetwy parzyste odpowiadają głównie za stabilizację ciała w czasie ruchu lub postoju.

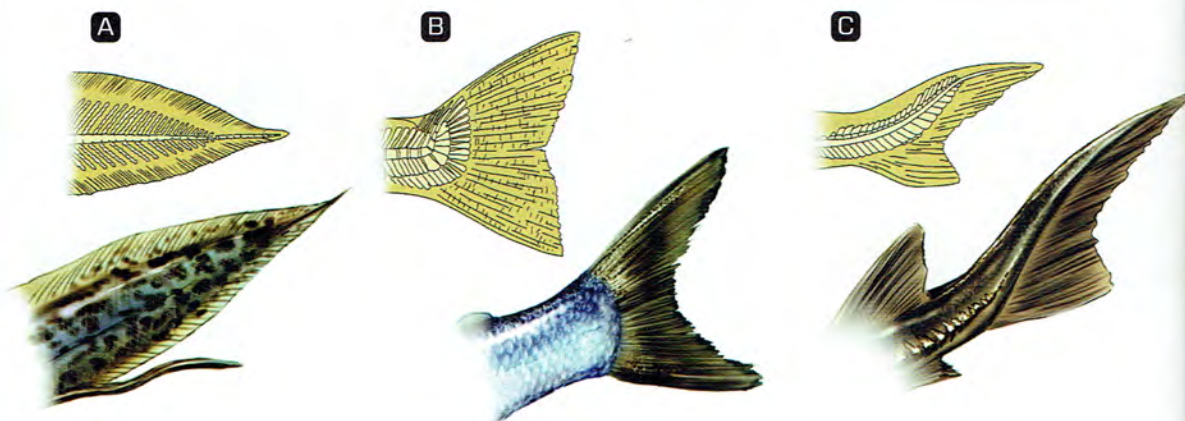


50.4. Pokrój ogólny ciała ryby





Jakimi kształtami charakteryzują się rybnie płetwy?



50.5. Kształty płetw rybich: A) difercerkiczna, B) heterocerkiczna, C) homocerkiczna

Budowa płetwy

Kształt płetw ogonowych jest różny i zależy od ciężaru właściwego ryby oraz od jej trybu życia. Najbardziej podstawowy podział wyróżnia **płetwy symetryczne** (występujące np. u łososia) oraz **niesymetryczne** (spotykane np. u rekina). Płetwy symetryczne są charakterystyczne dla ryb, których całkowita gęstość jest zbliżona do gęstości wody. Wyróżnia się dwa podtypy płetw symetrycznych: **difercerkiczne** (gdy szkielet osiowy biegnie poziomo bez wygięć) oraz **homocerkiczne** (gdy pomimo zewnętrznej symetrii szkielet osiowy jest wygięty ku górze). **50.5.1** Płetwy niesymetryczne **heterocerkiczne** są typowe dla ryb, których gęstość jest większa od otaczającej wody (często na skutek braku pęcherza pławnego). U gatunków, u których występuje ten typ płetw, szkielet osiowy wyraźnie wygina się ku górze, a górna część płetwy jest większa od dolnej. Ryby najczęściej poruszają się za pomocą skurczów mięśni biegnących falami od głowy do ogona. Spychają w ten sposób wodę w tył ciała, co umożliwia rybom ruch do przodu.

Pokrycie ciała

Ciało ryb pokryte jest warstwą tkanki nabłonkowej zwanej **naskórkiem**, pod którym znajduje się gruba warstwa tkanki łącznej tworzącej **skórę właściwą**. Naskórek jest najczęściej jednowar-

stwowy i ma liczne jednokomórkowe **gruczoły śluzowe**. Ich wydzielina dodatkowo zmniejsza tarcie w trakcie ruchu w wodzie i sprawia, że ryby w dotyku są śliskie. W skórze właściwej znajdują się łuski zbudowane z żywej tkanki kostnej. **50.6.1** Zazwyczaj zachodzą na siebie dachówkowato i mogą mieć bardzo różną strukturę.



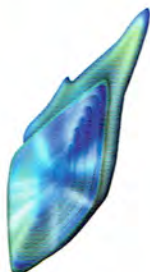
50.6. Skośne ułożenie łusek w skórze ryby

Rodzaje łusek

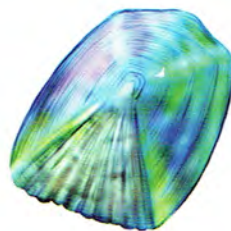
U ryb chrzęstnoszkieletowych występują tak zwane **łuski plakoidalne**. **50.7.1** Skóra właściwa wytwarza **zębinę**, natomiast naskórek pokrywa łuskę warstwą **szkliwą**. Łuski plakoidalne w szczękach (np. rekina) osiągają duże rozmiary i przekształcają się w **zęby skórne**. Z kolei **łuski ganoidalne** **50.8.1** występują u prymitywnych ryb kostnoszkieletowych (np. u jesiotra). Mają kształt rombu, a ich zewnętrzna warstwa jest zbudowana z **ganoiny** – twardej



50.7. Łuska plakoidalna



50.8. Łuska ganoidalna



50.9. Łuska cykloidalna



50.10. Łuska ktenoidalna

substancji podobnej do szkliva, pod którą znajduje się warstwa kości.

Do typu łusek elastycznych należą łuski cykloidalne i ktenoidalne. Elastyczne **łuski cykloidalne** (koliste) (50.9.1) mają gładkie krawędzie, na których dobrze widoczne są granice przyrostów rocznych.

Ten typ łusek występuje u karpioiwatych (jak np. karp, płóc, leszcz, lin). Natomiast **łuski ktenoidalne** (zgrzebłowate) (50.10.1) przypominają łuski cykloidalne, ale na ich przednich i tylnych brzegach występuje ząbkowanie. Mają kształt zbliżony do prostokąta (spotyka się je np. u okonia).

PODSUMOWANIE

- Ryby jako grupa pierwotnie wodnych kręgowców wykształciła się na przełomie kambriu i ordowiku (ok. 490 mln lat temu).
- Bezpośrednimi przodkami ryb były bezżuchwowce pancerne (*Agnatha*). Ich potomkami są współczesne śluzice i minogi.
- Po bezżuchwowcach pancernych pojawiły się tarczowce (które dały początek rybam chrzęstnoszkieletowym) i fałdopłetwe (z których wyewoluowały ryby kostnoszkieletowe).
- Ciało ryb składa się z głowy, tułowia i ogona.
- Poruszanie się w wodzie umożliwiają płetwy nieparzyste (ogonowa, grzbietowa, odbytowa) i parzyste (piersiowe i brzuszne).
- Ze względu na kształt wyróżnia się płetwy symetryczne (np. u łososia) lub niesymetryczne (np. u rekina).
- Skóra ryb pokryta jest łuskami, wśród których wyróżniamy łuski: plakoidalne, ganoidalne, elastyczne (cykloidalne i ktenoidalne).



ZADANIA

1. Które ze współcześnie żyjących kręgowców wodnych są bezpośrednimi ewolucyjnymi potomkami bezżuchwowców?
2. Jakie jest podobieństwo między łuskami plakoidalnymi a uzębieniem kręgowców lądowych?
3. Na podstawie dostępnych źródeł wyjaśnij, jakie elementy budowy ciała rekina zapobiegają jego opadaniu na dno zbiornika wodnego.
4. Określ cechy budowy ryb zapewniające im sprawne poruszanie się w środowisku wodnym.
5. Porównaj budowę różnych rodzajów płetw symetrycznych.



BIBLIOGRAFIA

- Kahl, W., Kahl, B., *Atlas ryb akwariowych*, Gdańsk 2000.
- Bergbauer M., Frei H., *Ryby słodkowodne. Atlas do oznaczania gatunków*, Warszawa 2010.



51. Budowa wewnętrzna i czynności życiowe ryb

Budowa ciała jest przejawem przystosowania ryb do **wodnego trybu życia**. Hydrodynamiczny (optywowy) kształt ciała znacznie zmniejsza opór wody. Ryby pływające z dużą prędkością i na długich dystansach, jak tuńczyki i rekiny, mają charakterystyczne ciało: wydłużone, a w przekroju poprzecznym niemal owalne. Te, które nie pływają zbyt szybko ani daleko, ale są za to niezwykle zwinne (karasie, skalary, leszcze), cechują się silnym spłaszczeniem bocznym ciała. Jeszcze inaczej wyglądają ryby, które przystosowały się do życia w pobliżu dna. Chrzęstnoszkieletowe płaszczyki (np. drętwy, ogończe, raje, manty) mają ciało spłaszczone grzbieto-brzusznie, natomiast kostnoszkieletowe ryby denne, jak na przykład flądry (51.1.1) i płastugi, są silnie spłaszczone dwubocznie. Jeden bok pełni funkcję brzucha (część dolna) i jest białego koloru, a drugi – funkcję grzbietu (część górną) i odznacza się barwą ochronną.



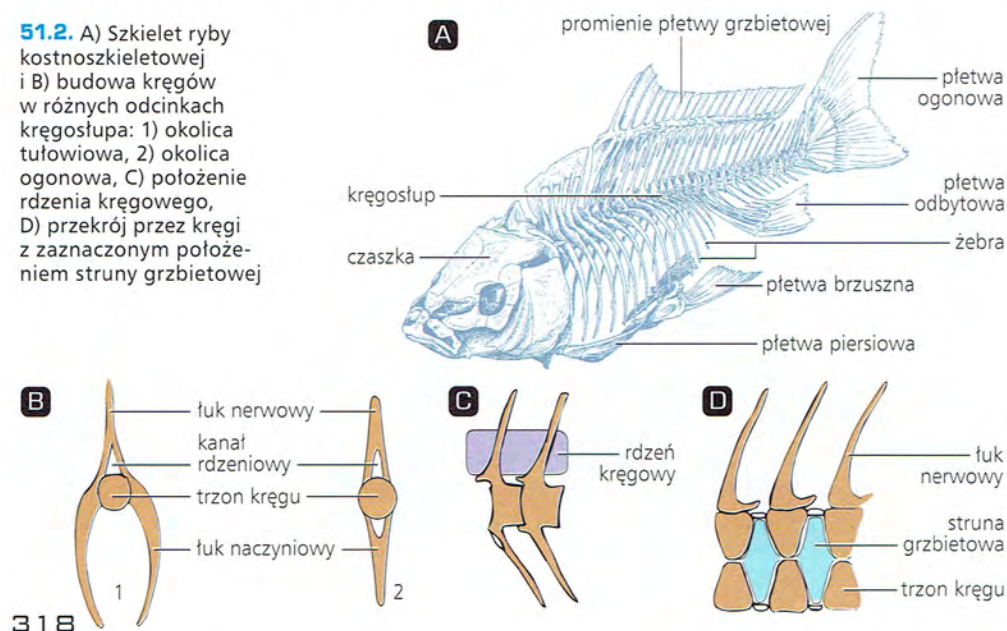
51.1. Flądra zakamuflowana w piaszczystym dnie

Szkielet ryb

Szkielet wewnętrzny kręgowców jest rusztowaniem umożliwiającym poruszanie się. Budowa szkieletu ryb stanowi wyraz przystosowania do środowiska, w którym ciężar ciała (dzięki wyporności) jest mniejszy niż na lądzie. (51.2.1) Struktura chemiczna szkieletu jest natomiast jednym z podstawowych kryteriów podziału tej grupy zwierząt. Chrzątka budująca szkielet najbardziej

pierwotnych ryb chrzęstnoszkieletowych (rekinów, płaszczyk) jest mniej wytrzymała od kości, ale za to znacznie lżejsza. U ryb kostnoszkieletowych szkielet tworzy tkanka kostna powstała w wyniku wysycenia pierwotnie chrzęstnego szkieletu związkami mineralnymi (m.in. węglanem wapnia). Kręgosłup stanowi miejsce przyczepu mięśni poruszających ogonem.

51.2. A) Szkielet ryby kostnoszkieletowej i B) budowa kręgów w różnych odcinkach kręgosłupa: 1) okolica tułowiowa, 2) okolica ogonowa, C) położenie rdzenia kręgowego, D) przekrój przez kręgi z zaznaczonym położeniem struny grzbietowej



Złożony jest z kręgów zróżnicowanych morfologicznie, które (podobnie jak mięśnie) są ostatnią pozostałością metamerii występującej u bezkręgowców. Każdy z nich składa się z trzonu kręgu oraz dwóch par łuków skrzelowych: **górných** (zwanych nerwowymi) oraz **dolnych** (zwanych naczyniowymi). Łuki górne zrastają się na całej długości kręgosłupa, tworząc **kanał rdzenia kręgowego**. Łuki dolne pozostają wolne i zrastają się dopiero w odcinku ogonowym. Między trzonami kręgów znajdują się pozostałości struny grzbietowej. W skład szkieletu wielu ryb wchodzi również liczne drobne skostnienia międzymięśniowej tkanki łącznej, czyli ości. Największym elementem szkieletu jest czaszka chroniąca mózg, nazywana również **mózgoczaszką**. Jest ona sztywno połączona z kręgosłupem, dlatego

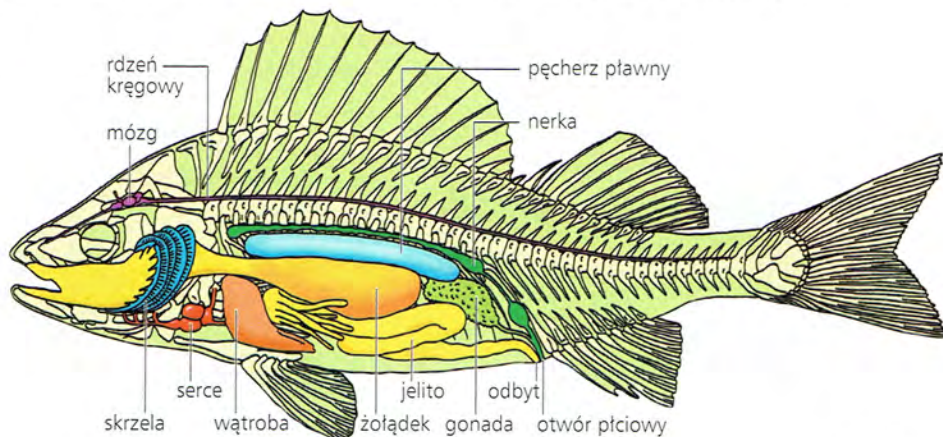
ryby nie mogą poruszać głową na boki. Za mózgoczaszką znajduje się **trzewioczaszka** zbudowana z chrzęstnych lub kostnych (w zależności od grupy) łuków skrzelowych. Każdy z nich jest podzielony na część górną i dolną. Dwa pierwsze łuki wchodzi w skład szczęki i ich połączenia z mózgoczaszką. Górna część **pierwszego łuku skrzelowego** u ryb ulega przekształceniu w **szczękę górną** przymocowaną do mózgoczaszki. Dolna część tworzy **żuchwę** połączoną stawowo ze szczęką górną. Drugi łuk skrzelowy (gnykowo-żuchwowy) stanowi podparcie dla żuchwy, gdyż zapewnia jej prawidłowe ułożenie względem szczęki górnej. Pozostałe łuki skrzelowe stanowią rusztowanie i ochronę skrzel. Charakterystyczną cechą ryb jest brak połączenia pasa miednicowego ze szkieletem osiowym.

Odżywianie i budowa układu pokarmowego

Wśród olbrzymiej liczby gatunków ryb spotyka się zarówno mięsożerne drapieżniki, jak i roślinożerców. Budowa przewodu pokarmowego uwidacznia liczne przystosowania do rodzaju spożywanego pokarmu. Dowodzi tego chociażby kształt i ułożenie pyska: u ryb odżywiających się planktonem lub pobierających pokarm z powierzchni wody (jak np. ukleja – *Alburnus sp.*) jest on zwykle skierowany ku górze, a u znajdujących pożywienie na dnie (jak np. kietb – *Gobio sp.*) – ku dołowi. Szczęka mięsożernych drapieżników (np. szczupaka – *Esox sp.*) uzbrojona jest w ostre **zęby chwytne** służące do przytrzymywania ofiary. Z kolei **zęby tnące** (spotykane np. u piranii –

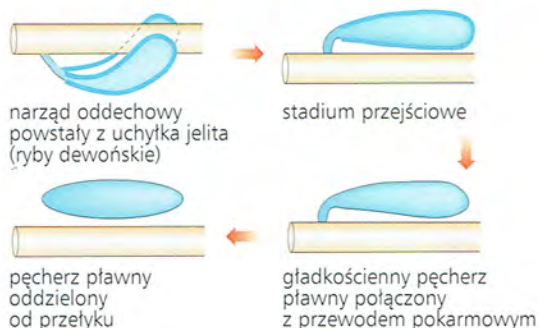
Pygocentrus sp.) służą przede wszystkim do rozszarpywania zdobyczy. Szczęki ryb roślinożernych i planktonożernych (np. karpia – *Cyprinus sp.*) są pozbawione zębów, a pokarm jest rozdrabniany za pomocą **zębów gardłowych**, zlokalizowanych na ostatnim łuku skrzelowym. Przewód pokarmowy ryb jest bardzo uproszczony i ma postać długiej rury, od której odchodzą niekiedy ślepe boczne uchyłki jelita. **51.3.1** Żołądek jest u większości gatunków jedynie słabo zaznaczonym rozszerzeniem. Od rodzaju spożywanego pokarmu zależy także (podobnie jak u innych kręgowców) długość przewodu pokarmowego: u roślinożerców jest on zawsze dłuższy niż u mięsożerców.

51.3. Schemat budowy wewnętrznej ryby



Pęcherz pławny

U ryb kostnoszkieletowych, których szkielet jest cięższy niż chrzęstnoszkieletowych, występuje charakterystyczny **narząd hydrostatyczny** w postaci **pęcherza pławnego**. [51.4.1] Zawiera on mieszaninę gazów zbliżoną w składzie do powietrza atmosferycznego, a jego rola polega na obniżaniu ciężaru właściwego zwierzęcia. Dzięki temu ryby kostnoszkieletowe mogą unosić się w toni wodnej, nie zużywając energii w celu zapobiegania opadaniu na dno. U większości ryb pęcherz pławny nie jest połączony z jelitem, a wypełniający go tlen pochodzi z gęstej sieci naczyń włosowatych. Aby ryba mogła się zanurzyć, gazy z pęcherza pławnego wchłaniane są do krwioobiegu. Napęnlanie i opróżnianie pęcherza odbywa się na zasadzie



51.4. Budowa pęcherzy pławnych

podobnej do mechanizmu wykorzystywanego w zbiornikach balastowych łodzi podwodnych. U ryb dwudysznych pęcherz pławny jest połączony z jelitem i najczęściej parzysty. Dzięki bogatemu unaczynieniu może służyć jako dodatkowy narząd wymiany gazowej (stanowi proste płuca).

Oddychanie i budowa układu oddechowego

Skrzela ryb mają postać delikatnych i cienkich blaszek skrzelowych osadzonych na powierzchni **łuków skrzelowych**. [51.5.1] Do każdego ze skrzeli krew jest doprowadzana **tętnicą łuku skrzelowego** rozgałęziającą się następnie na liczne naczynia włosowate zlokalizowane w blaszkach skrzelowych. Po przepłynięciu przez nie krew jest zbierana żyłą łuku skrzelowego i rozprowadzana dalej po ciele ryby. U ryb kostnoszkieletowych skrzela okryte są zbudowanym z kości **wieczkiem skrzelowym**. U ryb chrzęstnych otwory skrzelowe uchodzą każdy z osobna i nie są niczym przykryte. Otwory skrzelowe stanowią ujścia szczelin skrzelowych. Pierwsza szczelina jest silnie zredukowana i nosi nazwę **tryskawki**. [51.6.1] U rekinów ma ona postać niewielkiego otworu zlokalizowanego za okiem. Tryskawka płaszczynek jest duża i pełni ważną funkcję: wspomaga pobieranie czystej wody.

Znajduje się za okiem po grzbietowej stronie ciała, podczas gdy pozostałe otwory skrzelowe leżą po stronie spodniej (tak jak otwór gębowy). Blaszki skrzelowe mają olbrzymią powierzchnię wymiany gazowej. Nieustannie są omywane strumieniem płynącej przez nie wody, co zapewnia sprawny pobór tlenu, mimo że jego ilość rozpuszczona w wodzie jest niewielka. U ryb znaczącym narządem wymiany gazowej jest również skóra. Ilość tlenu pobranego za jej pośrednictwem jest różna u różnych gatunków: u większości ryb to 5–10%, u flądry 27%, u węgorza 29%, a u rekordzisty, czyli **skoczka mułowego** (*Periophthalmus barbarus*) – aż 37%. Ryby dwudyszne (np. **rogozab australijski** – *Neoceratodus forsteri*) wspomagają proces oddychania, wykorzystując pęcherz pławny, który umożliwia im krótkotrwałą egzystencję poza środowiskiem wodnym.

51.5. Układ oddechowy ryby kostnej oraz budowa skrzela łukowatego



51.6. Tryskawka widoczna tuż za okiem patelnicy niebieskopłamej (*Taeniura lymna*)



Układ krwionośny i budowa serca

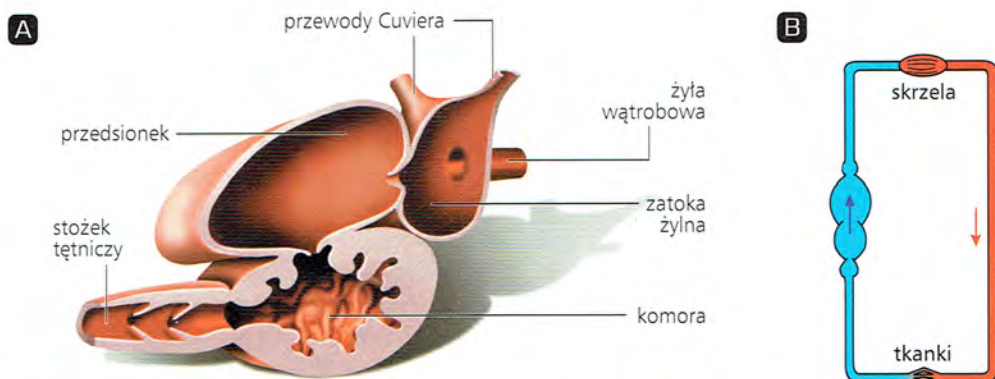
Układ krwionośny ryb, podobnie jak wszystkich kręgowców, jest zamknięty. Krew krąży w jednym obiegu, co oznacza, że w trakcie pełnego cyklu krążenia przepływa przez serce jednokrotnie. U ryb występuje tak zwane **serce żylne**, do którego zawsze dociera krew odtlenowana.

W budowie serca ryb chrzęstnoszkieletowych można wyróżnić cztery podstawowe elementy zwane pęcherzykami: **zatokę żylną**, **przedsionek serca**, **komorę** oraz **stożek tętniczy**. **51.7.1** Zaraz za stożkiem znajduje się **pień tętniczy**. Pomiędzy poszczególnymi funkcjonalnymi odcinkami serca zlokalizowane są zastawki wymuszające jednokierunkowy przepływ krwi. Liczne zastawki występują również w stożku tętniczym, który jest zdolny do wykonywania niewielkich skurczów. Liczba zastawek w stożku tętniczym może być bardzo zróżnicowana, choć przeważnie wynosi około

dziesięciu (najwięcej, bo aż 50(!), ma ich ogończa – *Dasyatis*).

Serce najbardziej morfologicznie zaawansowanych **ryb kostnoszkieletowych** zbudowane jest z trzech części – brak w nim stożka tętniczego.

W wyniku skurczów serca krew jest pompowana do przodu: poprzez **pień tętniczy** do **tętnicy skrzelowej**. Ta rozgałęzia się na **łuki naczyniowe**, którymi krew dociera do naczyń włosowatych listków skrzelowych. Po oddaniu dwutlenku węgla i nasyceniu tlenem krew trafia do korzeni aorty i jest rozprowadzana po całym ciele. Naczynia tętnicze ponownie rozgałęziają się w sieć naczyń włosowatych, oddając tlen leżącym obok tkanom. Cieniotkie naczynia zbierają się ponownie, tym razem w żyły główne, które po połączeniu w dwa **przewody Cuviera** wraz z **żyłą wątrobową** uchodzą do zatoki żylnej serca.



51.7. A) Budowa serca ryby chrzęstnoszkieletowej, B) schemat krążenia krwi



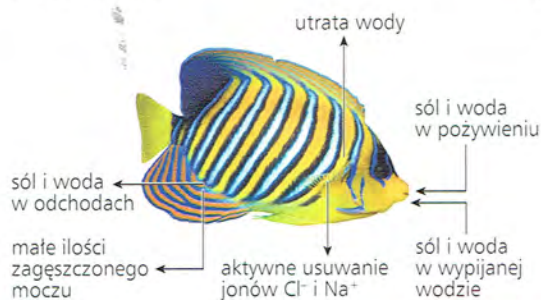
Dlaczego serce ryb nazywamy sercem żylnym?

Wydalanie i osmoregulacja

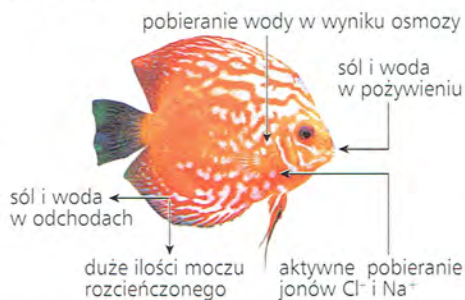
Wszystkie zbędne produkty przemiany materii są u kręgowców, w tym także u ryb, usuwane z krwi przez narządy zwane **nerkami**. Produktem ich działania jest **mocz**, który wydostaje się poza obręb ciała za pomocą kanałów zwanych **moczowodami**, uchodzących do **pęcherza moczowego**. Funkcję dodatkowego narządu wydalniczego ryb, odpowiedzialnego za usuwanie produktów przemian azotowych z organizmu, pełnią skrzel. Największym

problemem kręgowców pierwotnie wodnych jest utrzymanie stałego stężenia płynów ustrojowych, czyli osmoregulacja. Konieczność wyrównywania różnicy ciśnienia osmotycznego między środowiskiem a tkankami organizmu dotyczy zarówno ryb morskich, jak i słodkowodnych. **Woda morska** zawiera dużą ilość rozpuszczonych soli i stanowi roztwór **hipertoniczny** względem ciała ryby. **Ryby morskie** grozi zatem utrata wody na skutek

jej przenikania do roztworu o większym stężeniu. **151.8.1** Efektem może być odwodnienie. U morskich ryb kostnoszkieletowych zapobiega temu picie wody i jednocześnie wydalenie nadmiaru soli przez skrzel. W celu uniknięcia nadmiernych strat wody ich nerki przystosowały się też do wydzielania silnie zagęszczanego moczu. Ryby chrzęstnoszkieletowe (a także niektóre kostnoszkieletowe) zmniejszają różnicę ciśnienia osmotycznego między środowiskiem a tkankami ciała, magazynując we krwi duże ilości mocznika.



Całkowicie odmienna sytuacja występuje u **ryb słodkowodnych**. Ich płyny ustrojowe są hipertoniczne w stosunku do otaczającej wody (mają wyższe stężenie ze względu na substancje w nich rozpuszczone). Woda, jeśli przeniknie do ośrodka o większym stężeniu, grozić będzie rybce zbytnim „napęcznieniem”. Osmoregulacja ryb słodkowodnych wymaga zatem usuwania dużych ilości wody, czemu służy produkcja rozcieńczonego moczu oraz aktywne pobieranie jonów przez skrzel.



51.8. Bilans wodny u ryby morskiej i u ryby słodkowodnej

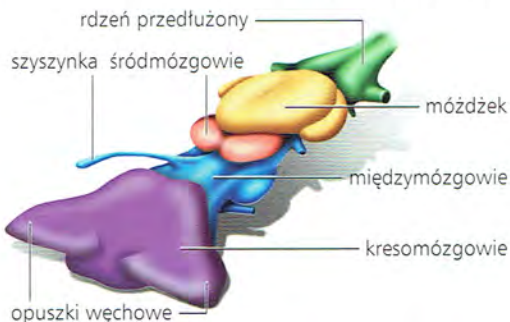


Przeanalizuj, w jaki sposób ryby morskie i słodkowodne pobierają i usuwają wodę z organizmu.

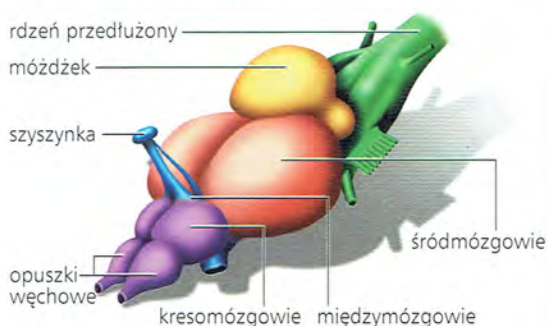
Układ nerwowy i narządy zmysłów

Ośrodkowy układ nerwowy ryb (podobnie jak reszty kręgowców) składa się z **mózgu** i **rdzenia kręgowego**. Stosunkowo słabo rozwinięty mózg budowany jest z pięciu części: **kresomózgowia**, **śródmózgowia**, **międzymózgowia**, **mózdzku** oraz **rdzenia przedłużonego**. Wszystkie elementy mózgu są ułożone liniowo. Rozwój poszczególnych jego części oraz rodzaj dominujących zmysłów są różne u różnych grup, co ma związek z trybem życia i sposobem zdobywania pokarmu. W mózgu **ryb chrzęst-**

noszkieletowych wyraźnie zaznaczają się olbrzymie **opuszki węchowe** będące częścią dobrze rozwiniętego kresomózgowia. **151.9.1** Śródmózgowie jest niewielkie i znacznie mniejsze od móżdżku. Taka budowa mózgu jest typowa dla ryb posługujących się przede wszystkim węchem (jak np. rekiny, płaszczyki). W mózgu **ryb kostnoszkieletowych** **151.10.1** kresomózgowie jest sporych rozmiarów, ale opuszki węchowe ulegają znacznej redukcji na rzecz dobrze rozwiniętego **śródmózgowia**. To cecha



51.9. Schemat budowy mózgu ryby chrzęstnoszkieletowej



51.10. Schemat budowy mózgu ryby kostnoszkieletowej

charakterystyczna dla ryb posługujących się głównie narządem wzroku.

W kresomózgowiu ryb widoczne są początki rozwoju kory mózgowej i ośrodków kojarzeniowych. Mózg jest dobrze rozwinięty, podobnie jak rdzeń przedłużony, co ma związek z dużą aktywnością ruchową oraz z dobrze rozwiniętym czuciem skórnym. Bodźce wzrokowe ryby odbierają za pomocą krótkowzrocznych oczu o kulistej soczewce, dostosowanych do widzenia pod wodą. Ryby posługują się również doskonale rozwiniętymi zmysłami węchu i smaku.

Narządem zmysłu odpowiedzialnym za odbieranie informacji o ruchach wody jest **linia naboczna** (boczna). Ma postać sieci cienkich kanałów biegnących pod powierzchnią skóry wzdłuż całego ciała i w okolicach głowy ryby. Kanały te uchodzą na zewnątrz niewielkimi po-

❖ Ciekawostka

Narząd orientacji przestrzennej u kręgowców lądowych – **błędnik** – to zachowany fragment linii nabocznej. Kanały półkoliste błędnika podobnie jak kanały linii nabocznej są wyposażone w skupiska komórek wyczulonych na ruch.

rami. Wewnątrz każdego kanału są umiejscowione liczne **ciałka czuciowe**, czyli skupiska komórek nabłonkowych – najczęściej zaopatrzone w wici. Są one elementem zmysłowym linii nabocznej i przekazują informacje o zmianach ciśnienia wody do ośrodków w mózgu. Taki system odbioru bodźców jest niezwykle czuły i niezawodny. Jest to bardzo ważny narząd zmysłu, zwłaszcza dla ryb żyjących w mętnej wodzie lub w łąwach.

Rozmnażanie

Zdecydowana większość ryb to zwierzęta rozdzielnopłciowe, a hermafrodytyzm należy do rzadkości (występuje np. u strzępielowatych – *Serranidae*). Ryby rozmnażają się, składając do wody jaja (tzw. **ikrę**). [51.11.] To pojedyncze komórki jajowe, w skład których wchodzi jądro komórkowe, cytoplazma oraz żółtko. Zewnątrz ikra otoczona jest osłonką jajową, od struktury której zależy kształt i twardość jaja.

Aby doszło do rozwoju zarodka, **komórki jajowe** muszą zostać zapłodnione przez **plemniki**. Są one na ogół wypuszczane przez samca bezpośrednio do wody, gdzie samodzielnie poszukują jaj i zapładniają je (jeden mm³ nasienia może zawierać nawet 10 mln plemników). Taki typ zapłodnienia nazywamy **zapłodnieniem zewnętrznym**. Z zapłodnionej ikry po pewnym czasie wylęgają się larwy zwane **narybkami**, często znacznie odbiegające morfologią od postaci dorosłych. Zanim narybek rozpocznie samodzielne żerowanie, przez jakiś czas korzysta z materiałów zapasowych zgromadzonych w **pęcherzyku żółtkowym**.

U niektórych gatunków spotykane są tak zwane **gonopodia**, czyli narządy kopulacyjne powstające z przekształconych płetw brzusznych (występują np. u rekinów). Są zdobyczą ewolucyjną umożliwiającą wprowadzenie plemników bezpośrednio do ciała samicy, cze-

51.11. Ikra ryby



go efektem jest **zapłodnienie wewnętrzne**. Zapłodnione wewnątrz ciała matki jaja otaczają się twardą osłonką zaopatrzoną w nitkowate wypustki, za pomocą których mogą się przyczepiać do skał lub roślin wodnych. U dużej części rekinów oraz ryb trzonopłetwych wykształciła się **żyworodność** (wiwiparia). Młode, do czasu osiągnięcia odpowiedniego stopnia rozwoju, przebywają w **macy**, z którą są połączone **łożyskiem żółtkowym**. Dopiero w pełni ukształtowane młode opuszczają ciało samicy. Ciekawym zjawiskiem jest kanibalizm obserwowany u zarodków wielu rekinów żyworodnych, zachodzący już w macicy.

51.12. Łosoś (*Salmo* sp.)51.13. Węgorz (*Anguilla* sp.)

Zapłodnienie u ryb poprzedzają często złożone rytuały godowe, czyli **tarło**, które odbywa się w określonych miejscach – **tarliskach**. Wiele gatunków w celu odbycia tarła podejmuje dalekie wędrówki. Ryby te dzielimy na anadromiczne i katadromiczne.

Ryby anadromiczne stale bytują w morzach, a odbywają tarło w rzekach. Przykładem mogą być **łososie** 51.12.1, których ikra rozwija się najlepiej w wodzie słodkiej. Gdy zbliża się okres tarła, dorosłe osobniki wyruszają w górę rzek Europy, Azji i Ameryki Północnej. Aby dotrzeć do potoku, w którym przyszły na świat, potrafią pokonać liczne przeszkody, w tym wielkie wodospady. Droga pod prąd oraz samo tarło są dla wielu osobników olbrzymim wydatkiem energetycznym, dlatego też większość z nich ginie. Pojawiający się narybek rozwija się powoli, żywiąc się głównie larwami owadów.

Gdy osiągnie wielkość kilkunastu centymetrów, odbywa podróż w kierunku morza, gdzie dorasta do właściwych rozmiarów.

Ryby katadromiczne stale bytują w rzekach, a odbywają tarło w morzu. Przykładem jest **węgorz** 51.13.1 wędrujący z rzek Ameryki Północnej i Europy w kierunku północnych obszarów Morza Sargassowego. Tam dochodzi do tarła, osobniki dorosłe giną, a wyklute z jaj młode rozpoczynają długą drogę w kierunku rzek, skąd przybyli ich rodzice. Zajmuje im to od roku do dwóch lat.

Aby zapewnić sobie sukces rozrodczy, samice na przykład węgorza produkują olbrzymią ilość jaj, co wymaga olbrzymich nakładów energii. Innym sposobem na zapewnienie ciągłości gatunku jest opieka nad potomstwem. Pozwala ona na ograniczenie ilości składanych jaj, zmniejszając się również nakłady energii potrzebne do ich wypro-

:: Ciekawostka

W 2007 roku Demian Chapman pracujący dla Uniwersytetu Stanu Nowy Jork odkrył w ciele zmarłej **samicy żarłacza czarnopłetwego** potomstwo ptci żeńskiej. Ponieważ samicę przez wiele lat izolowano od samców, wysnuto teorię, według której izolacja taka może sprzyjać **partenogenezie** (dzieworódtwu) rekinów. W momencie drastycznego spadku liczebności populacji samice wydają potomstwo identycznie pod względem genetycznym. Zwiększają w ten sposób szanse gatunku na przetrwanie.

Żarłacz czarnopłetwy (*Carcharhinus limbatus*)



51.14. Cierniki (*Gasterosteus* sp.) przy gnieździe

dukowania. Przykładem opiekującej się potomstwem słodkowodnej ryby jest **ciernik**. 51.14.1 Samce ciernika budują ze szczątków roślinnych gniazdo, do którego wabią samice. Gdy tylko samica złoży w nim ikrę, samiec przegania ją, a złożone jaja zapładnia. Broni zapłodnionej ikry, a potem narybku dopóki ten nie osiągnie wielkości odpowiedniej do samodzielnego życia.

:: Ciekawostka

Ciekawym przykładem opieki nad potomstwem jest należący do pielęgnicowatych **gębacz wielobarwny**. Samica tej ryby, często hodowanej w akwariach, składa do 100 jaj w specjalnych dołkach wykopanych przez samca. Po zapłodnieniu pobiera je wszystkie do obszernej jamy gębowej, gdzie przechowuje aż do momentu wylęgu (zwykle około 10 dni). Po tym czasie młode opuszczają pysk matki, do którego jeszcze przez jakiś czas wracają w razie niebezpieczeństwa.



Gębacz wielobarwny (*Pseudocrenilabrus multicolor*) i jego narybek

PODSUMOWANIE



- Szkielet ryby może być tworzony przez chrząstkę lub kość.
- Układ krwionośny ryby jest zamknięty, a krew krąży w jednym obiegu.
- Serce ryb chrzęstnoszkieletowych składa się z czterech przedziałów, a ryb kostnoszkieletowych z trzech przedziałów.
- U ryb chrzęstnych dominuje kresomózgowie z rozwiniętą częścią węchową, a u ryb kostnych – śródmózgowie z ośrodkami wzroku.
- Narządem hydrostatycznym ryb kostnych jest pęcherz pławny.
- Narządem wydalniczym ryb są nerki.
- Zapłodnienie u ryb może być zewnętrzne lub wewnętrzne.
- Jaja składane przez ryby to ikra, a larwy wylęgające się z nich to narybek.
- U wielu gatunków ryb występują skomplikowane zachowania związane z opieką nad potomstwem.

ZADANIA



1. Omów budowę serca ryby.
2. Wymień dwie funkcje pęcherza pławnego ryb.
3. Opisz budowę dodatkowego narządu wymiany gazowej u ryb. Jaka jest jego rola?
4. Oceń korzyści płynące z grzbietowej lokalizacji tryskawki u płaszczyk.
5. Na podstawie dostępnych źródeł podaj inne niż wymienione w rozdziale przykłady ryb anadromicznych i katadromicznych.
6. Scharakteryzuj mechanizm osmoregulacji zachodzący u ryb słodkowodnych.
7. Porównaj budowę układu krwionośnego ryb i lancetnika.

W INTERNECIE



- <http://www.wedkuje.pl/ryby.html>
- <http://ryby.zwierzeta.ekologia.pl/>
- <http://www.superakwarium.pl/>

52. Przegląd systematyczny i znaczenie ryb

Podstawowy podział kręgowców wyróżnia wśród nich dwie **nadgromady**: **bezzuchwowce** (*Agnatha*) oraz **zuchwowce** (*Gnathostomata*). Podział ten uwzględnia różnice w przekształceniach pierwszych dwóch łuków skrzelowych. Współcześnie żyjące **bezzuchwowce** tworzą tylko jedną gromadę **krągłoustych** (smoczkoustych – *Cyclostomata*), obejmującą dwa rzędy: **śluzicokształtne** (*Myxiniiformes*) oraz **minogokształtne** (*Petromyzoniformes*). Do obfitującej w gatunki nadgromady **zuchwowców** zaliczane są obecnie gromady ryb **chrzęstnoszkieletowych** (*Chondrichthyes*) oraz **kostnoszkieletowych** (*Osteichthyes*), a także czworonogi (*Tetrapoda*).

Chrzęstnoszkieletowe (*Chondrichthyes*)

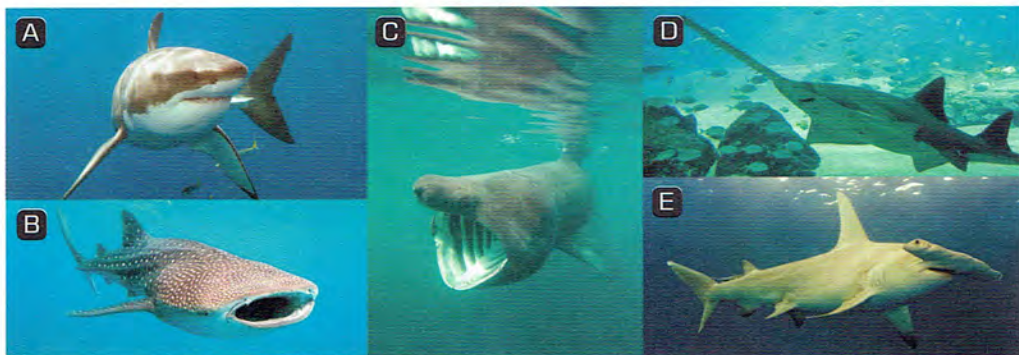
Gromada ta obejmuje około tysiąca gatunków podzielonych na dwie podgromady. Pierwsza to **zrosłogłowe** (*Holocephali*), do których należą chimery, a druga to **spodouste** (*Elasmobranchii*), do których zaliczane są rekiny i płaszczy. Zdecydowana większość chrzęstnoszkieletowych żyje w wodach morskich. Najprymitywniejsze z nich – **chimery** **52.1.1** – liczą około 40 współcześnie żyjących gatunków, zamieszkujących chłodne głębiny morskie. Ich cechy charakterystyczne to długi nitkowaty ogon oraz cztery szczeliny skrzelowe przykryte skórny fałdem.

Podgromada **spodouste** jest znacznie liczniejsza. W jej skład wchodzi około dziesięciu rzędów rekinów i płaszczy. Płaszczy pojawiły się na Ziemi około 200 milionów lat temu, rekiny są jeszcze starsze (ich szczątki znajdowane są w osadach datowanych na ponad 400 mln lat). Rekiny to w większości bardzo aktywne morskie drapieżniki. **52.2.1** Opisano jak dotąd blisko 340



52.1. *Chimera* sp.

ich gatunków. Do najbardziej znanych należą owiane złą sławą **żarłacz białe** (zwane ludojadami), zdolne za pomocą silnych ruchów ogona osiągać znaczne prędkości (nawet do 80 km/h!). Z kolei **rekin wielorybi** i **długoszar** to, pomimo ich ogromnych rozmiarów, niegroźni planktonożercy. Charakterystyczną budową odznacza się **ryba piła** oraz **głowomłot pospolity** zwany popularnie rybą młotem.



52.2. Przykładowi przedstawiciele rekinów: A) żarłacz biały (*Carcharodon carcharias*), B) rekin wielorybi (*Rhincodon typus*), C) długoszar (*Cetorhinus maximus*), D) ryba piła (*Pristis pristis*), E) głowomłot pospolity (*Sphyrna zygaena*)

Drugą grupę ryb spodoustych stanowią płaszczyki, których jak dotąd opisano blisko 500 gatunków. Cechuje je silnie spłaszczone grzbieto-brzusznie ciało. **52.3.1** Ze względu na denny tryb życia pierwsza para otworów skrzelowych (tryskawka) umieszczona jest u nich na grzbietowej stronie ciała tuż za głową. Wiele gatunków ma też dobrze wykształcony ogon, zakończony kolcem jadowym. Przedstawicielami płaszczyk są: **drętwa pawik**, mająca po bokach ciała dwa duże narządy elektryczne, **manta** (o rozpiętości płetw do 9 m) oraz **ogończe** z największą na ciele *Dasyatis brevicaudata*, wyposażoną w długi kolec jadowy.

:: Ciekawostka

Jak dotąd udokumentowano kilkanaście przypadków śmierci ludzi w wyniku ataku ogończy. Przykładem może być australijski przyrodnik **Steve Irwin**, który zginął 4 września 2006 roku ugodzony kolcem jadowym w okolice serca przez największą ogończę na świecie – *Dasyatis brevicaudata*. Stało się to w trakcie nagrywania materiału filmowego poświęconego tym wielkim płaszczykom.



52.3. Przykładowi przedstawiciele płaszczyk: A) drętwa pawik (*Torpedo torpedo*), B) manta (*Manta sp.*), C) ogończa (*Dasyatis sp.*)

Kostnoszkieletowe (*Osteichthyes*)

Do gromady kostnoszkieletowych zaliczamy najwięcej gatunków ryb (zarówno morskich, jak i słodkowodnych). Ze względu na olbrzymią liczbę rzędów ich przegląd obejmuje jedynie wybrane grupy.

Śledziokształtne (*Clupeiformes*)

Jest to rząd obejmujący blisko 300 gatunków ryb morskich i słodkowodnych (o długości nieprzekraczającej 75 cm). Mają one olbrzymie znaczenie ekonomiczne, gdyż stanowią główną masę ryb połowowych. Najbardziej znane gatunki to **śledź**, **szprot** oraz **sardynka**. **52.4.**, **52.5.1**



52.4. Szprot (*Sprattus sp.*)

Węgorzokształtne (*Anguilliformes*)

Rząd ten obejmuje zarówno ryby morskie, jak i dwuśrodowiskowe, o silnie wydłużonym ciele. Opisano ich do dziś około 600 gatunków (do przedstawicieli należą np. **węgorze** i **mureny**). **52.6.1**



52.5. Sardynka (*Sardina sp.*)



52.6. Murena (*Muraena sp.*)

52.7. Pstrąg potokowy (*Salmo trutta*)52.8. Lin (*Tinca sp.*)

Łosośiokształtne (*Salmoniformes*)

Do łosośiokształtnych zaliczamy blisko 500 gatunków ryb (m.in. **łososie** oraz **pstrągi** wysoko cenione przez wędkarzy). 52.7.1 U wszystkich przedstawicieli obecna jest **pletwa tłuszczowa**. Najczęściej należą tu gatunki dwuśrodkowe, odbywające wędrówki. Niewiele jest gatunków słodkowodnych.

Karpiokształtne (*Cypriniformes*)

Jest to rząd ryb słodkowodnych obejmujący około 3000 gatunków. W stanie naturalnym zasiedlają one wody Europy, Azji, Afryki oraz Ameryki Północnej. Cechuje je otwarty pęcherz pławny połączony z przełykiem oraz aparat Webera (narząd słuchowy powstały z przekształconych czterech pierwszych kręgów łączących pęcherz pławny z błędnikiem). Ich szczęki nie zawierają zębów (występują natomiast tzw. **zęby gardłowe**). Do żyjących w Polsce przedstawicieli tego rzędu należą: **karp**, **lin** 52.8.1, **plóć**, **amur**.

Sumokształtne (*Siluriformes*)

Są to pierwotnie słodkowodne ryby zasiedlające głównie wody Ameryki Południowej, Afryki, Azji oraz Europy. Nieliczne z około 2000 gatunków zaadaptowały się wtórnie do środowiska mor-

skiego. Większość to doskonałe drapieżniki, bardzo rzadko – roślinożercy. Znanie są również nieliczne gatunki będące pasożytami ryb, jak **kandyra** (*Vandellia cirrhosa*). Mają do czterech par długich wąsików czuciowych pomagających lokalizować zdobycz, aparat Webera oraz otwarty, dwukomorowy pęcherz pławny. Należy do nich największa żyjąca w Polsce ryba słodkowodna – **sum pospolity** (rekordowy złowiony okaz ważył 306 kg i mierzył 5 m!). 52.9.1 Egzotyczne gatunki niewielkich rozmiarów są często hodowane w akwariach (np. **zbrojnik niebieski** zwany potocznie **glonojadem**). Wiele gatunków sumów (w tym sum pospolity) zakłada przy dnie prymitywne gniazda, w których samica składa jaja. W pilnowaniu ikry często uczestniczy samiec.

Dorszokształtne (*Gadiformes*)

Rząd ten obejmuje około 500 gatunków niemal wyłącznie morskich drapieżników o dużym znaczeniu gospodarczym. Charakterystycznymi ich cechami są: bardzo długa pletwa grzbietowa (podzielona na dwa do trzech odcinków) oraz pojedynczy wąsik czuciowy występujący na podbródka. Przedstawiciele tego rzędu to: **dorsz atlantycki** 52.10.1, **mintaj** oraz **morszczuk europejski**.

52.9. Sum pospolity (*Silurus glanis*)52.10. Dorsz atlantycki (*Gadus morhua*)

Znaczenie ryb w środowisku naturalnym i gospodarce człowieka

Beżuchwcowce, ze względu na niewielką liczbę gatunków, nie odgrywają znaczącej roli w ekosystemach naturalnych. Minogi będące pasożytami zewnętrznymi ryb są traktowane głównie jako szkodniki. Śluzice są „czyścicielami” dna morskiego, usuwają bowiem martwe zwierzęta. Ryby chrzęstnoszkieletowe (z rekinami na czele) to przede wszystkim doskonale wyspecjalizowane drapieżniki, w znaczący sposób regulujący liczebność populacji ryb na obszarach, na których występują. Ryby kostnoszkieletowe są ważnym elementem niższych poziomów troficznych. Ryby, będące składnikiem pożywienia człowieka od najdawniejszych czasów, stanowią przede wszystkim ważne źródło białka, tłuszczów, soli mineralnych oraz witamin. Spożywanie mięsa ryb w znaczący

sposób obniża ryzyko zachorowania na miażdżycę tętnic. **Tran** (tłuszcz uzyskiwany z rybiej wątroby) znajduje zastosowanie jako uzupełniający składnik diety w licznych schorzeniach (krzywica, niedobory witamin A, D, E). Jako składnik pożywienia ryby są praktycznie najważniejszą grupą kręgowców pozyskiwaną na skalę przemysłową ze środowiska naturalnego. Mimo że ryby należą do odnawialnych zasobów biomasy, masowe odłowy wielokrotnie przyczyniały się do zachwiania równowagi ekologicznej w ich naturalnych środowiskach. Aby uniknąć tego zagrożenia, w większości krajów świata wprowadzono limity połowowe i okresy ochronne. Pewnym rozwiązaniem dla kurczących się populacji ryb jest hodowla niektórych gatunków (głównie karpia i łososi).



Kur rogacz
(*Myoxocephalus quadricornis*)



Różanka (*Rhodeus sp.*)



Jesiotr zachodni
(*Acipenser sturio*)



Śliz (*Nemachilus sp.*)

Przykłady ryb chronionych w Polsce

PODSUMOWANIE

- Podstawowy podział kręgowców wyróżnia wśród nich beżuchwcowce (*Agnatha*) oraz żuchwcowce (*Gnathostomata*).
- Beżuchwcowce są reprezentowane przez dwa rzędy: śluzicokształtne (*Myxiniiformes*) oraz minogokształtne (*Petromyzoniformes*).
- Do żuchwcowców należą gromady chrzęstnoszkieletowych (*Chondrichthyes*) oraz kostnoszkieletowych (*Osteichthyes*), a także czworonogi (*Tetrapoda*).

ZADANIA

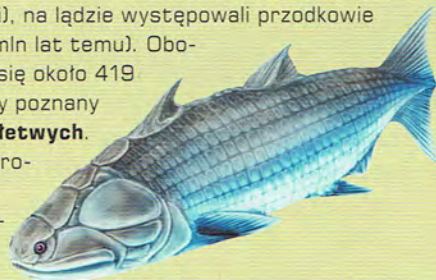
1. Jaką rolę odgrywają śluzice w ekosystemach naturalnych?
2. Oceń, jakie konsekwencje dla środowiska mogą przynieść nadmierne połowy ryb. Czy twoim zdaniem słusznie zostały wprowadzone limity połowowe?
3. Podaj przykład wymienionej w tekście ryby pasożytniczej i określ jej przynależność systematyczną.

BIBLIOGRAFIA

Wielka encyklopedia zwierząt, t. 24. Ryby, Oxford Educational, 2008.

53. Filogeneza i budowa zewnętrzna płazów

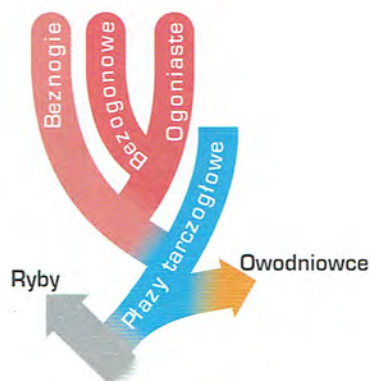
Płazy (*Amphibia*) są bezsprzecznie pierwszymi kręgowcami, które opanowały ląd. Dały one początek gadom, a te w krótkim czasie skutecznie zasiedliły wszystkie środowiska Ziemi. Zanim jednak pojawiły się kręgowce wyższe (zwane owodniowcami), na lądzie występował przodek dzisiejszych płazów (według najnowszych badań – już 397 mln lat temu). Obowiązujący współcześnie model ewolucji płazów rozpoczyna się około 419 mln lat temu. Wtedy to pojawił się *Guiyu oneiros* – pierwszy poznany i najstarszy udokumentowany przedstawiciel **ryb mięśniopłetwych**. Niemal kompletne szczątki tego zuchwowca znaleziono w prowincji Junan w Chinach. Jak się okazało, stanowił on punkt zwrotny rozdzielających się linii ewolucyjnych ryb kostnoszkieletowych. Jedną z nich stanowiły ryby **mięśniopłetwe** (które dały początek lądowym tetrapodom), drugą natomiast – **promieniopłetwe**.



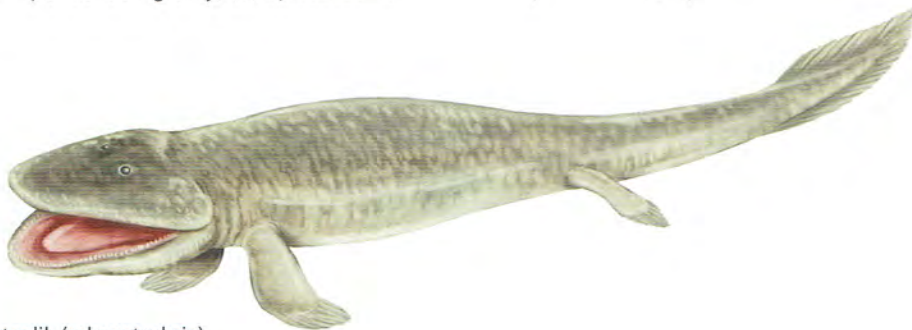
Guiyu oneiros

Filogeneza płazów

Ewolucję ryb mięśniopłetwych dokumentują odnalezione formy kopalne, coraz lepiej przystosowane do środowiska lądowego. Dowodzi tego analiza sposobu zawieszenia pasa barkowego i miednicowego, które musiały być zdolne do dźwigania ciężaru ciała. Z wczesnych ryb mięśniopłetwych przypuszczalnie wyewoluowały *Tetrapodomorpha* (**czworonogokształtne**). Wśród nich wyróżniono rodzinę *Elpistostegidae* (elpistostegidy), której przedstawiciele pod względem budowy głowy i tułowia przypominali czworonogi (tetrapody), jednak zachowali wiele cech rybich (obecność płetw i brak kości krzyżowej). Przyczyniły się do tego takie jego cechy, jak: (1) zginające się płetwy umożliwiające ruch w płaszczyźnie pionowej i poziomej, (2) trójkątna czaszka z oczami osadzonymi na szczycie, a nie jak u ryb – po bokach głowy, (3) spłaszczenie



grzbieto-brzuszne ciała (charakterystyczne dla płazów). Za przodka kręgowców lądowych uznano tiktaalika (*Tiktaalik roseae*). **153.1.1**



53.1. Tiktaalik (rekonstrukcja)



Przeanalizuj rybę i płazę cechy budowy Ichtiostegi.



53.2. Ichtiostega – do niedawna uznawana za najstarszą formę przejściową między rybami i płazami

Tiktaalika uważa się za ogniwo pośrednie między przodkami kręgowców lądowych a **ichtiostegą** (Ichthyostega) – najbardziej znaną i najlepiej udokumentowaną formą przejściową w ewolucji płazów. **53.2.1** Jej szczątki (datowane na 365 mln lat) znaleziono w latach trzydziestych XX wieku na Grenlandii. Pod względem budowy i fizjologii wykazywała ona zarówno cechy ryb, jak i płazów. Miała dwie pary siedmiopalczastych

kończyn. Jej czaszka była spłaszczona grzbieto-brzusznie (podobnie jak u płazów i tiktaalika), ale zawierała elementy charakterystyczne dla ryb (np. kości tworzące wieczko skrzelowe). Ichtiostega była też wyposażona w długie i szablaste żebra, prawdopodobnie stanowiące ochronę dla płuc, którymi zwierzę oddychało. Jej skórę pokrywały liczne drobne łuski, a ogon bardziej przypominał płetwę ogonową ryb niż ogon płaza.

:: Ciekawostka

W 2010 roku na łamach „Nature” ukazał się artykuł, którego autorami są polscy badacze (m.in. Grzegorz Niedźwiedzki i Piotr Szrek). Artykuł ten wstrząsnął światem paleontologii. Zamieszczono w nim ilustracje przedstawiające odciski w skale ślady tetrapodów odnalezione w Zachetmie w Górach Świętokrzyskich. Ich wiek **oszacowano na 397 milionów lat** (prawie 20 mln lat więcej niż tiktaalik!). Znajezisko to sugeruje, że tiktaalik nie mógł być przodkiem lądowych kręgowców, gdyż występowały one na Ziemi przed nim (nawet 18 mln lat wcześniej).



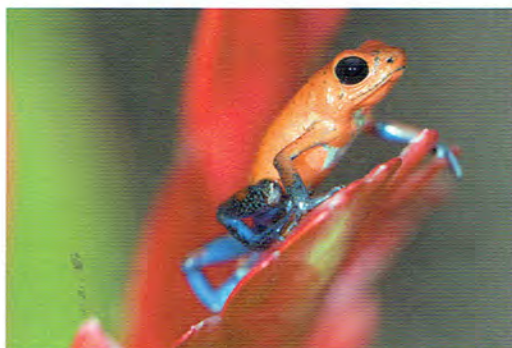
Budowa zewnętrzna płazów

Płazy to kręgowce zmiennocieplne (ektotermiczne). Ich skóra jest naga i stale wilgotna, co w dużym stopniu ułatwia oddychanie całą powierzchnią ciała. Naskórek płazów oddzielony jest od skóry właściwej cienką błoną podstawną. Jest on okresowo zrzućany, zazwyczaj w całości. W skórze obecne są liczne **gruczoły śluzowe** zapewniające jej stałą wilgotność. Jest to przystosowanie zarówno do środowiska lądowego – śluz chroni przed wysycha-

niem, jak i wodnego – zmniejsza tarcie. Łuski wewnętrzne występują jedynie u płazów beznogich. U niektórych gatunków w skórze obecne są **gruczoły jadowe** zawierające trującą wydzielinę. Ich skupiska mieszczące się za oczami noszą nazwę **gruczołów przyusznych**. W skórze płazów znajdują się także **komórki pigmentowe** zawierające barwniki.

U żaby, będącej przedstawicielem płazów bezogonowych, głowa nie jest wyraźnie za-

znaczona, choć w kręgosłupie wyodrębnił się krótki odcinek szyjny. Na głowie znajduje się para wypukłych oczu, które służą do obserwo-



53.3. Drzewołaz karłowaty (*Dendrobates pumilio*)

wania otoczenia bez konieczności wyłaniania się z wody. W przedniej części pyska, na jego górnej stronie, znajdują się otwory nosowe. Szczelina tworząca otwór gębowy jest duża i szeroka.

Barwa ciała płazów może mieć charakter maskujący (tzw. **barwa kryptyczna**). Z kolei jaskrawe ubarwienie (tzw. **barwa krzykliwa**) ma za zadanie odstraszyć lub ostrzec przeciwnika. **153.3.1** Jest ono charakterystyczne dla gatunków jadowitych. Niektóre płazy potrafią też zmieniać kolor skóry. Mechanizm ten jest kontrolowany przez przysadkę mózgową. Obecność błony pławnej między palcami kończyn jest ważnym elementem przystosowania płazów do życia w wodzie.

PODSUMOWANIE

- Najstarszy udokumentowany przedstawiciel ryb mięśniopłetwych (datowany na 419 mln lat) to *Guiyu oneiros*.
- Z ryb mięśniopłetwych wyewoluowała grupa czworonogokształtnych (*Tetrapodomorpha*), a z niej – rodzina *Elpistostegidae*.
- Przedstawiciele elpistostegidów pod względem budowy głowy i tułowia przypominali czworonogi (tetrapody), jednak zachowali wiele cech rybich (obecność płetw i brak kości krzyżowej).
- Dobrze zachowaną kopalną formą pośrednią między rybami a płazami jest *Ichtiostega* (odkryto ją w pokładach sprzed 365 mln lat).
- Płazy są zwierzętami zmiennocieplnymi o ziemno-wodnym trybie życia.
- Naga skóra płazów pokryta jest cienkim naskórkiem, w którym znajdują się gruczoły śluzowe. Produkowana przez nie wydzielina zapewnia skórze stałą wilgotność.

ZADANIA

1. Podaj nazwę linii rozwojowej ryb kostnoszkieletowych, z której wykształciły się tetrapody lądowe.
2. Udowodnij na podstawie cech budowy, że *Ichtiostega* może zostać uznana za ogniwo pośrednie między rybami a płazami.
3. Oceń rolę wilgotnej skóry pokrywającej ciało płazów w adaptacji do środowiska wodno-lądowego.
4. Porównaj budowę skóry u ryb i płazów. Jakie funkcje spełnia u obydwu gatunków?
5. Porównaj znaczenie barw kryptycznych i krzykliwych dla płazów.

BIBLIOGRAFIA

- Niedźwiedzki G., Szrek P., *Na tropach praczworonoga w Górach Świętokrzyskich*, Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 2011.
- Mazgajska J., *Płazy świata*, Warszawa 2009.
- Hutchinson M., *Gady i płazy*, Warszawa 2007.

W INTERNECIE

- <http://www.gadyiplazypolski.amend.pl/>
- <http://www.amphibia.booo.pl/>

54. Budowa wewnętrzna i czynności życiowe płazów

Podobnie jak pokrój ciała, także budowa wewnętrzna płazów ujawnia liczne przystosowania do **wodno-lądowego środowiska** życia. Dzięki nim osobniki dorosłe wielu gatunków doskonale radzą sobie na lądzie, chociaż żyją nawet w miejscach o bardzo niskiej wilgotności. U większości płazów jednak zapłodnienie i rozwój zarodków zachodzą w wodzie. Płazy to pierwsze kręgowce, u których pojawia się **strzemiączko** – kosteczka słuchowa powstała z przekształconej kości gnykowo-żuchwowej. Czaszka płazów musi być jak najlżejsza, na lądzie nie działa bowiem tak pomocna w wodzie siła wyporu. Całkowitej przebudowie ulegają układ oddechowy oraz krwionośny. Podobnie jak ryby, płazy są jednak wciąż zmiennocieplne i nie potrafią regulować temperatury ciała.

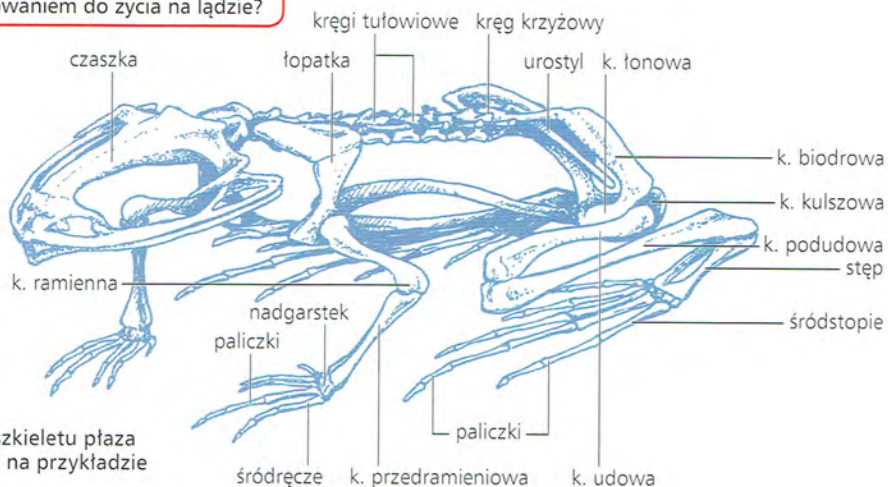
Budowa szkieletu

Szkielet płazów zbudowany jest z płaskiej, ażurowej **czaszki** oraz **kręgosłupa**, z którym za pomocą tak zwanych **pasów** łączą się dwie pary **kończyn** (wyjątek stanowią płazy beznogie). **54.1.1** Czaszka i kręgosłup stanowią część osiową szkieletu. Puszka mózgowa żaby jest niewielka, ażurowa i delikatna. Czaszka składa się z niewielu kości w porównaniu do czaszki ryb. Ruchoma szczeka dolna połączona jest z czaszką za pomocą stawów. Głowa płazów może poruszać się jedynie w płaszczyźnie pionowej, czyli w górę i w dół, co wynika z charakterystycznego połączenia stawowego czaszki z kręgosłupem. W tylnej części czaszki znajdują się **dwa kłykie potyliczne**, które wchodzą w zagłębienie

pierwszego kręgu szyjnego. W czaszce występuje również jedyna kosteczka słuchowa – **strzemiączko**, powstałe z górnej części drugiego łuku skrzelowego. W kręgosłupie wyróżniamy cztery odcinki: **szyjny**, **tułowiowy**, **krzyżowy** oraz **ogonowy**. Pierwszy odcinek – **szyjny** – jest bardzo słabo zaznaczony i składa się tylko z jednego kręgu zwanego **dźwigaczem** (bądź atlasem). Ponieważ łączy się on z dwoma kłykcami potylicznymi czaszki, jest zaopatrzony w dwie panewki stawowe. **Tułowiowy** (piersiowy) odcinek kręgosłupa składa się zwykle z siedmiu kręgów (u traszek może być ich więcej). Odcinek **krzyżowy**, podobnie jak szyjny, składa się z jednego kręgu, za to bardzo wydłużonego,



Jake cechy budowy szkieletu płaza są przystosowaniem do życia na lądzie?



54.1.1 Budowa szkieletu płaza bezogonowego na przykładzie żaby (k. – kość)

natomiast długość odcinka **ogonowego** zależy od przynależności systematycznej. U płazów ogoniastych jest on bardzo długi i zbudowany z kręgów wolnych, a u płazów bezogonowych zrośnięte kręgi tworzą wydłużoną **kość ogonową** (urostyl). W każdym kręgu wyróżniamy trzon i łuki budujące kanał, w którym biegnie rdzeń kręgowy. Kręgi odcinka tułowiowego posiadają dodatkowo dwa wyrostki poprzeczne oraz wyrostek ościsty ustawiony pionowo. U płazów nie występuje klatka piersiowa, choć u niektórych płazów występują żebra. W skład **pasa barkowego**, który łączy szkielet kończyny przedniej ze szkieletem osiowym, wchodzi szerokie, płaskie **łopatki**, **kości krucze** oraz **obojczyki**. Pas barkowy po stronie brzusznej łączy się z **mostkiem**,

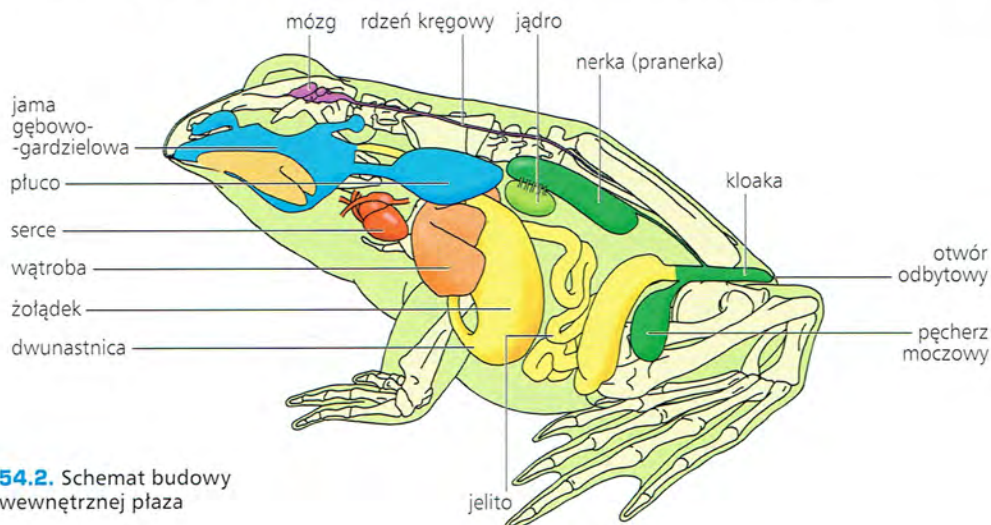
którego rola polega jedynie na ochronie serca i płuc.

Szkielet **kończyny przedniej** zbudowany jest z **kości ramiennej** oraz z **kości przedramienia: łokciowej i promieniowej**. Dłoń tworzą kości nadgarstka, śródręcza oraz palców (czterech, ze względu na redukcję pierwszego palca). **Pas miednicowy** zbudowany jest ze zrośniętych parzystych **kości biodrowych**, **kulszowych** oraz nieparzystych **kości łonowych**. W miejscu ich połączenia tworzy się **panewka stawowa** budująca staw z **kością udową**. Poza nią w skład szkieletu kończyny tylnej wchodzi kości podudzia: **piszczelowa** i **strzałkowa**. W skład stopy wchodzi kości **stępu**, **śródstopia** i **palców** (jest ich pięć).

Układ pokarmowy

Wszystkie dorosłe płazy są drapieżne. Odżywiają się bezkręgowcami (m.in. ślimakami i owadami) oraz młodym narybkiem. Ich układ pokarmowy rozpoczyna się jamą gębowo-gardzielową. **154.2.1** Do kości szczęki i podniebienia przyrośnięte są niewielkie ząbki. Na dnie jamy gębowej leży mięsisty język, którego tylna część jest wyrzucana ku przodowi w celu pochwylenia pokarmu. Wewnątrz jamy gębowo-gardzielowej znajdują się również liczne **gruczoły ślinowe**, których zadaniem jest zwilżanie i zmiękczenie pokarmu. Wstępnie przygotowany pokarm przechodzi przez gardziel i przełyk, aby w końcu trafić do żołądka.

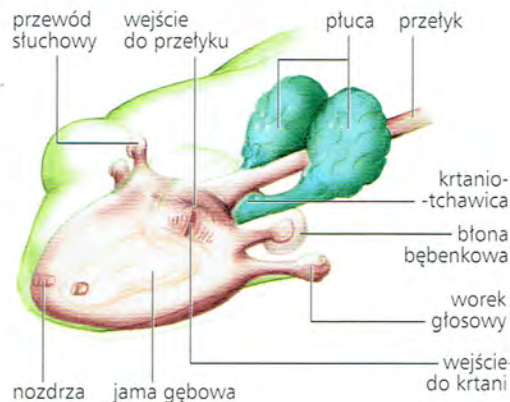
Tutaj, pod wpływem soku żołądkowego, rozpoczyna się właściwy proces trawienia. Nadtrawiona treść pokarmowa trafia następnie do dwunastnicy, gdzie otwierają się przewody trzustkowe i żółciowe. Pierwsze doprowadzają do dwunastnicy sok trzustkowy z enzymami trawiennymi, drugie – żółć. Za dwunastnicą leży **jelito cienkie**, w którym następuje wchłanianie strawionych substancji pokarmowych. Końcowym odcinkiem przewodu pokarmowego jest **jelito proste** zakończone **kłoką** (stekiem). Na jego końcu znajduje się otwór, który stanowi wspólne ujście układu pokarmowego, moczowego oraz płciowego.



54.2. Schemat budowy wewnętrznej płaza

Wymiana gazowa i budowa układu oddechowego

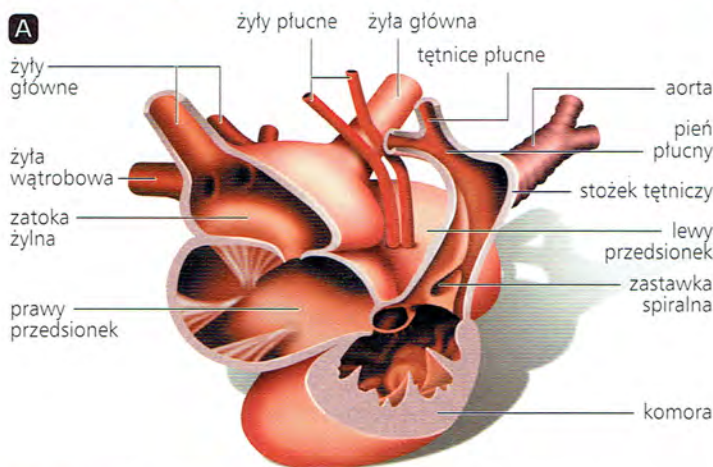
Płazy oddychają płucami. U form prymitywnych (jak odmieniec amerykański) mają one postać dwóch długich worków pokrytych siecią naczyń włosowatych. U form bardziej rozwiniętych (np. u żab czy ropuch) wewnętrzna ich powierzchnia jest mocniej pofałdowana, co w znaczący sposób zwiększa powierzchnię wymiany gazowej. **54.3.1** U płazów nie występuje klatka piersiowa, co powoduje, że pobieranie powietrza jest procesem dość skomplikowanym. U żab powietrze dostaje się przez nozdrza do jamy gębowo-gardzielowej. Elastyczne dno jamy służy jako pompa ssąco-tłocząca. Gdy nozdrza się zamykają, dno jamy podnosi się, pompując powietrze do krótkiej tchawicy i dalej, do płuc. Cały mechanizm funkcjonuje dzięki zastawkom oraz sprawnym mięśniom nozdrzy i gardzieli. Ten system wentylacji płuc nie jest zbyt wydajny, co dodatkowo potęguje brak przepony. Niektó-



54.3. Schemat organizacji układu oddechowego płazów

re gatunki płazów obywają się bez płuc (np. **salamandry bezpłucne**). Wymiana gazowa u tych zwierząt zachodzi w gardzieli oraz całą powierzchnią ciała.

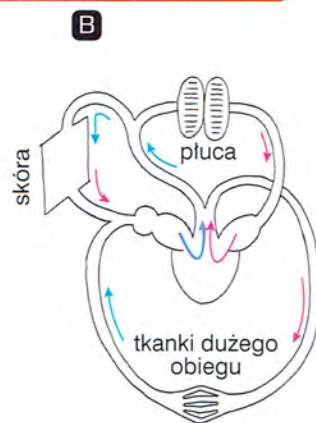
Układ krążenia



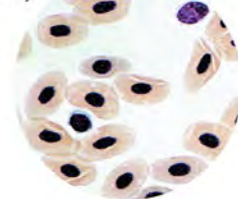
54.4. A) Budowa serca płaza, B) schemat krążenia krwi

Serce kijanek pod względem anatomicznym przypomina serce ryb. Składa się z jednej komory i jednego przedsionka, a natlenowanie krwi w skrzelach zewnętrznych powoduje, że wykształca się tylko jeden obieg krwi (jak u ryb). **54.4.1** Dorosłe płazy w związku ze zmianą środowiska życia mają serce trójdzielné. Składa się ono z **dwóch przedsionków** oraz

? Wyjaśnij rolę krążenia skórnego u płazów.



jądro komórkowe
erycyt



54.5. Jądra komórkowe w erycytach płazów

jednej komory. Dodatkowe elementy to **zato-ka żylna** oraz **stożek tętniczy**, rozgałęziający się na trzy parzyste naczynia: **łuki szyjne** (prowadzące krew do głowy), **łuki płucno-skróne** (prowadzące krew do narządów wymiany gazowej) oraz **łuki aorty (lewy i prawy)**, prowadzące krew do pozostałych narządów i tkanek. Uboga w tlen (czyli odtlenowana) krew z tkanek i narządów gromadzona jest w zatoce żylny i stąd pompowana do prawego przedsionka serca. Krew utlenowana, napływająca z płuc, kierowana jest do przedsionka lewego. Przedsionki pompują krew do wspólnej komory, jednak nie dochodzi tam do jej wymieszania mimo braku nawet szczątkowej przegrody. Dzieje się tak dlatego, że krew odtlenowana (pochodząca z prawego przedsionka) opuszcza komorę pierwszą i przez stożek tętniczy kieruje

się łukami płucno-szyjnymi do płuc i skóry, gdzie zaopatrywana jest w tlen. Krew utlenowana płynie również przez stożek tętniczy, do łuków szyjnych i łuków aorty, zaopatrując w tlen mózg oraz wszystkie pozostałe tkanki i narządy. Stożek tętniczy jest w stanie oddzielić dwa odmienne strumienie krwi dzięki wyspecjalizowanej **zastawce spiralnej**.

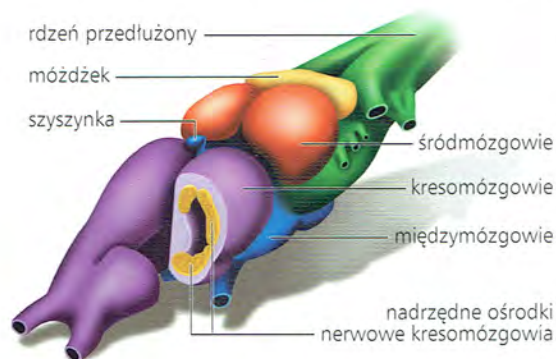
U płazów występują dwa obiegi krwi: duży i mały (zwany również płucnym). Serca płazów ulegają znaczącym modyfikacjom w zależności od sposobu oddychania (np. u salamander bezpłucnych nie ma przegrody między przedsionkami). **Sieć limfatyczna** tworzy u płazów układ otwarty i jest wyposażona w liczne serca limfatyczne. Eryocyty u tej grupy zwierząt posiadają duże jądra, są owalne i stosunkowo duże. **[54.5.1]**

Układ nerwowy

Układ nerwowy płazów tworzy mózg, rdzeń kręgowy oraz po 10 par nerwów czaszkowych i rdzeniowych. Podobnie jak u ryb, **mózg płazów** ma stosunkowo niewielką masę i zbudowany jest z pięciu elementów ułożonych linowo. **[54.6.1]** W jego skład wchodzi wyraźnie widoczne, wydłużone **kresomózgowie** (przodomózgowie) podzielone na dwie półkule, z wyodrębnioną u niektórych gatunków pierwotną **korą mózgową**. Kolejną częścią mózgowia jest niewielkie, ale dobrze widoczne **mięzymózgowie**. U jego podstawy znajdują się **skrzyżowane pasma wzrokowe** oraz **przysadka mózgowa**, a w grzbietowej części – **szyszyn-**

ka. Śródmózgowie płazów (szczególnie bezogonowych) jest najlepiej rozwiniętą częścią mózgowia (podobnie jak u ryb). Służy jako zasadniczy ośrodek kojarzeniowy. **Mózdzek** stanowiący tyłomózgowie jest silnie uwsteczniiony. Wiąże się to zapewne z zanikiem linii nabocznej u dojrzałych form lądowych i ogólnie niewielką ruchliwością płazów. **Rdzeń przedłużony** stanowi najlepiej rozwinięty pęcherzyk mózgowy tych zwierząt.

Najlepiej rozwiniętym narządem zmysłu u płazów jest wzrok. Oczy mają złożoną budowę i są zdolne do akomodacji w wyniku przesuwania soczewki ku przodowi lub tyłowi gałki ocznej. Odbywa się to przy udziale specjalnego mięśnia rzęskowego odpowiadającego za wysuwanie soczewki. Płazy nie posiadają ruchomych powiek. Jedynie dolna część powieki, zwana błoną migawkową, nasuwa się na oko podczas jego wciągania w głąb oczodołu. Dzieje się tak w trakcie połykania pokarmu. Stałe nawilżenie gałek ocznych u form lądowych zapewniają gruczoły łzowe. Narządem słuchu u większości gatunków jest ucho wewnętrzne. Po raz pierwszy pojawia się ucho środkowe, powstające w rozwoju z pierwszej szczeliny skrzelowej. Zawiera ono pojedynczą kosteczkę słuchową – kolumienkę (columella – odpowiednik strzemiączka



54.6. Budowa mózgu płazów

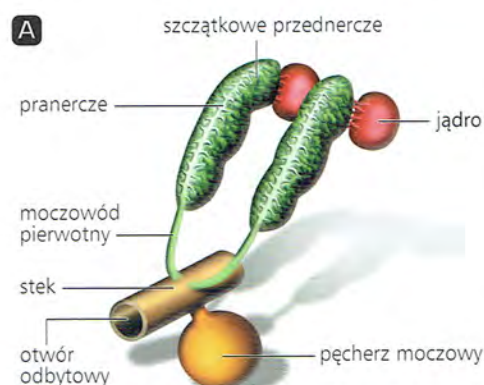
u ssaków) i jest oddzielone od środowiska zewnętrznego błoną bębenkową. W uchu środkowym występuje również pojedynczy kanał zwany trąbką Eustachiusza, który zapewnia utrzymanie równego ciśnienia po obu stronach błony bębenkowej. Kostka słuchowa przylega z jednej strony do błony bębenkowej, a z drugiej wspiera się o okienko owalne ucha wewnętrznego. Fale dźwiękowe powodujące wibrację błony bębenkowej są przenoszone za pośrednictwem

strzemiączka na okienko owalne, co powoduje drgania płynu w przewodach ucha wewnętrznego. Komórki zmysłowe, pobudzone drganiami płynu, powodują powstanie bodźców przekazywanych następnie nerwem słuchowym do wyspecjalizowanych części mózgu. Za odbiór bodźców węchowych (rozpoznawanie zapachu pożywienia) odpowiada u płazów narząd Jacobsona znajdujący się w jamie węchowej.

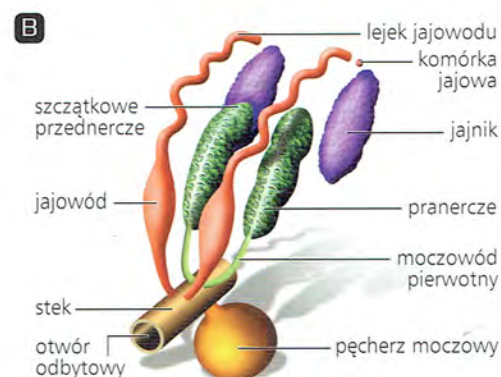
Wydalanie i osmoregulacja

Układ wydalniczy płazów składa się z parzystych wydłużonych **pranerek**. Krew z okolic grzbietu oraz kończyn tylnych wpływa do nerek za pośrednictwem **żył wrotnych nerkowych**. Rozgałęziają się one w nerkach w sieć naczyń włosowatych. Po odfiltrowaniu produktów przemiany materii powstający mocz spływa moczowodami do steku. Moczowody u samców płazów pełnią

również funkcję nasieniowodów. U samic moczowody odpowiadają wyłącznie za wydzielanie moczu. **154.7.1** Mocz będący roztworem mocznika i amoniaku może być czasowo przechowywany przez pęcherz moczowy będący uchyłkiem kloaki. Ponieważ skóra płazów jest narządem bogato unaczynionym, do pewnego stopnia może ona pełnić również funkcje wydalnicze.



54.7. Schemat organizacji układu wydalniczego i rozrodczego płaza bezogonowego: A) – samiec, B) – samica



Rozmnażanie i rozwój

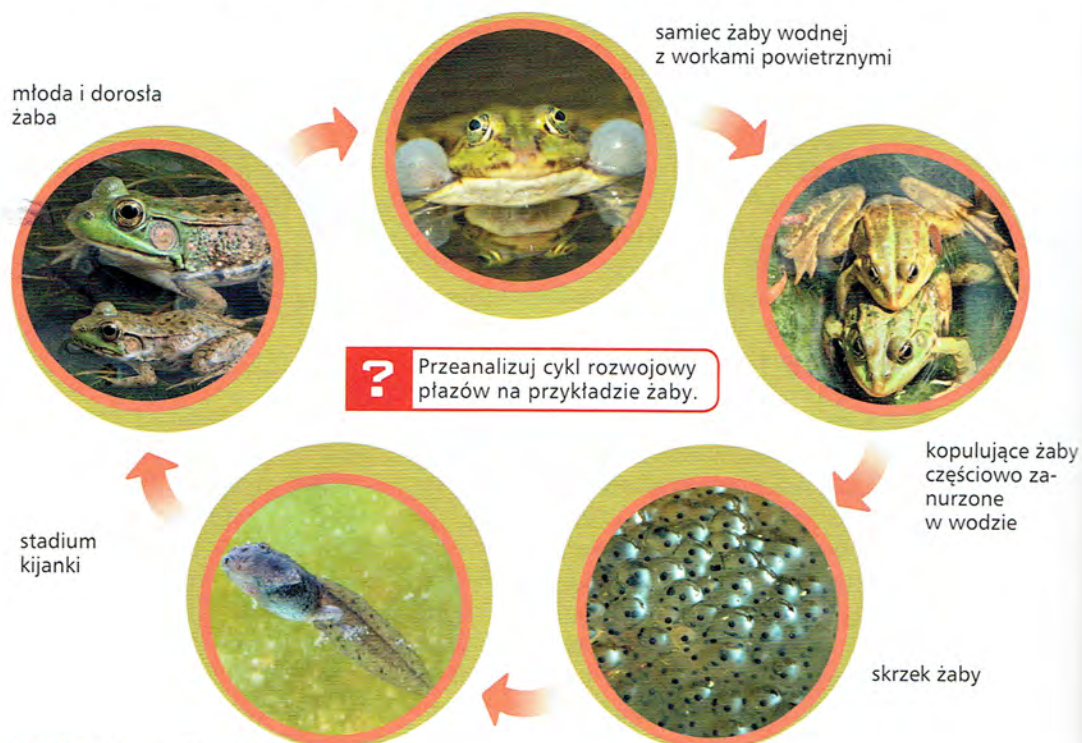
Współcześnie żyjące płazy odbywają skomplikowane gody w środowisku wodnym. U części gatunków widoczny jest **dymorfizm płciowy**. W Polsce dojrzałe płciowo osobniki gromadzą się w zbiornikach wodnych wczesną wiosną. Samce wszystkich płazów bezogonowych w okresie godowym wydają z siebie charakterystyczne dźwięki, co jest skutecznym sposobem wabienia samic. **154.8.1** U płazów bezogonowych (np. u żab) zapłodnienie jest zewnętrzne. Samiec siedzi na grzbiecie samicy i obejmuje ją przedni-

mi kończynami. Pobudza to samicę do złożenia do wody jaj w postaci **skrzeku**. Samiec oblewa jaja spermatą. Skrzek zostaje następnie złożony w płytkiej i łatwo nagrzewającej się wodzie, co przyspiesza rozwój zarodków. Wylęgające się larwy płazów bezogonowych (**kijanki**) nie przypominają w niczym form dorosłych. Początkowo larwy przytwierdzone są do roślin i odżywiają się resztką żółtka obecnego w jajach. Po tym krótkim okresie opuszczają miejsce wylęgu i zaczynają aktywnie żerować. Odżywiają

się wyłącznie pokarmem roślinnym, dopiero po metamorfozie stają się drapieżnikami. Kijanki wykazują szereg przystosowań do środowiska wodnego, takich jak owalny kształt, obecność ogona i brak kończyn. Jako narządy oddechowe służą im **skrzel**a. Ich jelito jest zawinięte, nie mają żołądka. Serce kijanek zbudowane jest z jednej komory i jednego przedsionka (podobnie jak u ryb). Występują u nich przednercza, zaopatrzone w orzęsione lejki skierowane do jamy ciała. Za przeobrażenie kijanki w postać dorosłą odpowiada tyroksyna produkowana przez tarczycę. Pod jej wpływem dochodzi do całkowitej przebudowy tkanek i narządów. Jedną z diametralnych zmian jest wykształcenie płuc powstających z uchyłki gardzieli. Rekonstrukcji ulega również budowa serca, powstają dwa obiegi krwi. Jelito ulega znacznemu skróceniu (w związku ze zmianą podstawowego źródła pokarmu z roślinnego na zwierzęcy). Za usuwanie z krwi azotowych produktów przemiany materii odpowiadają prątki. Ogon ulega zanikowi (resorpcji). U kijanek płazów bezogonowych jako pierwsze wykształcają się kończyny tylne. Okres rozwoju larwalnego u żab trwa

kilka miesięcy, a dojrzałość płciową żaby osiąga dopiero po trzech latach. Młode osobniki po metamorfozie rozpoczynają życie na lądzie.

U płazów ogoniastych (np. rodzime traszki) samce nie wydają dźwięków godowych, ale wykonują rytualny taniec. Po złożeniu spermy w wybranym przez siebie miejscu samiec, wykonując taniec godowy, naprowadza na nie samicę. Ta za pomocą steku wciąga spermę do wnętrza dróg rodnych. Dochodzi do zapłodnienia wewnętrznego. Samica po jakimś czasie składa pojedyncze, zapłodnione jaja do wody. U płazów beznogich i ogoniastych formy larwalne przypominają formy dorosłe. Skrzela zewnętrzne występują tylko u larw płazów ogoniastych, a skrzela wewnętrzne – u kijanek płazów beznogich. U płazów ogoniastych, jako pierwsze wykształcają się kończyny przednie, u beznogich – tylne. U licznych gatunków salamander (np. u rodzimej **salamandry plamistej**) zapłodnione jaja rozwijają się w drogach rodnych samicy, która rodzi żywe kijanki bezpośrednio do wody. Dzięki takiemu przystosowaniu salamandry zmniejszają niebezpieczeństwo utraty jaj i młodych.



54.8. Cykl rozwojowy żaby

:: Ciekawostka

U niektórych gatunków płazów obserwuje się różne przystosowania mające na celu zwiększenie szansy potomstwa na przeżycie. Przykładem jest *Hyalinobatrachium valerioi* składająca skrzek po spodniej stronie liści wodnych i pieczołowicie się nim opiekująca.

Z kolei potomstwo grzbietoroda amerykańskiego (*Pipa pipa*) całkowity rozwój i przeobrażenie przechodzi na grzbiecie samicy. Przyklejone do niego jaja po zapłodnieniu zewnętrznym zagnieżdżają się w specjalnych kieszeniach łęgowych. Przeobrażenie zachodzi w jajach, z których kijanki wydostają się dopiero po kilku tygodniach. Po uwolnieniu młodych żabek samica zrzuca wylinkę wraz z pozostałościami kieszeni łęgowych.



Hyalinobatrachium valerioi



Samica grzbietoroda amerykańskiego (*Pipa pipa*)

PODSUMOWANIE

- Kręgosłup płazów dzieli się na 4 odcinki: szyjny, tułowiowy, krzyżowy oraz ogonowy.
- U płazów bezogonowych pojawia się pierwsza kosteczka słuchowa – kolumienka.
- W układzie krwionośnym płazów występują dwa przedsionki i jedna komora. Są obecne również dwa obiegi krwi.
- Mózg płazów składa się z pięciu odcinków ułożonych liniowo. Są to: kresomózgowie, międzymózgowie, śródmózgowie, mózdzek i rdzeń przedłużony.
- Oko płazów posiada zdolność akomodacji.
- Narządem słuchu płazów jest ucho wewnętrzne.
- Narządami wymiany gazowej większości płazów są workowate płuca.
- Układ wydalniczy jest tworzony przez parę wydłużonych pranerek.
- W trakcie godów samce płazów bezogonowych wydają charakterystyczne dźwięki, używając do tego celu błoniastych rezonatorów zwanych workami głosowymi.
- U płazów bezogonowych zapłodnienie jest zewnętrzne. Jaja w postaci skrzeku samica składa w ciepłej płytkiej wodzie, a następnie samiec polewa je spermą. Wylęgające się z tych jaj larwy to kijanki.
- U płazów ogoniastych (jak np. traszki, salamandry) zapłodnienie jest wewnętrzne, a postaci larwalne są podobne do dorosłych.

ZADANIA

1. Określ zakres ruchów, jakie może wykonywać głowa płazów. W jaki sposób wiąże się to z liczbą kłykci potylicznych łączących kręgosłup z czaszką u tych zwierząt?
2. Oceń znaczenie zmian, jakie zaszły w budowie serca płazów (w porównaniu z rybami). Jaką rolę odgrywa pojawianie się u płazów dwóch obiegu krwi?
3. W której części mózgu płazów znajdują się szyszynka i przysadka mózgowa?
4. Porównaj anatomiczne, morfologiczne oraz fizjologiczne przystosowania płazów do życia w środowisku lądowym i wodnym.
5. Wykaż związek między budową skóry płaza a jej przystosowaniem do wymiany gazowej.
6. Opisz strategie stosowane przez płazy mające na celu zwiększenie przeżywalności wśród potomstwa. Oceń rolę tych działań dla adaptacji płazów do życia na lądzie.
7. Określ, która para kończyn pojawia się jako pierwsza w rozwoju larw płazów ogoniastych.

55. Przegląd systematyczny i znaczenie płazów

Płazy (*Amphibia*) to najmniej liczna gromada kręgowców. Choć ich tryb życia pozostaje ściśle związany ze środowiskiem wodnym, to możemy uznać je za pierwsze kręgowce, które na stałe zamieszkały na lądzie. Gromada płazów dzieli się na trzy podstawowe rzędy: **płazy ogoniaste** (*Caudata*, inaczej *Urodela*), **płazy bezogonowe** (*Anura*) oraz **płazy beznogie** (*Apoda*, inaczej *Gymnophiona*).

Płazy bezogonowe (*Anura*)

Płazy bezogonowe mają krępe, masywne ciało, w którym brak wyodrębnionej szyi i ogona. Ich przednie kończyny są zdecydowanie krótsze niż mocno umięśnione kończyny tylne, przystosowane do skakania (na lądzie) oraz pływania (w wodzie). Grupa ta jest związana ze środowiskiem wodnym głównie w okresie rozrodu. Znamy ponad 3500 gatunków płazów bezogonowych, co oznacza, że stanowią one trzon ilościowy gromady *Amphibia*.

Kumak nizinny **155.1.1** (osiągający długość do 5,5 cm) występuje w większych zbiornikach wodnych i stawach, spędza w nich znaczną część życia. Zimuje zagrzebany w ziemi. Charakteryzuje się kryptycznym ubarwieniem grzbietu i ostrzegawczym ubarwieniem spodu ciała. Jego brzuch jest ciemnognatowy, z pomarańczowymi, czerwonymi bądź żółtymi plamami. Kumaki nizinne występują od Danii po południowe regiony Morza Czarnego, a na wschodzie aż po Ural. W Polsce nie spotyka się ich powyżej 250 m n.p.m. Zdarza się, że zasięgi kumaka nizinnego i górskiego stykają się i powstają mieszańce. Kumak nizinny jest gatunkiem wymierającym, pod ochroną.

Kumak górski **155.2.1** (o długości do 5,5 cm) to gatunek blisko spokrewniony z kumakiem

nizinny, różniący się od niego żółtymi zakończeniami palców i większą ilością żółtych plam na brzuchu. Jego grzbiet jest koloru jasnobrażowego, brązowego bądź zielonkawego. Płaz ten występuje w różnych zbiornikach wodnych, ale znaczną część życia spędza na lądzie. Spotyka się go od Francji poprzez południową część Europy Środkowej aż do Półwyspu Apenińskiego i Sycylii. W Polsce występuje w Karpatach i na Pogórzu Karpackim.

Grzebiuszka ziemna **155.3.1** występuje w Europie od Paryża po Ural (w tym w Polsce). Spotyka się ją na terenach nizinnych (głównie otwartych, ale również w lasach sosnowych). Preferuje gleby piaszczyste, unika natomiast wilgotnych łąk i terenów skalistych. Jest to gatunek wiodący nocny tryb życia. Samica jest większa (dorasta do 7 cm długości). Zarówno samice, jak i samce mają model piętowy u nasady pierwszego palca tylnej nogi. Służy on do sprawnego zagrzebywania się w ziemi. Grzebiuszka zimuje w norkach sięgających jednego metra głębokości. Jest uważana za gatunek pożyteczny, ponieważ zjada szkodniki owadzie, zwłaszcza stonkę ziemniaczaną.



155.1. Kumak nizinny (*Bombina orientalis*)



155.2. Kumak górski (*Bombina orientalis*)



155.3. Grzebiuszka ziemna (*Pelobates fuscus*)



55.4. Żaba wodna
(*Rana esculenta*)



55.5. Żaba śmieszka
(*Rana ridibunda*)



55.6. Ropucha szara
(*Bufo bufo*)

Żaba wodna 55.4.1 to jeden z najpopularniejszych polskich płazów, mieszańiec żaby jeziorkowej i żaby śmieszki. Spotyka się ją w Europie Środkowej tam, gdzie stykają się zasięgi obu gatunków. Samice żaby wodnej są większe (o długości do 10 cm), a samce smuklejsze (osiągają do 8,5 cm). Samce posiadają rezonatory i modzele godowe na przednich kończynach. Żaba wodna to płaz aktywny za dnia, żarłoczny i bardzo ruchliwy.

Żaba śmieszka 55.5.1 jest największym płazem europejskim (samice, większe, mają do 11 cm długości, a drobniejsze samce do 10,5 cm). Wzdłuż linii środkowej ciemnozielonego bądź ciemno-oliwkowego grzbietu z czarnymi plamami biegnie jasny pasek. Żaba śmieszka charakteryzuje się bardzo długimi nogami. Występuje w środkowej i południowo-wschodniej Europie (w tym w całej Polsce), a także w północnej Afryce i zachodniej części Azji. Zamieszkuje duże zbiorniki wodne,

głównie jeziora i rzeki. Odżywia się bezkręgowcami oraz małymi rybami, jaszczurkami, ptakami, ale i drobnymi ssakami. Zimuje zazwyczaj w mule na dnie rzek. Jest wykorzystywana jako zwierzę doświadczalne.

Ropucha szara 55.6.1 to największa ropucha żyjąca w Polsce. Występuje w całym kraju, w Tatrach można ją spotkać do piętra kosodrzewiny. Obecna niemal w całej Europie. Samce są smukłe (o długości do 8 cm), a samice większe (mierzą ok. 10 cm). Ropucha szara charakteryzuje się krępy, masywnym ciałem o skórze pokrytej dużymi brodawkami. Grzbiet jest koloru brązowego bądź miedzianego z ciemniejszymi plamkami, brzuch ma zazwyczaj jaśniejszą, brudnoszarą barwę. Dorosłe formy pędzą lądowy, nocny tryb życia. Uważane są za zwierzęta pożyteczne, gdyż tępią szkodniki owadzie i ślimaki. Zimują w ziemi.

Płazy ogoniaste (*Caudata*, inaczej *Urodela*)

Jest to najbardziej pierwotna grupa kręgowców lądowych. W rzędzie tym wyróżniamy ponad 400 gatunków, których przedstawiciele mają dobrze wykształcony ogon i krótkie kończyny. Jedynie u dwóch rodzin (**amfiumy** i **syrenowate**) są one zredukowane. Na lądzie ruchy płazów ogoniastych są powolne i niezgrabne, przypominają boczne, węzłowate wygięcia ciała charakterystyczne dla zwierząt wodnych. U większości występuje zapłodnienie wewnętrzne. Na ogół są jajożyworodne, rzadziej żyworodne.

Ciekawym przykładem płaza ogoniastego jest **salamandra olbrzymia 55.7.1** będąca największym współcześnie żyjącym płazem. Zamieszkuje Japonię i Chiny. Osiąga długość 1,5 m i wagę 65 kg.



55.7. Salamandra olbrzymia
(*Andrias davidianus*)



55.8. Salamandra plamista (*Salamandra salamandra*)



55.9. Traszka zwyczajna (*Lissotriton vulgaris*)



55.10. Odmieniec jaskiniowy (*Proteus anguinus*)



55.11. Ambystoma meksykańskie (*Ambystoma mexicanum*)

Do rodzimych płazów ogoniastych należą **traszki** oraz **salamandra plamista**. **55.8.1** Charakteryzuje się ona żółtymi lub pomarańczowymi plamami na czarnym grzbiecie. Alkaloid zawarty w jej skórze (tzw. **salamandaryna**) stanowi bardzo silny jad, który w razie niebezpieczeństwa jest wystrzykiwany na odległość nawet 2 metrów. Ten jajożyworodny płaz (osiągający długość do 28 cm) jest aktywny nocą. Żywi się głównie ślimakami i dżdżownicami. Zamieszkuje tereny góryste (w Polsce – Karpaty i Sudety). Gatunek objęty ochroną.

Traszka zwyczajna **55.9.1** jest niewielkim płazem (do 10 cm długości) o smukłym ciele. Jej ogon osiąga długość podobną do długości tułowia. W czasie godów wzdłuż całego ciała samca obserwuje się szeroki grzebień. Te żyjące na lądzie płazy są trudne do zaobserwowania ze względu na nocny tryb życia.

Ciekawym przykładem płaza ogoniastego jest **odmieniec jaskiniowy**. **55.10.1** Ma silnie wydłużone ciało (mierzące do 30 cm) o niewielkich kończynach i bocznie spłaszczonym ogonie. Jego szczątkowe oczy są przykryte fałdem skórny. Odmieniec żyje w podziemnych wodach płynących lub stojących. W naturze można go spotkać w północno-wschodniej części Włoch, na Słowenii, Chorwacji oraz przy wschodniej granicy Bośni i Hercegowiny. **Aksolotle** (ambystomy meksykańskie **55.11.1**) żyjące w Meksyku są przykładem gatunku neotenicznego. Oznacza to, że dojrzałość płciową osiągają formy młodociane.

Płazy beznogie (*Apoda*, inaczej *Gymnophiona*)

Rząd ten obejmuje około 160 gatunków. Ich cechy charakterystyczne to: długie, beznogie, dżdżownicopodobne ciało, brak obręczy miednicowej, dwuwklęsłe kręgi. **55.12.1** Niektóre gatunki mogą mieć łuski w skórze. Ogon, jeśli w ogóle występuje, jest bardzo krótki. Większość płazów beznogich prowadzi skryty tryb życia, kopiąc korytarze. Część żyje w wodzie. Ich oczy są zredukowane do dwóch plamek zlokalizowanych na zewnątrz

bądź pod skórą. U niektórych gatunków oczy mogą w ogóle nie występować. Zapłodnienie jest zewnętrzne, chociaż samce mają narząd kopulacyjny. Część gatunków jest żyworodna, pozostałe są jajorodne. U tych ostatnich występuje rozwój bezpośredni bez stadium larwalnego lub pośredni, w którym pojawia się larwa. W Polsce nie spotykamy płazów beznogich. Żyją w lasach tropikalnych Azji, Afryki i Ameryki Południowej.



55.12. Marszczelec pierścieniowy (*Siphonops annulatus*)

Znaczenie płazów

Płazy odgrywają dużą rolę w ekosystemach, stanowiąc (zarówno jako ofiary, jak i drapieżniki) element łańcucha pokarmowego. W ten sposób (np. żywiąc się owadami niedostępnymi dla innych kręgowców) utrzymują równowagę w przyrodzie. Ich wyginięcie jest jednoznaczne z zachwianiem tej równowagi. W Polsce wszystkie gatunki płazów podlegają ochronie prawnej. Eliminując szkodniki, takie jak stonka czy ślimaki, wpływają korzystnie na efektywność upraw. Zmniejszają też ryzyko rozprzestrzeniania się chorób groźnych dla człowieka, polując na owady będące ich wektorami (np. na komary roznoszące malarię). Substancje o charakterze

:: Ciekawostka

Liczba płazów na świecie stale maleje (dotyczy to m.in. uprzemysłowionych krajów Europy). Za ten stan rzeczy z pewnością odpowiada nadmierne promieniowanie UVB (dziura ozonowa), ocieplenie klimatu, wysuszenie środowisk czy infekcje (np. wirusowe). Nie poznano jednak wszystkich przyczyn tego, że liczne gatunki płazów wyginęły lub są zagrożone rychłym wyginięciem. Przykładem jest *Bufo periglenes* zamieszkujący niegdyś Kostarykę. Od 1990 roku nie widziano tam ani jednego osobnika tego gatunku.

bakterio-, wiruso- i grzybobójczym izolowane ze skóry płazów są cennym substratem do produkcji leków (np. przeciwko AIDS). Ponieważ płazy pochłaniają przez cienką skórę szkodliwe substancje z otoczenia, służą jako wskaźnik zanieczyszczenia środowiska (stany chorobowe występujące u płazów sygnalizują, że w przyrodzie dzieje się coś nieprawidłowego). Płazy mogą również wpływać niekorzystnie na gospodarkę człowieka (np. zjadając narybek w hodowlanych stawach rybnych). Indianie z dorzecza Amazonki wykorzystują neurotoksykzną substancję pozyskiwaną ze skóry gatunków płazów z podrodziny *Dendrobatidae* do zatruwania strzał.

PODSUMOWANIE

- Płazy bezogonowe stanowią największą grupę płazów (ok. 3500 gatunków). Zalicza się do nich żaby, ropuchy, kumaki.
- Największym żyjącym płazem świata jest salamandra olbrzymia (*Andrias davidianus*). Mierzy 1,5 metra, a waży 65 kilogramów.
- Wśród płazów ogoniastych spotykamy również gatunki neoteniczne, czyli takie, które mogą rozmnażać się w postaci larwalnej (aksolotl meksykański).
- Najmniejszą liczebnie grupą płazów są płazy beznogie (w Polsce nie występują). Przykładem jest żyjący w glebie marszczelec.

ZADANIA

1. Wyjaśnij, na czym polega zjawisko neotenui. Oceń jego znaczenie dla płazów.
2. Na podstawie własnej wiedzy i dostępnych źródeł informacji opracuj prosty klucz dychotomiczny pozwalający oznaczyć gatunki płazów występujących w Polsce.
3. Oceń słuszność działań mających na celu ochronę gatunkową płazów, ich siedlisk oraz szlaków migracji do miejsc rozrodu.

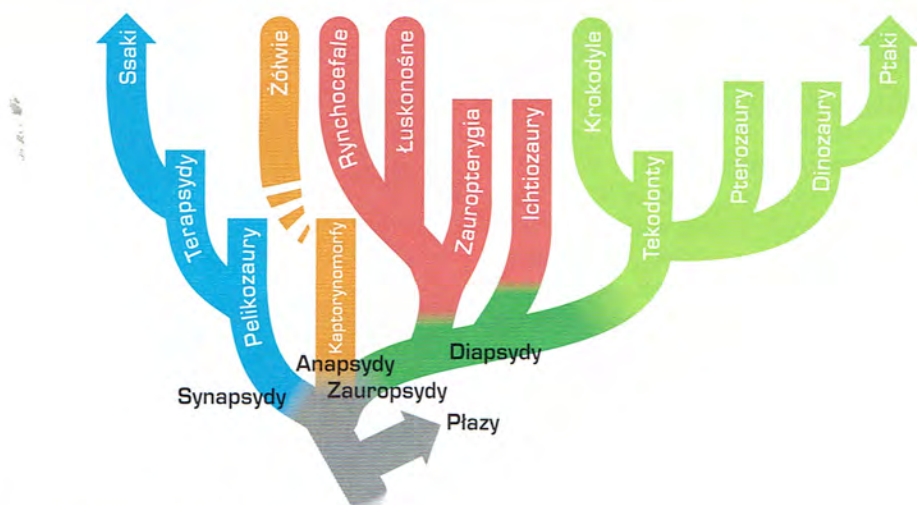
BIBLIOGRAFIA

Mazgajska J., *Płazy Świata*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2009.



56. Filogeneza i budowa zewnętrzna gadów

Gady (*Reptilia*) to pod względem filogenetycznym pierwsza typowo lądowa gromada kręgowców. Współcześnie obejmuje ona cztery rzędy zwierząt. Wśród nich opisano 63 rodziny i blisko 9300 gatunków.



Filogeneza gadów

Filogenetycznie gady wywodzą się od płazów, niezwykle trudno jednak znaleźć niepodważalne dowody na istnienie formy przejściowej między tymi grupami zwierząt. Do niedawna za formę taką bezsprzecznie uznawana była **sejmuria** pochodząca z końca **karbonu** i początków **permu** (ok. 280 mln lat temu). **156.1.1** Charakteryzowały ją dwie cechy typowe dla gadów: pazury na końcach palców oraz jeden kłykiec potyliczny łączący czaszkę z kręgosłupem. Do płazów upodabniała ją budowa czaszki

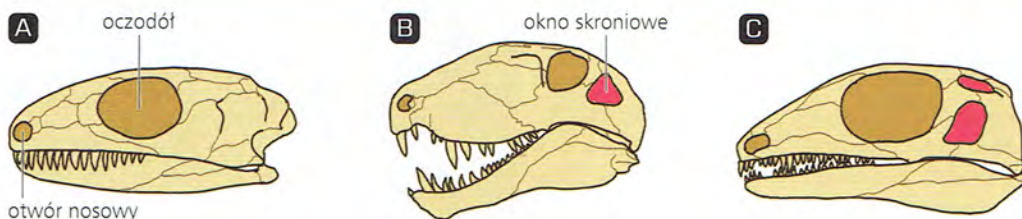
oraz fakt, że należała do bezowodniowców (odnaleziono skamieniałe kijanki sejmurii). W ostatnich latach odkryto pochodzące z karbonu, czyli starsze od najstarszych skamieniałości sejmurii, formy kopalnych gadów. Najważniejsza z nich to **Hylo-**
nomus mający wszystkie cechy typowo gadzie. **156.2.1** Istniał on wcześniej (o ok. 35 mln lat) niż prymitywniejsza w budowie sejmuria, która nie mogła być w takim razie jego przodkiem (choć nadal pozostaje ciekawym przykładem organizmu



156.1. Sejmuria (*Seymouria* sp.) – forma uznawana za przejściową wykazująca cechy płazów i gadów



156.2. Hylonomus sp. – najstarszy znany przedstawiciel owodniowców



56.3. Czaszki gadów: A) anapsydowa, B) synapsydowa, C) diapsydowa



Przenalizuj etapy ewolucji czaszek gadów.

łąącego cechy dwóch ważnych grup kręgowców). *Hylonomus* był pierwszym odnalezionym przedstawicielem typowych owodniowców. Zwierzęta te znosiły bogate w żółtko jaja, otoczone wapienną skorupką (pierwsze jaja z taką skorupką znaleziono w osadach pochodzących z **permu**). Zarodek mógł rozwijać się w nich na lądzie bez obawy o wysychanie. W porównaniu z płazami pierwsze owodniowce miały o wiele bardziej skostniały szkielet, odcinek szyjny był znacznie dłuższy (liczył co najmniej trzy kręgi), a kręgosłup łączył się z miednicą za pomocą dwóch kręgów krzyżowych.

Owodniowce pochodzące z karbonu rozdzieliły się na: **synapsydy** (obejmujące wymarłe gady ssakokształtne i wywodzące się z nich ssaki) oraz **zauropsydy** (obejmujące prymitywne, kopalne owodniowce oraz ptaki i gady współczesne). Grupy te różniły się budową czaszki. Na podstawie różnic anatomicznych wyodrębniono **czaszkę anapsydową**, **synapsydową** oraz **diapsydową**. **56.3.1** Czaszka anapsydowa cechuje się najbardziej pierwotną budową. Są w niej obecne parzyste otwory oczne i nosowe, otwór potyliczny oraz otwór oka ciemieniowego. Taki typ czaszki był obecny u prymitywnych synapsydów, zachował się także u żyjących współcześnie żółwi (należących do zauropsydów). W toku ewolucji w czaszce pojawiły się dodatkowe otwory (tzw. **okna skroniowe**) będące miejscem przyczepu mięśni szczęk. Czaszka zawierająca jedną parę okien skroniowych nazywana jest **synapsydową**, a postać z dwiema parami otworów to czaszka **diapsydowa** występująca u typowych zauropsydów.

Przez długi czas synapsydy (pelikozaurowie oraz ich następcy – terapsydy), cechujące się synapsydową budową czaszki panowały w erze paleozoicznej. W wyniku ekspansji zauropsydów w erze mezozoicznej rozwinęły się wszystkie współcze-

sne grupy gadów. Najbardziej prymitywne są znane od późnego triasu i żyjące do dziś żółwie. Ich ekspansja objęła nie tylko ląd, lecz także (wówczas) środowisko wodne (żółwie morskie i słodkowodne). Ewolucyjnie bardziej zaawansowane od żółwi były zauropsydy cechujące się diapsydową budową czaszki (posiadającą dwie pary okien skroniowych). Należały do nich żyworodne, rybokształne **ichtiozaury** zamieszkujące morza i oceany. Kolejną grupę stanowiły **gady naczelné**, do których zaliczamy **tekodonty** (dały one początek **krokodylom**), **dinozaurom** (które dały początek **ptakom**) oraz latającym gadom – **pterozaurom**, które jako jedyne kręgowce opanowały w owym czasie zdolność do lotu. Odrębną linię rozwojową stanowiły **łuskonośne** (żyjące współcześnie **jaszczurki** i **węże**).

:: Ciekawostka

Należące do zauropsydów **dinozaury** niepodzielnie panowały na naszej planecie w erze mezozoicznej. Jak potwierdzają badania, ich ewolucyjnymi następcami są współczesne ptaki. **Nadrząd Dinosauria** obejmuje kilkaset kopalnych gatunków, opisywanych przez paleontologów począwszy od XIX wieku. Ze względu na budowę anatomiczną wyodrębniono dwa rzędy dinozaurów: **gadziomiedniczne** (*Saurischia*) i **ptasiomiedniczne** (*Ornithischia*). Dinozaury żyjące na lądzie należały do największych zwierząt lądowych wszech czasów. Przedstawiciele gadziomiednicowych **zauropodów**, jak **sejsmozaur** (*Seismosaurus hallorum*) czy **amficelias** (*Amphicoelias fragillimus*), prawdopodobnie osiągały od 40 do 60 metrów długości i masę około 120 ton! Pod koniec kredy (ok. 65 mln lat temu) wielkie wymieranie zakończyło panowanie dinozaurów na wszystkich kontynentach.

Budowa ciała gadów

Pokrojem ciała gady przypominają płazy ogoniaste, co w największym stopniu widać u jaszczurek i krokodyli. Nawet u nich jednak nastąpiły znaczące modyfikacje sylwetki. Krokodyle mają wydłużoną głowę, natomiast u węży doszło do zaniku kończyn wraz z dużą częścią kości obręczy barkowej i miednicznej. W porównaniu z płazami u jaszczurek i węży nastąpiło znaczące zwiększenie liczby kręgów (nawet do ponad 400!), co przyczyniło się do wydłużenia ciała. Z kolei u żółwi można zauważyć tendencję odwrotną, polegającą na maksymalnym skróceniu ciała z jednoczesnym jego usztywnieniem przez kostno-rogowy pancerz. Pięciopalczaste kończyny gadów rozstawione są na boki (podobnie jak u płazów). Poruszają się, w czym pomagają im boczne wygięcia ciała. Gady używają czterech kończyn (wyjątek stanowi południowoamerykański bazyliszek potrafiący w wyjątkowych sytuacjach biegać po wodzie za pomocą tylnych odnóży). **156.4.1**

U jaszczurek często występuje zjawisko tak zwanej autotomii ogona. Polega ono na odrzuceniu w razie zagrożenia tej części ciała, co następuje w wyniku skurczu pewnych grup mięśni. Automatyczne skurcze mięśni oderwanego ogona powodują, że wiję się on przez jakiś czas. W większości wypadków skutecznie odwraca to uwagę napastnika i pozwala na ucieczkę. Strategia ta jest opłacalna, po pewnym czasie bowiem ogon ulega



56.4. Bazyliszek płatkogłowy (*Basiliscus plumifrons*)

częściowej regeneracji. Wiele gatunków gadów cechuje jaskrawe ubarwienie, co zawdzięcza komórkom pigmentowym w głębszej warstwie naskórka. Barwy często pełnią rolę kamuflażu. U samców wielu gatunków gadów (głównie jaszczurek) w okresie godowym niektóre partie ciała przybierają jaskrawe zabarwienie, co ma zwiększyć atrakcyjność. Charakterystyczną cechą gadów (z wyjątkiem krokodyli i żółwi) jest również linienie, czyli okresowe zrzucanie naskórka kontrolowane przez hormony przysadki mózgowej i tarczycy. Nie jest to jednak proces homologiczny do linienia stawonogów.

Skóra gadów, w przeciwieństwie do stale wilgotnej skóry płazów, nie zawiera gruczołów, jest sucha i zazwyczaj pokryta rogowymi tarczami bądź łuskami. Pod nimi u wielu gatunków znajdują się dodatkowe **osteoderm**y, czyli płyty kostne. Taka budowa skóry zabezpiecza organizm przed utratą wody, jednocześnie uniemożliwiając wymianę gazową. Uniezależnienie od wody jest szczególnie zaznaczone w rozwoju zarodkowym gadów.

PODSUMOWANIE

- Skamieniałości pierwszych jaj pokrytych wapienną skorupą odnaleziono w osadach z permu.
- Gatunkiem łączącym cechy płazie i gadzie jest sejmuria.
- Prawdopodobnie starszy ewolucyjnie od sejmurii jest wykazujący cechy typowo gadzie, pochodzący z karbonu *Hylonomus*.
- Wczesne owodniowce uległy rozdzieleniu na synapsydy i zauropsydy.
- W zależności od stopnia ewolucyjnego rozwoju u gadów wyróżniono trzy typy czaszki: anapsydową, synapsydową oraz diapsydową.
- Skóra gadów jest sucha, pozbawiona gruczołów i pokryta rogowymi tarczami bądź łuskami.

ZADANIA

1. Określ, w którym typie czaszki gadziej występuje jedna para dołów skroniowych.
2. Wyjaśnij, jakie znaczenie adaptacyjne do życia w środowisku lądowym ma dla gadów sucha skóra pokryta rogowymi tarczami.

BIBLIOGRAFIA

Węże i inne gady, oprac. zbiorowe, Świat Książki, Warszawa 2011.

57. Budowa wewnętrzna i czynności życiowe gadów

Zarówno budowa wewnętrzna, jak i czynności życiowe gadów świadczą o ich pełnej adaptacji do **środowiska lądowego**. W przeciwieństwie do płazów, które na okres rozrodu musiały powracać do wody, u gadów wszystkie procesy życiowe i etapy rozwoju mogą odbywać się poza środowiskiem wodnym. Niektóre z nich (m.in. żółwie morskie i krokodyle) przystosowały się wtórnie do życia w wodzie, jednak zawsze na czas składania jaj wychodzą na ląd.

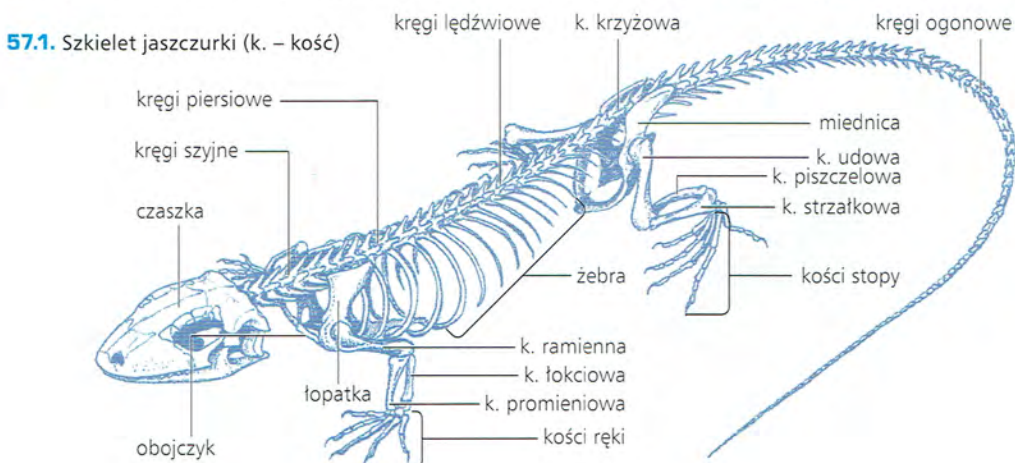
Budowa szkieletu

Budowę układu kostnego gadów możemy prześledzić na przykładzie jaszczurki. **57.1.1** Jej ciało jest wysmukłe, składa się z głowy, zaznaczonej wyraźnie szyi, tułowia, długiego ogona oraz dwóch par kończyn pięciopalczastych i zakończonych pazurami. **Czaszka** jaszczurki jest, w porównaniu do czaszki płazów, wyższa i węższa. Z kręgosłupem łączy ją jeden kłykiec potyliczny. Pierwszy kręgi (**dźwigacz**) ma charakter pierścienia swobodnie obracającego się wokół wyrostka następnego kręgu (tzw. **obrotnika**), na który jest wsunięty. Dzięki temu głowa gadów zachowuje dużą ruchliwość, co umożliwia lepszą penetrację środowiska.

W **kręgosłupie** gadów wyróżniamy cztery odcinki. Pierwszy składa się z 8 kręgów szyjnych. Kolejny to odcinek piersiowo-lędźwiowy złożony z 22 kręgów, z którymi połączone są żebra. Dalej znajduje się odcinek krzyżowy zbudowany zaledwie z 2 kręgów. Ostatni jest odcinek ogonowy z liczbą kręgów dochodzącą do

kilkudziesięciu. Tylko pierwszych pięć par żebier łączy się z mostkiem (niewystępującym u żółwi i węży). Powstaje w ten sposób elastyczna klatka piersiowa ochraniająca płuca. Jest ona bardzo ważną cechą anatomiczną wspomagającą i udoskonalającą proces oddychania. U węży, które mostka nie posiadają, żebra mogą wykazywać się znaczną ruchomością i poza ruchami oddechowymi ułatwiać również pętlanie.

W skład **pasu barkowego** wchodzi łopatki, kości krucze i obojczyki połączone z mostkiem. Kończyna przednia składa się z kości ramiennej oraz kości przedramienia, śródręcza i palców. Kości przedramienia (łokciowa i promieniowa) nie są ze sobą zrośnięte. Z kolei **pas miednicowy** zbudowany jest z parzystych kości biodrowych, kulszowych i łonowych. Do kości kończyny tylnej należy kość udowa, kości podudzia, stępu i śródstopia. Kości podudzia (goleniowa i strzałkowa) nie są zrośnięte. Kości obu pasów są silnie rozwinięte.



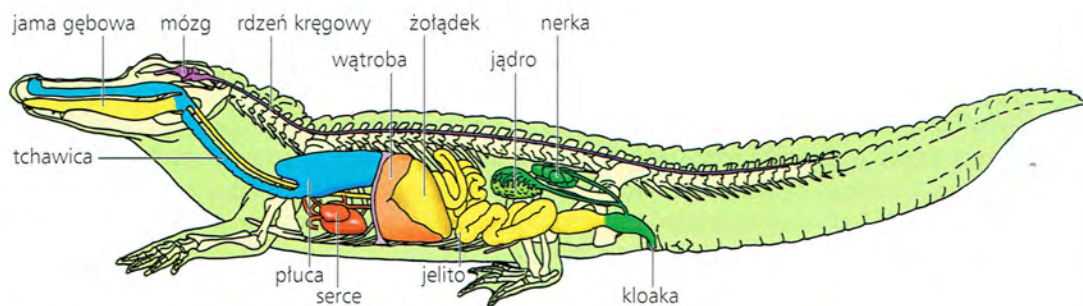
❖ Ciekawostka

U dużej części gadów szczęka górna jest na stałe zrośnięta z puszką mózgową (to tzw. **czaszka akinetyczna**). Pewne gatunki (np. niektóre węże) cechuje jednak ruchomość szczęki górnej w stosunku do mózgowcaszki (to tzw. **czaszka kinetyczna**). Przykładem może być jajożer, który potrafi połknąć jajo ptasie znacznie większe od jego głowy. Po połknięciu skorupka przebijana jest przez wyrostki kręgów odcinka szyjnego i piersiowego.



Jajożer (*Dasypeltis scabra*)

Układ pokarmowy

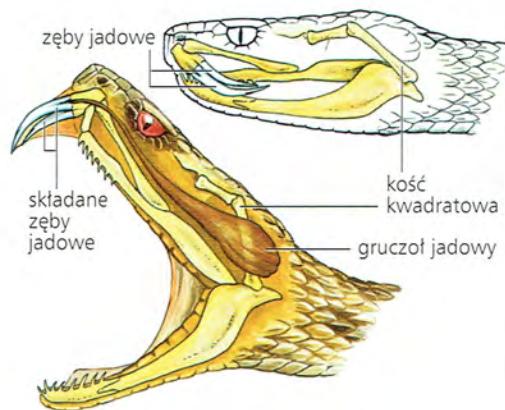


57.2. Schemat budowy wewnętrznej gada

Układ pokarmowy gadów rozpoczyna się jamą gębową, **157.2.1** zaopatrzoną w szczęki z drobnymi, jednakowymi ząbkami (jest to tzw. **homodontyzm**). Podlegają one wymianie przez całe życie (u gadów występuje więc **polifiodontyzm**). Ich główne zadanie polega na przytrzymywaniu i rozszarpywaniu zdobyczy. W jamie gębowej znajduje się cienki, długi język pełniący funkcję organu dotyku i zmysłu chemicznego

(u węży i jaszczurek język jest na końcu rozdwojony). Kolejne odcinki przewodu pokarmowego to gardziel i długi przełyk dochodzący do żołądka. Za żołądkiem znajduje się dwunastnica, do której podobnie jak u płazów uchodzą przewody: żółciowy (biegnący z wątroby) i trzustkowy. Dwunastnica przechodzi w jelito cienkie, a to – w jelito grube. U gadów na granicy obu jelit leży nieduże jelito ślepe.

Ponieważ gady są w zdecydowanej większości drapieżnikami, wykształciły szereg przysosowań pozwalających im skutecznie polować na owady i niewielkie kręgowce (gryzonie, żaby, niekiedy ryby). Zwłaszcza krokodyle potrafią sprawnie zaatakować, ogłuszyć, a następnie zabić ofiarę (może nią być nawet duży ssak). Niektóre gatunki węży (zwłaszcza żmije, kobry czy grzechotniki) są wyposażone w specjalne parzyste **zęby jadowe**. **157.3.1** Są one bardzo długie, ostre i działają jak strzykawki. Gdy pysk jest zamknięty, pozostają schowane w tylnej części jamy gębowej. Służą do wprowadzenia toksycznej wydzieliny gruczołów jadowych do ciała ofiary. Jad ma najczęściej charakter silnej



57.3. Głowa żmii z zębami i gruczołami jadowymi

neurotoksyny o działaniu paraliżującym. Produkujące go gruczoły powstały z przekształconych ślinianek.

Najwięksi przedstawiciele węży, czyli boa, pytomy i anakondy (u których nie występują zęby jadowe), posługują się inną techniką polowań. Oplatają się wokół ofiary, przez co uniemożliwiają jej wykonanie ruchów oddechowych, w wyniku czego dochodzi do jej uduszenia. Wielkość zdobyczy dusiciela zależy od wielkości węża.

Większość gadów połyka ofiary w całości. Wyjątek stanowią krokodyle, które umieszczają zdobycz w wodzie i zostawiają tam na jakiś czas, żeby „skruszała” (dotyczy to zwłaszcza większych ich ofiar). Następnie krokodyl odrywa kawałki mięsa,

:: Ciekawostka

W procesie trawienia u gadów szczególne znaczenie mają połykane przez nie kamienie nazywane **kamieniami żołądkowymi** (gastrolitami). Ich głównym zadaniem jest usprawnienie trawienia poprzez rozcieranie pokarmu. U krokodyli żyjących w wodzie pełnią również funkcję balastu.

okręcając się wokół własnej osi. Należy pamiętać, że gady ze względu na niskie tempo metabolizmu (są zmiennocieplne) mają niskie zapotrzebowania pokarmowe. Upolowana zdobycz może im wystarczyć nawet na kilka tygodni.

Układ oddechowy

Gady oddychają wyłącznie za pomocą płuc, a sucha i zrogowaciała skóra nie bierze udziału w wymianie gazowej. Płuca gadów są o wiele lepiej rozwinięte niż spotykane u płazów i mają postać pofałdowanych worków z wewnętrznymi przegrodami zwiększającymi powierzchnię oddechową. U niektórych gatunków w końcowych odcinkach płuc znajdują się niewielkie worki powietrzne, które pozwalają na nadymanie ciała (rola obronna) oraz służą jako narząd hydrostatyczny, zwiększający wyporność w środowisku wodnym. Do płuc prowadzą otwory nosowe zewnętrzne i wewnętrzne, krtani, długa tchawica (wzmocniona chrząsteczkami pierścieniami) oraz oskrzela. **57.4.1** U krokodyli wykształciło się dodatkowo **podniebienie wtórne** oddzielające jamę nosową od gębowej. Dzięki temu mogą one pobierać powietrze, nawet gdy pysk jest zanurzony w wodzie (nozdrza wewnętrzne otwierają się głęboko w gardzieli). U gadów wykształciły się również (po raz pierwszy wśród kręgowców) bardzo dobrze rozwinięte



57.4. Schemat układu oddechowego jaszczurki

mięśnie międzyżebrowe, dzięki którym możliwe są rytmiczne ruchy oddechowe. U węży dochodzi do redukcji lewego płuca, co ma związek z wydłużonym kształtem ciała. Wydajny system wentylacji płuc w porównaniu z płazami zapewnia sprawniejszy metabolizm i podnosi ogólną sprawność gadów.

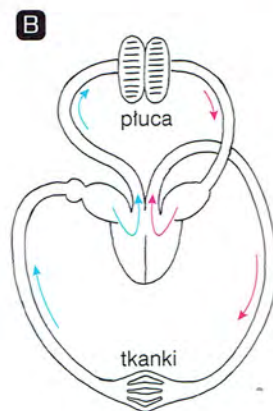
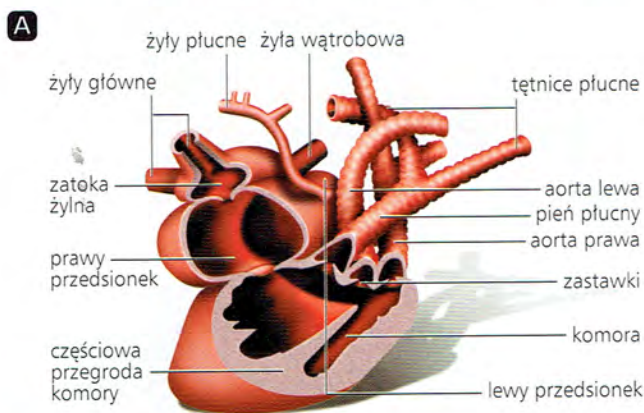
Układ krwionośny

Układ krążenia gadów składa się z serca oraz naczyń krwionośnych tworzących dwa w pełni funkcjonalne obiegi krwi. Serce jest trójdzienne, zbudowane z dwóch przedsionków oraz jednej komory, w której (w przeciwieństwie do płazów) znajduje się przegroda. Jest ona niepełna u większości gadów (żółwi, jaszczurek, hatte-

rii oraz węży), a całkowita – u krokodyli. Dzięki przegrodzie oraz odpowiedniemu wyprofilowaniu ścian komory i synchronizacji ich skurczów krew natleniona i krew odtleniona w zasadzie się w sercu nie mieszają. Natleniona krew z płuc doprowadzana jest dwiema żyłami płucnymi do lewego przedsionka i dalej, do lewej części komo-

ry. Jednocześnie krew odtleniona wpływa trzema żyłami głównymi do przedsionka prawego, po czym trafia do prawej części komory. Z komory wypływa przez **pień płucny**, **aortę lewą** oraz **aortę prawą**. **157.5.1** Krew gadów ulega wówczas całkowitemu zmieszaniu i w takiej postaci do-

ciera do tkanek ciała (poza mózgiem). Ze względu na dostarczanie krwi jedynie częściowo wysyczonej tlenem do poszczególnych części organizmu niemożliwa staje się pełna termoregulacja. Dlatego wszystkie gady współcześnie żyjące zaliczamy do zwierząt zmiennocieplnych.

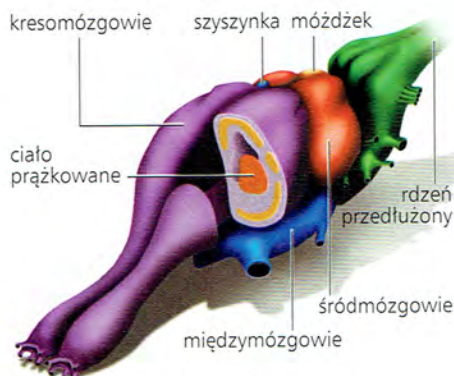


157.5. A) Budowa serca gada, B) schemat układu krążenia

Układ nerwowy

W porównaniu z płazami mózgowie gadów jest lepiej rozwinięte, ale w odniesieniu do mózgowia ptaków i ssaków okazuje się niewielkie (masa mózgu gadów nie przekracza 1% masy ciała). Wyraźnie wysklepione półkule kresomózgowia pokrywają międzymózgowie, co w widoczny sposób zaburza liniowe ułożenie poszczególnych części mózgu. **157.6.1** W kresomózgowiu po raz pierwszy w rozwoju kręgowców widać też zaczątki istoty szarej tworzące w ścianie półkul niezbyt duży obszar zwany **korą nową**. Poza

nią ważną rolę odgrywa również tak zwane **ciało prążkowane**. Oba te skupiska nerwowe pełnią nadrzędną funkcję koordynacyjną. Mimo zwiększenia masy mózgowia gadów w porównaniu z płazami, większość zachowań i reakcji tych kręgowców ma nadal głównie charakter instynktowny. W obszarze tyłomózgowia widoczny jest mózdzek o zależnych od gatunku wymiarach i kształtach. Pokrywa go istota szara (zwana korą mózdzku). Jest on zdecydowanie najlepiej rozwinięty u form aktywnych ruchowo (krokodyle). Z mózgu wychodzi 12 par nerwów czaszkowych i esowato wygięty rdzeń przedłużony, co jest cechą charakterystyczną dla owodniowców.



157.6. Budowa mózgowia jaszczurki

Narządy zmysłów

Jednym z podstawowych zmysłów gadów jest **wzrok**. Jego narządem są parzyste oczy. Mają one zdolność do akomodacji, najczęściej poprzez zmianę kształtu soczewki w wyniku dociskania jej przez mięśnie rzęskowe do kostnych tarczek znajdujących się w twardówce. W wewnętrznej błonie światłoczułej wyściełającej oko gada (siatkówce) znajdują się pręciki oraz czopki (reagujące na barwy). Gady wykształciły trzy powieki: dolną, górną oraz migawkową.

:: Ciekawostka

Tresowana przez fakira **kobra królewska** w rzeczywistości nie słyszy dźwięku piszczałki. Porusza się rytmicznie, wpatrując się w ruch fakira oraz instrumentu trzymanego przez niego.

Całkowicie odmienną budowę charakteryzują się **oczy węży**. Przede wszystkim nie są one wyposażone w kostny pierścień twardówki (zatem akomodacja ich oka jest znacznie utrudniona). Brak jest też wielu mięśni odpowiedzialnych za poruszanie gałki ocznej. W siatkówce dominuje specjalny typ czopków (tzw. **czopki podwójne**) odpowiadających za percepcję ruchu obiektów. Oczy węży pokryte są na stałe przezroczystą, nieruchomą, pojedynczą powieką, która zastępuje trzy powieki typowe dla pozostałych gadów.

U niektórych gatunków (zwłaszcza nowożylandzkich **hatterii** i niektórych gatunków jaszczurek) występuje tak zwane **trzecie oko ciemieniowe** odpowiedzialne za odbieranie prostych bodźców świetlnych (nie rejestruje ono obrazów). **157.7.1** U form wyższych ewolucyjnie oko ciemieniowe uległo przekształceniu w szyszynkę (gruczoł wydzielania wewnętrznego) odpowiedzialną za hormonalną regulację faz snu i czuwania.

Tylko niektóre gatunki gadów są zdolne odbierać **wrażenia dźwiękowe**. Występuje u nich pojedyncza kosteczka słuchowa – strzemiączko, zwane z racji wydłużonego kształtu **kolumnką**. Odpowiada ona za przenoszenie wrażeń słuchowych z błony bębenkowej na narząd słuchu w uchu wewnętrznym. U węży, żółwi oraz prymitywnych **hatterii** nie występuje błona bębenkowa ani jama ucha środkowego. Zwierzęta te nie odbierają wrażeń słuchowych (są głuche).

Układ wydalniczy

Układ wydalniczy gadów stanowi para nerek właściwych (czyli ostatecznych), efektywnie regulująca gospodarkę wodno-mineralną. Nerki te nie łączą się z jamą ciała. Na drodze osmozy zbędne produkty przemiany materii przekazywane są za pośrednictwem spłotów naczyń włosowatych w kłębuszkach nerkowych z krwi do nerek. Stamtąd mocz spływa moczowoda-



57.7. Oko ciemieniowe u *Anolis carolinensis*

Szczególnie dobrze rozwiniętym zmysłem węży jest węch, który pozwala im wytrwale podążać tropem zdobyczy. Charakterystyczny rozdwojony język węży pełni wiele funkcji. Jest między innymi zmysłem dotyku, smaku i węchu. Wąż za pomocą języka może przenosić cząstki chemiczne wprost do parzystych kieszonek **narządu Jacobsona** zlokalizowanych w podniebieniu. Poza bodźcami przekazywanymi przez język narząd Jacobsona odbiera również zapachy znajdujące się w powietrzu.

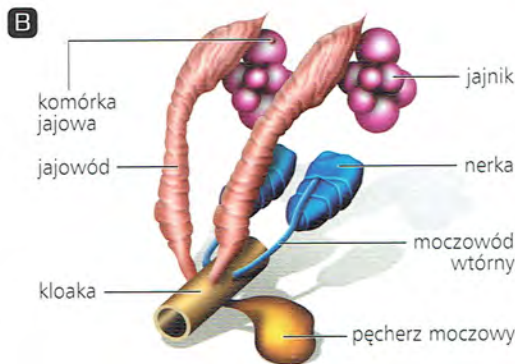
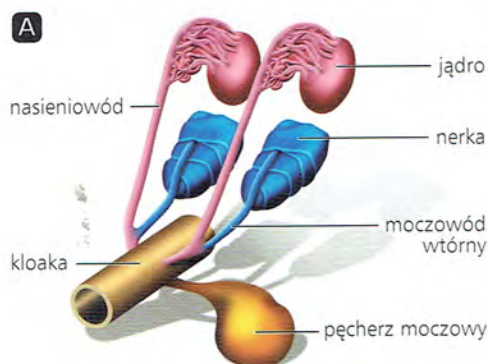
:: Ciekawostka

Ze względu na **oczy** pozbawione pręcików gady niemal nie widzą w nocy. Jednak niektóre gatunki węży (np. grzechotnik) właśnie wtedy sprawnie polują. Umożliwiają im to narządy odbierające promieniowanie podczerwone (cieplne). Stanowi je para wystających zmysłowym nabłonkiem **jamek policzkowych** położonych pomiędzy oczyma a nozdrzami. Dzięki nim grzechotnik jest w stanie odbierać zmiany temperatury otoczenia sięgające tysięcznych części stopnia Celsjusza. W ten sposób widzi doskonale nie tylko samą ofiarę, lecz także ścieżkę, którą się ona poruszała.

mi do pęcherza moczowego, a następnie do **kloaki** (steku). **157.8.1** Produktami przemiany materii gatunków wodnych (np. żółwi wodnych, krokodyli) jest **amoniak** lub **mocznik**. Łądowe gatunki gadów wydalają natomiast **kwasy moczowe** (dlatego nazywa się je zwierzętami urykotelicznymi). W ten sposób efektywnie regulują bilans wodny organizmu. Słabo rozpusz-

czalny w wodzie kwas moczowy wytrąca się, gdy natrafi na ośrodek krystalizacyjny (np. kał znajdujący się w kloace). Woda pozostająca po jego wykrystalizowaniu może zostać wchłonięta przez ścianki steku i moczowodów, które

mają zdolność do resorpcji. Ze względu na oszczędną gospodarkę wodną gadom w zupełności wystarcza woda zawarta w pożywieniu. Dzięki temu mogą one zasiedlać niegościnne środowiska, w tym tereny pustynne.



57.8. Schemat układu wydalniczego i rozrodczego gadów: A) samiec, B) samica

Układ rozrodczy i rozmnażanie się

Układ rozrodczy **samca** jaszczurki składa się z dwóch jąder o fasolkowatym kształcie (57.8.1), od których biegną drogi wyprowadzające plemniki. Są one zakończone wspólnym narządem kopulacyjnym. To wynicowujące się z kloaki prącie, które występuje u wszystkich gatunków gadów poza hatteriami. U **samicy** narządami rozrodczymi są dwa owalne jajniki, od których odchodzą dwa jajowody mające ujście w steku. W wyniku zaplemnienia nasienie trafia do pochwy, a następnie do specjalnych zbiorników nasiennych, w których plemniki mogą oczekiwać nawet wiele miesięcy na połączenie z komórką jajową. Zapłodnienie jest wewnętrzne i zachodzi w górnych odcinkach jajowodów. W końcowych częściach jajowodu znajduje się **gruczoł skorupkowy** zwany także częścią maciczną. Dochodzi w nim do wytworzenia skorupki mającej na celu ochronę rozwijającego się zarodka. Etapy rozwoju zdecydowanej większości gadów przebiegają podobnie. Wyjątkiem są gady jajożyworodne, u których cały cykl rozwoju zarodkowego zachodzi w jajowodach.

Samica jaszczurki składa jaja zapłodnione i otoczone pergaminowymi osłonkami. Dalszy rozwój jaj przebiega w zewnętrznym środowisku lądowym. U niektórych żółwi i krokodyli

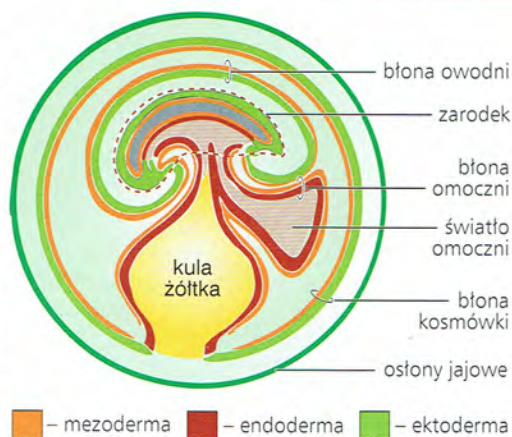
osłonka jajowa ulega silnej mineralizacji (głównie węglanem wapnia). Jaja są polilecytalne i mogą osiągać duże rozmiary. Żółtko stanowi materiał zapasowy dla zarodka otoczonego trzema błonami płodowymi: owodnią, kosmówką, pęcherzykiem żółtkowym i omoczną. Wyśiadanie jaj jest u gadów rzadko spotykane. Obserwuje się je u pytonów, które ogrzewają jaja przy użyciu energii wytworzonej w wyniku intensywnego skurczu mięśni. Młode gady od momentu wyklucia są samodzielne i podobne do rodziców (rozwój prosty). Zdecydowana większość gatunków nie opiekuje się potomstwem, są jednak wyjątki. Samice krokodyli czujnie strzegą gniazda i złożonych w nim jaj, a po wylęgu delikatnie przenoszą młode do wody. Dopóki nie osiągną odpowiedniej wielkości, samica pilnuje ich przez cały czas.

Gady jako pierwsze owodniowce

Gady są pierwszymi zwierzętami, u których pojawiły się błony płodowe. Ich podstawowym zadaniem jest zapewnienie rozwijającemu się embrionowi odpowiedniego (wodnego) środowiska. (57.9.1) Błony płodowe wypuklają się z zarodka na bardzo wczesnych etapach jego rozwoju.

Pierwszą błoną jest wypełniona płynem **owodnia**, otaczająca zarodek i chroniąca go przed wstrząsami. Kolejna jest **kosmówka**, która stanowi błonę najbardziej zewnętrzną i wyścięta od wewnątrz skorupkę jaja. Zarodek w trakcie intensywnej organogenezy produkuje duże ilości metabolitów. Substancje te do czasu narodzin izoluje od niego **omocznia**. Ponieważ produktów przemiany materii z czasem przybywa, omocznia powiększa swoją objętość i zrasta się w pewnym stopniu z pozostałymi błonami. Wraz z kosmówką, opleciona gęstą siecią naczyń włosowatych, omocznia pełni funkcję specyficznego narządu wymiany gazowej (tlen jest w stanie przeniknąć przez pory znajdujące się w skorupce). Pęcherzyk żółtkowy otacza kulę żółtka.

? Omów znaczenie adaptacyjne błon płodowych gadów.



57.9. Przekrój jaja gada z błonami płodowymi

PODSUMOWANIE

- Czaszka gadów połączona jest jednym kłykiem potylicznym z pierwszym kręgiem kręgosłupa.
- Ze względu na zrogowaciałą skórę pokrywającą ich ciało u gadów nie występuje oddychanie skórne. Jedynym narządem oddechowym są workowate płuca.
- Serce gadów składa się z dwóch przedsionków i komory, w której występuje niepełna przegroda (u krokodyli przegroda jest całkowita).
- Gady żyjące w wodzie (żółwie wodne i krokodyle) wydalają amoniak i mocznik, a gady lądowe – kwas moczowy.
- W kresomózgowiu gadów pojawiają się zaczątki istoty szarej tworzące w ścianie półkul ob-szar zwany korą nową. Na dnie komory bocznej kresomózgowia występuje ciało prążkowane.
- Zapłodnienie u gadów jest wewnętrzne.
- U gadów jako typowych owodniowców występują błony płodowe. Są to: owodnia, omocznia, pęcherzyk żółtkowy oraz kosmówka.
- Owodnia amortyzuje wstrząsy i umożliwia zarodkowi rozwój w środowisku wodnym, a omocznia magazynuje produkty przemiany materii.
- Kosmówka pełni razem ze zrośniętą z nią omocznia rolę specyficznego narządu wymiany gazowej.

ZADANIA

1. Wyjaśnij, dlaczego gady środowisk wodnych wydalają mocznik i amoniak, a gady przebywające stale w środowisku lądowym – kwas moczowy.
2. Wyjaśnij, jaką funkcję pełni u węży rozdwojony język.
3. Scharakteryzuj budowę serca gadów i porównaj je z budową serca płazów. Oceń znaczenie modyfikacji w budowie tego narządu dla opanowania środowiska lądowego przez gady.
4. Scharakteryzuj adaptacje anatomiczne, morfologiczne oraz fizjologiczne gadów, które przyczyniły się do pełnego opanowania środowiska lądowego przez te zwierzęta.
5. Określ funkcję poszczególnych błon płodowych w jaju gada oraz ustal ich wzajemne położenie względem zarodka.

BIBLIOGRAFIA

Przybyłowicz A., *Atlas płazów i gadów*, Wydawnictwo Pascal, Bielsko-Biała 2009.

58. Przegląd systematyczny i znaczenie gadów

Zgodnie z obowiązującym i ujednoliconym systemem taksonomicznym systematyka gadów wygląda następująco:

Królestwo: *Animalia* – zwierzęta

Typ: *Chordata* – strunowce

Podtyp: *Vertebrata* – kręgowce

Gromada: *Reptilia* – gady

Rząd: *Crocodylia* – krokodyle

Rząd: *Rynchocephalia* – sfenodonty (gady ryjogłowe)

Rząd: *Squamata* – łuskonośne

Rząd: *Testudines* – żółwie

Krokodyle (*Crocodylia*)

Krokodyle to największe żyjące współcześnie gady. Najczęściej występują w wodach słodkich (gatunki słonowodne są rzadkością). W obrębie rzędu możemy wyróżnić kilka rodzajów, takich jak: kajmany, aligatory, krokodyle i gawiale. **Kajman okularowy** **158.1.1** jest jednym z nielicznych gatunków należących do rzędu *Crocodylia*, które tolerują niewielkie zasolenie wody. Jego pokarmem są kręgowce. W naturze występuje w Ameryce Południowej i Środkowej (samce osiągają wielkość do 2,5 m, a samice – do 1,5 m). Samica chroni złożone w gnieździe jaja przed drapieżnikami. Po wylęgu młode przez dłuższy czas nadal trzymają się blisko niej. Słodkowodny **aligator chiński** **158.2.1** (o długości do 2 m i masie ok. 40 kg) zamieszkuje rzeki i strumienie, czasami tereny bagienne. Występuje na niewielkim obszarze

:: Ciekawostka

W rozmnażaniu krokodyli zaobserwowano ciekawą prawidłowość. Okazało się, że **płeć potomstwa** zależy w dużym stopniu od **temperatury inkubacji**. Optimum, przy którym wylęga się tyle samo samic, co samców, wynosi 32°C. Gdy temperatura jest wyższa (33°C – 35°C), wyklują się tylko samce, a gdy niższa (28°C – 31°C) – tylko samice.

w pobliżu rzeki Jangcy w Chinach. Poluje głównie na mięczaki, skorupiaki oraz ryby, rzadko na większe kręgowce. **Krokodyl australijski (krokodyl Johnstona)** **158.3.1** zamieszkuje słodkowodne jeziora i bagna (samce osiągają długość do 3 m, a samice – do 2 m). Charakteryzuje się wyjątko-

158.1. Kajman okularowy (*Caiman crocodilus*)

158.2. Aligator chiński (*Alligator sinensis*)



wo wąskim pyskiem, co jest przystosowaniem do łowienia ryb. Nie gardzi także małymi ptakami, nietoperzami i innymi niedużymi ssakami. To gatunek rozpowszechniony w północnej Australii, gdzie jego populację ocenia się nawet na 100 tysięcy osobników. Samica po złożeniu jaj opuszcza gniazdo, by powrócić do niego, zwabiona nawoływaniem młodych, które następnie przenosi w pysku do wody. Samice przez pewien czas opiekują się potomstwem.



58.3. Krokodyl australijski (*Crocodylus johnstoni*)

Sfenodonty (*Rhynchocephalia*)

Należące do rzędu *Rhynchocephalia* **hatterie** (dorastające do 60 cm) uznaje się za najmniej wyspecjalizowane owodniowce. Ich mózg i sposób poruszania pozostają charakterystyczne dla płazów. Do hatterii zaliczamy dwa gatunki: *Sphenodon guntheri* oraz *Sphenodon punctatus*. [58.4.] Są one spotykane wyłącznie na niewielkim obszarze Nowej Zelandii. U samców ciągnie się wzdłuż ciała (od głowy do ogona) kolczasty grzebień. Hatterie dysponują unikatowym w świecie zwierząt uzębieniem: dwa rzędy zębów znajdujące się w szczęcie zachodzą na jeden rząd umiejscowiony w żuchwie. Drugim charakterystycznym dla nich elementem budowy jest oko ciemieniowe odbierające bodźce świetlne.



58.4. Hatteria (*Sphenodon punctatus*)

Łuskonośne (*Squamata*)

Rząd ten obejmuje wszystkie gady, których ciała pokrywają łuski. Zaliczane są tutaj zarówno jaszczurki, jak i węże. **Jaszczurka zwinka** [58.5.] z rodziny jaszczurkowatych (o długości całkowitej nieprzekraczającej 24 cm) występuje w środowisku suchym, głównie na brzegach dróg, lasów i nasypów kolejowych, a także na piaszczystych wydmach wybrzeży morskich. Widywana jest w górach (do wysokości 2000 m n.p.m., w Polsce – do 1500 m n.p.m.). Samice charakteryzują się szarobrazowym bądź szarym zabarwieniem z ciemniejszymi plamami na grzbiecie. Samce mają zielone boki i podgardle, przy czym barwa ta zyskuje na intensywności w okresie godowym. Zdarza się, że samce na grzbiecie mają rdzawy pas lub całe są czarne. Jaszczurka zwinka występuje od południowej części Anglii, poprzez



58.5. Jaszczurka zwinka (*Lacerta agilis*)

południowe regiony Skandynawii, po zachodnią część Europy Środkowej. Na wschód można ją spotkać na Kaukazie i Zakaukaziu. W Polsce jest pod ochroną. Żywi się przede wszystkim owadami, pająkami i ślimakami.

Jaszczurka żyworódka **[58.6.1]** z rodziny jaszczurkowatych (o długości dochodzącej do 18 cm) spotykana jest w środowiskach wilgotnych, głównie na torfowiskach, śródleśnych polanach i brzegach pól. Widywana w górach (do wysokości 3000 m n.p.m., w polskich Tatrach – do 2000 m n.p.m.). Jej grzbiet jest zwykle zielony lub brązowy, rzadko czarny. Mogą na nim występować pasy i kropki. Kolor brzucha zależy od płci: u samicy jest kremowy, u samców – najczęściej pomarańczowy. Gad ten występuje w całej Europie (poza regionami południowymi). Spotykany jest również w północnej Azji. Żywi się małymi stawonogami, dżdżownicami oraz nagimi ślimakami. Żyje do 12 lat. W Polsce jest pod ochroną.

Padalec **[58.7.1]** to jaszczurka beznoga z rodziny padalcowatych (o długości do 50 cm). Ubarwienie padalców jest różne, najczęściej brązowo-rdzawe. Młode osobniki mogą mieć czarny pasek wzdłuż grzbietu. Jaszczurki te posiadają na końcu ogona rogowy kolec. Można je spotkać na terenach zalesionych i wilgotnych, gdzie prowadzą skryty tryb życia. Aktywne są w dzień i o zmierzchu. Spotyka się je w górach (do wysokości 2000 m n.p.m.). Poza południową Hiszpanią i Irlandią zamieszkują całą Europę. W Azji występują aż po Kaukaz. Żywią się przede wszystkim dżdżownicami i nagimi ślimakami. W Polsce gatunek ten jest pod ochroną.

Zaskroniec zwyczajny **[58.8.1]** to najpospolitszy wąż występujący w Polsce (zwykle nie przekracza 1 m długości). Charakterystyczną



58.6. Jaszczurka żyworódka (*Zootoca vivipara*)

jego cechą są dwie żółte plamy umieszczone za oczami. Występuje powszechnie w Europie i Azji. Samica składa jaja w miejscach wilgotnych i ciepłych (np. w kopcu butwiejących liści). Gad ten poluje głównie na żaby brunatne i jeziorkowe. Zaskronce zwinnie poruszają się na lądzie, ale szybsze są w wodzie. **Żmija zygzakowata** **[58.9.1]** (o długości do 70 cm) najczęściej ma brązowy grzbiet, na którym znajduje się charakterystyczny ciemniejszy zygzak (tzw. „wstęga kainowa”). Żrenica oka żmii jest ustawiona pionowo. Głowa – spłaszczona o kształcie trójkątnym, wyraźnie oddzielona od reszty ciała. Gad ten preferuje podmokłe łąki, leśne polany, obrzeża lasów. Poluje na małe ssaki owadożerne, gryzonie, a także owady, żaby, jaszczurki. Występuje prawie w całej Europie: na północ po Skandynawię, na południe po Włochy. W Polsce żmija jest jedynym gadem jadowitym. Jest objęta ochroną gatunkową.

58.7. Padalec (*Anguis sp.*)



58.8. Zaskroniec zwyczajny (*Natrix natrix*)



58.9. Żmija zygzakowata (*Vipera berus*)58.10. Żółw błotny (*Emys orbicularis*)

Żółwie (*Testudines*)

Przedstawiciele tego rzędu występują na wszystkich kontynentach poza Antarktydą. Charakteryzują się pancerzem pokrywającym cały tułów. Należą tu zarówno gatunki mięsożerne, jak

i roślinożerne, a także wodne i lądowe. Żółwie są bez wyjątku jajorodne. Jedynym przedstawicielem tego rzędu żyjącym w Polsce jest **żółw błotny**. **[58.10.]**

Znaczenie gadów

Gady stanowią istotne składniki biocenozy w okolicach półpustynnych oraz pustynnych.

Odgrywają dużą rolę zarówno w gospodarce, jak i w życiu człowieka. Żywiąc się szkodnikami (jak gryzonie, owady i ślimaki), w znaczący sposób ograniczają ich liczebność. W ten sposób chronią uprawy i zapobiegają stratom w leśnictwie i rolnictwie. Człowiek wykorzy-

stuje też gady w celach konsumpcyjnych (np. jaja i mięso żółwi oraz mięso węży i krokodyli). Skóra gadów jest surowcem do wyrobu pasków, torebek czy butów. Przemysł farmaceutyczny wykorzystuje jad węży do wytwarzania leków przeciwreumatycznych, a także przeciw epilepsji i chorobom nowotworowym. W Polsce gady podlegają ochronie gatunkowej.

PODSUMOWANIE

- W ramach gromady *Reptilia* wyróżniamy cztery rzędy: krokodyle, hatterie, łuskonośne i żółwie.
- Do rzędu krokodyli zaliczamy krokodyle, kajmany oraz aligatory.
- Do rzędu *Rhynchocephalia* należą tylko dwa gatunki hatterii występujące na Nowej Zelandii.
- Do łuskonośnych zaliczamy węże i jaszczurki. Przykładami są jaszczurka zwinka, zaskroniec i żmija zygzakowata.
- Gady stanowią ważny składnik biocenozy pustynnych i półpustynnych.
- Gady są wykorzystywane jako surowiec kulinarny i w przemyśle farmaceutycznym.

ZADANIA

1. Porównaj kajmany, aligatory oraz krokodyle pod względem charakterystycznych cech budowy anatomicznej, zachowań oraz środowiska życia.
2. Podaj charakterystyczne cechy budowy hatterii.
3. Omów znaczenie gadów w przyrodzie i gospodarce człowieka.
4. Wymień typowego przedstawiciela żółwi w faunie Polski.

BIBLIOGRAFIA

- Brodacki M., *Dinozaury i inne gady prehistoryczne*, Warszawa 2011.
- *Świat zwierząt. Gady*, praca zbiorowa, Warszawa 2009.



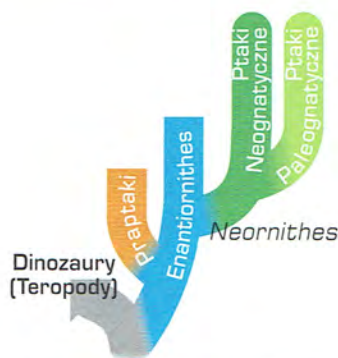
59. Filogeneza i budowa zewnętrzna ptaków

Przypuszcza się, że gady, ptaki i ssaki miały wspólnego przodka. Mógł nim być płaz z rodziny melandrowców, który jako pierwszy w świecie zwierząt miał zdolność do reprodukcji w środowisku lądowym. Umożliwiła mu to adaptacja polegająca na wykształceniu osłon zarodka, czyli **owodni**, co uniezależniło jego rozwój od środowiska wodnego. Współcześnie jest to wspólna cecha gadów, ptaków i ssaków nazywanych w związku z tym **owodniowcami**.

Filogeneza ptaków

Ptaki (*Aves*) są gromadą młodszą od gadów. Najprawdopodobniej wywodzą się od niewielkich, drapieżnych dinozaurów – **teropodów**, po których odziedziczyły dwunożność, zakończone trzema palcami kończyny (przednie i tylne) oraz pokrycie ciała piórami. Jak wskazują dane kopalne, wielobarwne pióra teropodów, ze względu na brak zdolności tych zwierząt do lotu, pełniły najprawdopodobniej jedynie funkcję termoisolacyjną. Kończyny przednie, które nie stanowiły podpory dla ciała, przekształciły się u ptaków w narządy przystosowane do latania. Skamieniałości z okresu wczesnej kredy ujawniają u przodków ptaków jeszcze wiele cech gadzich (zakończonych szponami kończyny przednie oraz uzębione dzioby). Widoczne są jednak takie cechy ptaków, jak: mostek z grzebieniem, ptasia miednica, skrócony ogon oraz pneumatyczne kości (niektóre z nich).

Co do gadziego pochodzenia ptaków panuje w świecie nauki pełna zgodność. Jeśli natomiast chodzi o wykształcenie zdolności do lotu, funkcjonują dwie równoległe hipotezy – **arborealna** i **kursorialna**. Najstarszym znanym ptakiem jest *Archaeopteryx* (**praptak**). **59.1.1** Osiągał nieduże rozmiary (był wielkości gołębia), a jego skrzydła pokryte piórami były słabo rozwinięte. W kości szczękowej znajdowały się zęby, a kończyny przednie zakończone były pazurami. Jego szczątki zachowały się w Bawarii, w wapieniach z okresu jury (datowanych na ok. 150 mln lat). Wymienione przykłady z pewnością nie odzwierciedlają olbrzymiej liczby linii rozwojowych ptaków powstałych w mezozoiku. Większa część tych grup wraz z dinozaurami nie przetrwała wielkiego wymierania, do którego doszło pod koniec kredy. Te, które przeżyły, na początku ery kenozoicznej uległy daleko idącej radiacji adaptatywnej. Dlatego dziś są doskonale przystosowaną do środowiska grupą zwierząt u szczytu rozwoju ewolucyjnego.



Teorie dotyczące wykształcenia zdolności do lotu u ptaków

Arborealna
(łac. *arboralis* – nadrzewny)

Zakłada, że przodkowie ptaków latających zamieszkiwali drzewa, z których przemieszczali się za pomocą lotu ślizgowego. Wykształcenie zdolności do aktywnego lotu (wykorzystującego ruch skrzydeł) nastąpiło według tej hipotezy znacznie później.

Kursorialna
(łac. *cursor* – biegacz)

Zakłada, że lot wykształcił się u naziemnych drapieżników jako mechanizm pomagający utrzymywać równowagę podczas biegu i skoków. Opływowy kształt zmniejszał opory powietrza podczas pościgu za ofiarą, a pióra oraz powierzchnie aerodynamiczne skrzydeł i ogona pozwalały na sprawniejsze manewry. Bogate upierzenie pozwalało też na pozorne zwiększenie wielkości ciała, co miało duże znaczenie w odstraszeniu potencjalnego wroga.



59.1. *Archaeopteryx* sp. nazywany praptakiem

Skóra i pokrycie ciała

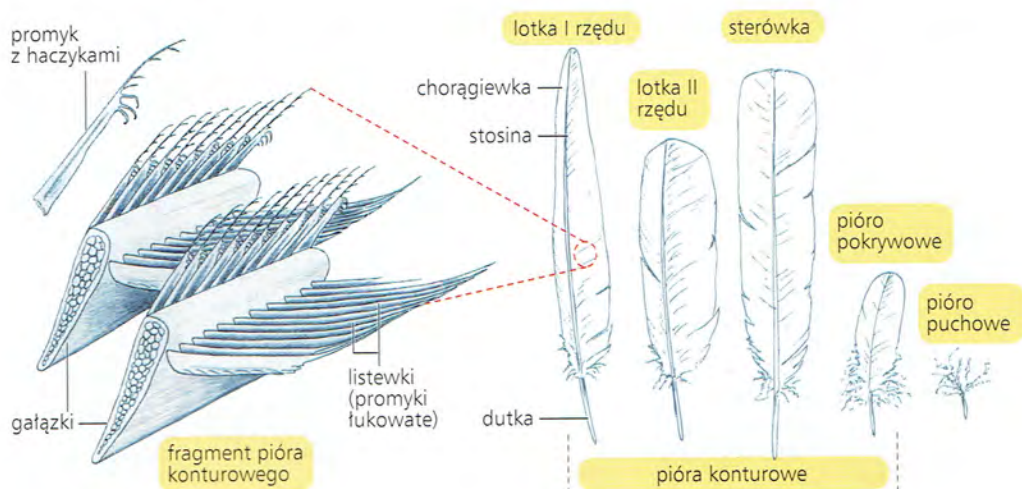
Skóra ptaków jest zasadniczo sucha, ponieważ nie występują w niej gruczoły potowe i łojowe. Wyjątek stanowi gruczoł kuprowy zlokalizowany pod nasadą ogona. W naskórku znajduje się warstwa rozrodcza, której komórki ulegają ciągłym podziałom, przesuując nowo powstałe komórki ku powierzchni i powodując złuszczenie się zrogowaciełej warstwy powierzchniowej. Najbardziej charakterystycznym dla ptaków wytworem naskórka są **pióra** pokrywające niemal całe ciało (poza dziobem i kończynami dolnymi). Są one zbudowane z **keratyny** (podobnie do włosów). Są wytworami naskórka homologicznymi do łusek gadów i z nich się wykształciły. Pojedyncze pióro składa się z **osi pióra** oraz **chorągiewki**. Część osi pióra wyrastająca ponad powierzchnię skóry nosi nazwę **stosiny**, natomiast część tkwiąca w skórze nazywana jest **dutką**. Chorągiewkę tworzą dwa szeregi **gałązek** odchodzących symetrycznie w jednej płaszczyźnie, po obu stronach stosiny. Od każdej gałązki odchodzą **dwa rzędy promyków** (listewek): zakończonych **haczykami** (rzęd górny) i przypominające kształtem **listewki** (rzęd dolny). Promyki haczykowe zaczepiają o listewki promyków sąsiedniej gałązki, dzięki czemu tworzą ciągłą, elastyczną strukturę stanowiącą właściwą powierzchnię chorągiewki. Szkielet kostny skrzydła

jest wąski i mocno zredukowany, a główną powierzchnię nośną stanowią pióra. **159.3.1** Dzięki temu skrzydło nie grozi rozerwaniu w razie kolizji ptaka z przeszkodą (np. gałęzią). Gładząc pióra dziobem, ptaki są w stanie szybko i umiejętnie przywrócić układ tworzony przez chorągiewki.

Do najważniejszych rodzajów piór **159.2.1** należą:

- **lotki** – osadzone na skrzydłach długie pióra o dużej powierzchni chorągiewki zapewniające odpowiednią siłę nośną podczas lotu;
- **sterówki** – pióra o wydłużonym kształcie osadzone na ogonie i pełniące funkcję steru podczas lotu (razem z lotkami sterówki zaliczane są do tak zwanych **piór konturowych**, czyli nadających kształt ciału ptaka);
- **pióra pokrywowe** – stanowią podstawowe pokrycie ciała ptaka, zaliczane są również do piór konturowych;
- **pióra puchowe** – to krótkie pióra o wiotkich gałązkach nietworzących powierzchni, położone są pod piórami pokrywowymi, pełnią funkcję termoizolacyjną.

Różnorodne ubarwienie ptasich piór zależy nie tylko od barwników w nich zawartych, lecz także od ich struktury i sposobu, w jaki załamują one światło. Ubarwienie jest charakterystyczne dla gatunku oraz decyduje o dymorfizmie płciowym.

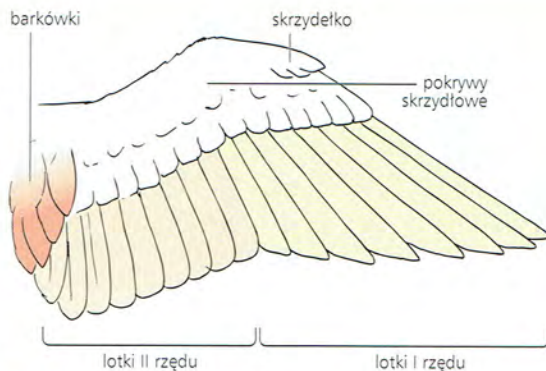


59.2. Budowa piór ptaków

Barwa może mieć też związek z wiekiem lub okresem roku (barwy sezonowe). Również okresowo u ptaków dochodzi do całkowitej lub częściowej wymiany piór. Zjawisko to nosi nazwę **pierzenia**. Jeśli wymianie ulegają lotki, ptaki są w tym czasie pozbawione zdolności do lotu.

Bardzo ważną czynnością życiową ptaków jest pielęgnacja upierzenia. Ptaki (zwłaszcza wodne) regularnie dbają o dokładne pokrycie piór tłustą wydzieliną **gruczołu kuprowego**. Jest on zlokalizowany nad ostatnimi kręgami ogonowymi w okolicach nasady piór sterówek. Wydzielina gruczołu ma lepłą konsystencję i zapewnia ochronę przed wilgocią. Zawiera również ergosterol (prowitaminę D), która pod wpływem promieniowania słonecznego przekształca się w witaminę D. Ptaki zjadają ją w trakcie „czyszczenia” piór.

Na odnóżach ptaków pióra nie występują. Są one pokryte rogowymi **tarczkami** lub **łuskami rogowymi**. Ich ułożenie jest różne u różnych grup, jest to więc cecha taksonomiczna. Dodat-



59.3. Budowa skrzydła ptaka

kowo u niektórych grup (np. kuraków) na odnóżach występują imponujących rozmiarów rogowce ostrogi. Kończyna dolna ptaków jest wyposażona w cztery palce, z których jeden zwykle ma położenie przeciwstawne (może być silnie zredukowany). Palce na ogół zakończone są **pazurami**, u gatunków drapieżnych często przekształconymi w znacznie większe i silniejsze **szpony**.

PODSUMOWANIE

- Ptaki wraz z gadami i ssakami należą do owodniowców.
- Prawdopodobnymi przodkami ptaków były drapieżne teropody, po których ptaki odziedziczyły dwunożny chód oraz trójpalczaste kończyny.
- Istnieją dwie hipotezy dotyczące rozwoju zdolności lotu: arborealna oraz kursorialna.
- Najstarszym znanym ptakiem jest *Archaeopteryx*, znaleziony w osadach sprzed 150 milionów lat.
- Ciało ptaków ma kształt opływowy i jest pokryte piórami.
- Pióro składa się z chorągiewki oraz osi pióra. Część osi pióra wystająca ponad powierzchnię skóry to stosina, a część zagłębiona w skórze to dutka.
- Wśród piór wyróżniamy: lotki, sterówki, pióra pokrywowe oraz pióra puchowe.
- Jedynym gruczołem w skórze ptaków jest gruczoł kuprowy, którego wydzielina ma za zadanie natłuszczać pióra i chronić je przed wilgocią.

ZADANIA

1. Porównaj i oceń dwie hipotezy – arborealną i kursorialną – dotyczące wykształcenia zdolności do lotu u współcześnie żyjących ptaków.
2. Wymień rodzaje piór występujących u ptaków, omów ich budowę oraz funkcje.
3. Opisz rolę, jaką odgrywa gruczoł kuprowy.
4. Podaj wytwór naskórka świadczący o bliskim pokrewieństwie ptaków i wymarłych teropodów.

BIBLIOGRAFIA

Einhard B., *Jakie to pióro?*, Multico, Warszawa 2010.

W INTERNECIE

- http://www.ptaki.info/index_ptaki.php
- <http://ptaki.polska.pl/>

60. Budowa wewnętrzna i czynności życiowe ptaków

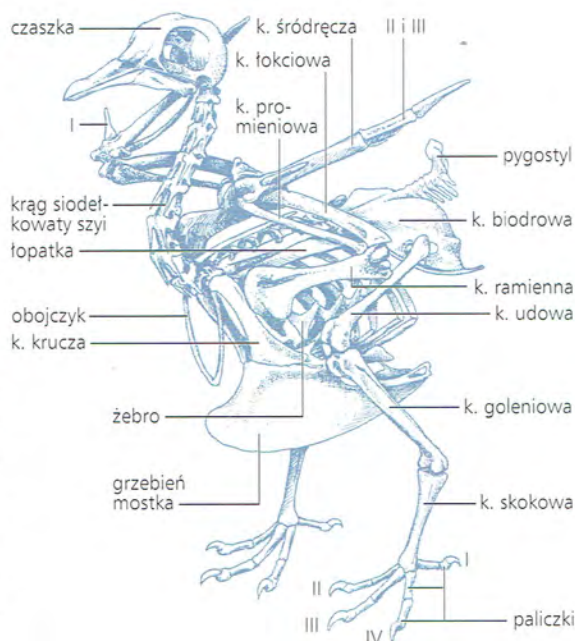
W budowie wewnętrznej ptaków widoczne są liczne przystosowania do **aktywnego lotu**. Należy do nich przede wszystkim lekki i wytrzymały szkielet zapewniający niską masę ciała oraz doskonale rozwinięty układ oddechowy umożliwiający stały dopływ tlenu, zarówno w czasie wdechu, jak i wydechu. Budowa serca oraz intensywny metabolizm powodują, że ptaki są zwierzętami stałocieplnymi.

Budowa szkieletu

Zwarty i lekki szkielet ptaków **160.1.1** jest jednym z najważniejszych przystosowań tych zwierząt do lotu. Niewielką masę zapewniają mu ażurowe, **pneumatyczne kości** (z wyjątkiem kości dłoni, przedramienia oraz miednicy). Występują w nich liczne przestrzenie wypełnione powietrzem. Do wielu z nich wnikają worki powietrzne. Ptaki nie mają zębów, co zmniejsza ciężar czaszki, w której nie obserwuje się szwów. Przesunięciu na jej spodnią stronę ulega **otwór wielki**, przez który przechodzi rdzeń kręgowy. Czaszka łączy się z kręgosłupem za pomocą jednego **kłytka potylicznego**, co zapewnia głowie dużą ruchliwość. Szczególnym wytworem szkieletu ptaków jest dziób. Górną jego część tworzy kość **międyszczękowa**, natomiast żuchwę stanowią trzy pary kości: **zębowe, stawowe i kątowe**. **Kręgosłup** ptaków złożony jest z czterech odcinków: szyjnego, piersiowego, lędźwiowo-krzyżowego oraz ogonowego. **Odcinek szyjny** jest wygięty w kształt litery „S”. To jedyna ruchoma część kręgosłupa (dzięki niej ptaki mogą dosięgnąć dziobem do wszystkich części ciała). Pozostałe odcinki w wyniku zrośnięcia się kręgów są praktycznie nieruchome, co jest również przystosowaniem do lotu. **Odcinek piersiowy** (złożony zwykle z 3 do 10 kręgów) zrasta się w **kość grzbietową**. Ta zrasta się z **kością lędźwiowo-krzyżową**, a ta z kolei z **miednicą** i pierwszymi pięcioma **kręgami ogonowymi**. Kilka następnych kręgów ogonowych pozostaje ruchomych, a ostatnie cztery zrastają się w płaską kość zwaną **pygostylem**. Do niego przytwierdzone są pióra sterówki. Odcinek piersiowy jest wy-



Wskaż elementy budowy szkieletu ptaka będące przystosowaniem do lotu.



60.1. Szkielet ptaka (k. – kość)

posażony w żebra łączące się z kręgami piersiowymi oraz **mostkiem**. Mostek ptaków to duża i silna struktura wyposażona w środkowej części w **grzebień**. Jest on miejscem przyczepu mięśni piersiowych, odpowiadających za ruch skrzydeł. Grzebień jest szczególnie dobrze rozwinięty u ptaków aktywnie latających. U nielotów praktycznie nie występuje.

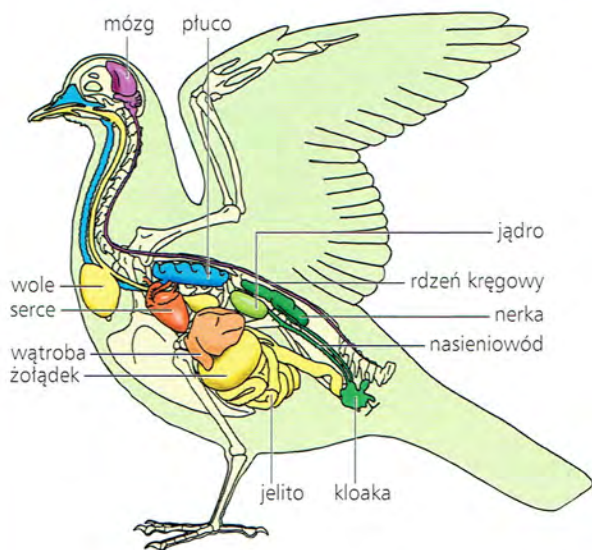
Biologia odżywiania i budowa układu pokarmowego

Ptaki cechują się jednym z najwyższych wśród zwierząt zapotrzebowaniem na energię, są zatem bardzo wrażliwe na niedobór pokarmu. Przy niskiej temperaturze otoczenia małe ptaki mogą z tego powodu ginąć w ciągu kilku godzin, większe są w stanie głodować, ale grozi im wówczas utrata znacznej części masy ciała (nawet ok. 40%). W budowie układu pokarmowego ptaków możemy wyróżnić: jamę gębową, przełyk, żołądek, jelito oraz stek. Ponieważ ptaki nie mają zębów, nie mogą żuć i rozdrabniać pobieranego pokarmu. Rolę tę przejmuje żołądek, który składa się z dwóch części: górnej (gruczołowej) oraz dolnej (mięśniowej). Pierwsza odpowiada za produkcję soków trawiennych, a druga – za rozdrabnianie pokarmu. Ptaki, zwłaszcza słabo latające, połykają piasek lub małe kamyczki, które pomagają w rozcieraniu twardych cząstek pokarmowych (zwiększają jednak masę ciała). Ptaki (mięsożercy) nie trawią kości, zębów, piór ani

włosów ofiar. Resztki te usuwane są przez otwór gębowy jako tak zwane **wypluwki**. U niektórych gatunków (np. u gołębi) przełyk ulega rozszerzeniu w **wole**, w którym przechowywany pokarm jest zmiękczaony przez wydzielinę uchodzących tam gruczołów. Wydzielina ta pod postacią tak zwanego **ptasiego mleczka** wykorzystywana jest do karmienia piskląt.

Treść pokarmowa z żołądka trafia do jelita **160.2.1**, od którego odchodzą bocznie dwa uchyłki nazywane jelitami ślepy. Szczególnie dobrze są one rozwinięte u ptaków roślinożernych, ponieważ znajdują się tam mikroorganizmy rozkładające celulozę. Jelito końcowe przechodzi w **stek** (kloakę), do której uchodzą również kanaliki wyprowadzające układu wydalniczego i płciowego. Ponieważ ptaki muszą oszczędzać wodę (niektóre gatunki w ogóle jej nie piją), w kloace zachodzi proces jej zwrotnego wchłaniania i formowania kału. Wydalany przez nerki kwas moczowy jest słabo rozpuszczalny w wodzie, przez co wykrystalizowuje się na powierzchni kału, nadając mu charakterystyczną białą barwę. Na górnej powierzchni kloaki znajduje się tak zwana **kaletka Fabrycjusza**. Jest to element układu immunologicznego, w którym produkowane są limfocyty B wydzielające przeciwciała.

Metabolizm ptaków jest szybki, podobnie jak proces trawienia, przy czym pokarm mięsny i owoce są trawione znacznie szybciej niż nasiona. Ptaki drapieżne potrafią strawić mysz w ciągu 3 godzin, a jemioluska trawi połknięte jagody w ciągu zaledwie 12 minut! Ziarno natomiast jest przez kurę trawione nawet do 24 godzin. Ptaki pobierają pokarm bardzo często. W ciągu doby małe ptaki są w stanie zjeść ilość pokarmu odpowiadającą 25% masy ciała, a nawet więcej. O tempie metabolizmu świadczy również fakt, że pisklęta w gnieździe cechuje dobowy przyrost masy ciała.



60.2. Schemat budowy wewnętrznej ptaka

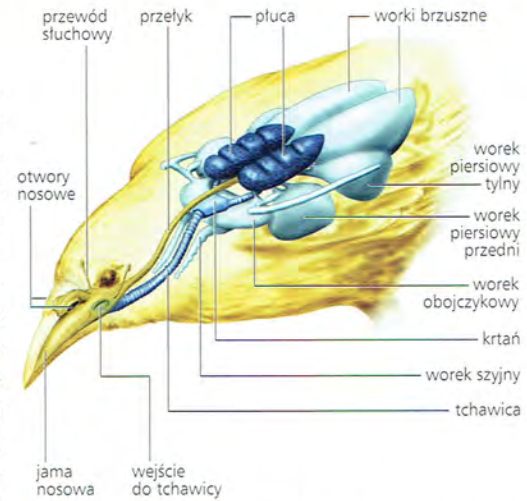
Układ mięśniowy

Układ mięśniowy ptaków jest dobrze rozwinięty, dotyczy to zwłaszcza mięśni biorących udział w lataniu. Najważniejsze z nich to **mięsień piersiowy** i **mięsień kruczo-ramienny**. Oba są przyłączone

do mostka, jednak mają działanie antagonistyczne. Pierwszy odpowiada za przyciągnięcie ramienia, czyli ruch skrzydła w dół, drugi natomiast odwodzi skrzydło w górę.

Układ oddechowy

Aby móc utrzymać wysokie tempo przemian metabolicznych, ptaki wykształciły sprawny układ oddechowy o budowie niespotykanej u innych kręgowców. Liczba wdechów, podobnie jak liczba uderzeń serca, zależą od wielkości ptaka (gołębie ok. 40, a kolibry nawet do 250 wdechów). Zarówno wdech, jak i wydech są u ptaków związane z pracą mięśni (u ssaków tylko wdech jest aktywną fazą oddychania, wydech jest procesem biernym). Zewnętrzne mięśnie międzyżebrowe powodują powiększenie klatki piersiowej, a więc wdech. Wydech natomiast odbywa się dzięki skurczowi wewnętrznych mięśni międzyżebrowych i mięśni brzucha (ptaki nie mają przepony). W napełnianiu płuc istotną rolę odgrywa również intensywny ruch skrzydeł działających jak miech. Powietrze najpierw trafia do **nozdrzy zewnętrznych** znajdujących się na powierzchni dzioba, i dalej: do jamy **nosowej**, przez **nozdrza wewnętrzne** do **krtani**, **tchawicy** i dwóch **oskrzeli**. **160.3.1** Płuca mają gąbczastą strukturę i są stosunkowo niewielkie. Nie zawierają pęcherzyków płucnych, ale liczne, cienkie kanaliki, które z płuc biegną do **dziwiciu worków powietrznych** (przednich i tylnych). Dzięki ich obecności ptaki mogą oddy-



60.3. Schemat budowy układu oddechowego ptaka

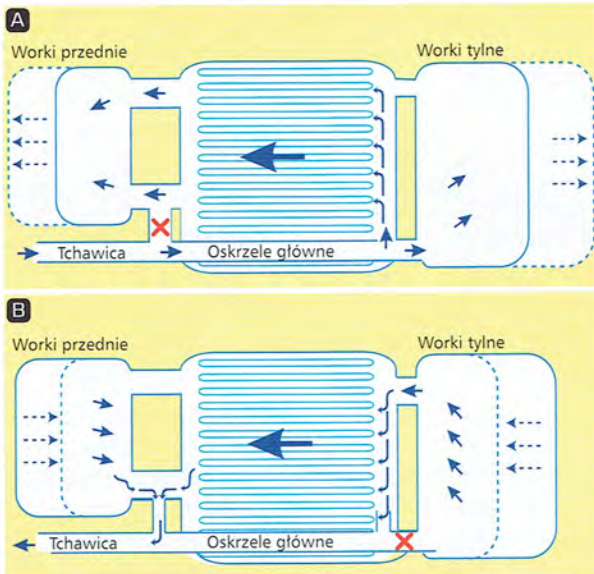
chać zarówno w trakcie wdechu, jak i wydechu (to tzw. **podwójne oddychanie**). W workach powietrznych nie zachodzi wymiana gazowa. Wypełniają one wolne przestrzenie pomiędzy narządami, mięśniami oraz wnikają do wnętrza kości pneumatycznych.

Mechanizm wentylacji płuc

W czasie wdechu przednie i tylne worki się rozszerzają. Do przednich worków powietrze dostaje się z oskrzela głównego przez kanaliki płucne

160.4.1, oddając po drodze tlen do krwi.

Do worków tylnych powietrze dostaje się bezpośrednio z oskrzela głównego. W czasie wydechu następuje skurcz worków powietrznych. Zamyka się droga prowadząca z oskrzela głównego do tylnych worków i płuc, otwiera się natomiast dostęp z płuc i worków przednich. Powietrze z przednich worków dostaje się bezpośrednio do oskrzela głównego. Bogate w tlen powietrze z tylnych worków powietrznych przepływa przez kanaliki płucne, przedostaje się następnie również do oskrzela głównego. Jest to podwójna wentylacja, czyli przepływ natlenionego powietrza przez płuca przy wdechu i wydechu. W wyniku cyklicznego powtarzania tego procesu płuca ptaków są stale wentylowane.

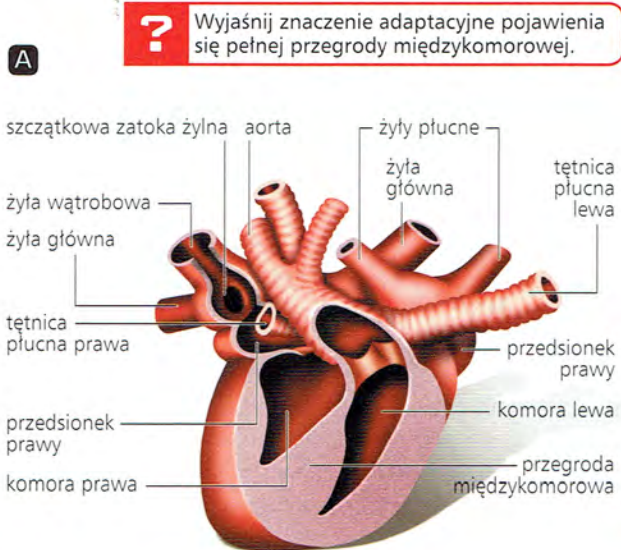


60.4. Schemat wentylacji płuc ptaka: A) wdech, B) wydech

Układ krwionośny

Serce ptaków, podobnie jak ssaków, wykazuje najwyższy stopień złożoności. Występują w nim dwa przedsionki i dwie komory przedzielone w pełni wykształconą przegrodą międzykomorową. **160.5.1** Prawa (żylna) część serca jest całkowicie oddzielona od lewej (tętniczej), podobnie jak oba obiegi krwi (duży i mały), dzięki czemu krew żylna nie miesza się z tętniczą. Ponieważ ptaki nie są ewolucyjnymi przodkami ssaków, rozdzielenie obiegów w wyniku poja-

wienia się przegrody nastąpiło w sposób niezależny. Świadczy o tym fakt, że z obu łuków aorty występujących u gadów, zachował się u ptaków tylko **prawy łuk aorty** (a u ssaków łuk lewy). Rozdzielenie obiegów krwi, sprawna termoregulacja oraz wysoki poziom metabolizmu są warunkami, których spełnienie umożliwia rozwój stałocieplności. Erytrocyty obecne we krwi ptaków mają kształt dwuwklęsłej soczewki i zawierają jądro komórkowe. **160.6.1**



60.5. A) Budowa serca ptaka, B) schemat układu krążenia



60.6. Morfologia erytrocytów ptaków

:: Ciekawostka

Serce ptaka jest w przybliżeniu dwa razy większe niż serce ssaka podobnej wielkości. Wytwarza ono zatem ciśnienie około 1,25 raza większe niż serce ssaków. Liczba uderzeń serca na minutę (tętno) jest różna u różnych gatunków i zwykle odwrotnie proporcjonalna do masy ciała. U bielika (*Haliaeetus sp.*) wynosi około 50 uderzeń na minutę, podczas gdy u najmniejszych gatunków kolibrów może dochodzić do 1260 uderzeń na minutę!

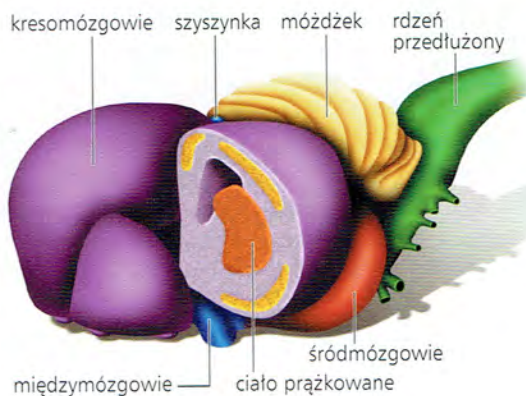
Układ wydalniczy

Na układ wydalniczy ptaków składa się para **nerek ostatecznych**, od których odchodzą parzyste moczowody. Wyprowadzają one mocz bezpośrednio do **kloaki** (czyli do wspólnego ujścia układu pokarmowego, wydalniczego i płciowego). Nerki produkują głównie kwas

moczowy, który w kloace ulega zagęszczeniu przez zwrotne wchłonięcie nadmiaru wody. Ze względu na brak pęcherza moczowego (co jest przystosowaniem do lotu) ptaki wydalają krystaliczny kwas moczowy, gdy tylko znajdzie się on u ujścia kloaki.

Układ nerwowy

U ptaków nastąpił znaczący **rozwój mózgowia**, co wiąże się z wykształceniem zdolności do lotu i z koniecznością wykonywania skomplikowanych ruchów. Ta kosztowna pod względem energetycznym modyfikacja układu nerwowego stała się możliwa tylko dzięki wykształceniu stałocieplności. Bardzo dobrze rozbudowany **mózdzek** odpowiada za orientację w przestrzeni i koordynację ruchową. **160.7.1** Ptaki w trakcie lotu poruszają się w sposób złożony, we wszystkich trzech płaszczyznach, a zatem rozwój mózdzku ma szczególne znaczenie. Dobrze wykształcone są również półkule **kresomózgowia** pokryte warstwą kory mózgowej. Jest to związane z wysoką inteligencją niektórych ptaków. Do najinteligentniejszych należą papugi i krukowate, znane głównie ze swych zdolności do naśladowania dźwięków ludzkiej mowy. Umiejętność używa-



60.7. Budowa mózgowia ptaka

nia prostych narzędzi do zdobywania pokarmu cechuje również niektórych przedstawicieli wróblowatych (zięby Darwina potrafią dostać się do owadów ukrytych w pniu drzewa za pomocą kolca kaktusa trzymanego w dziobie).

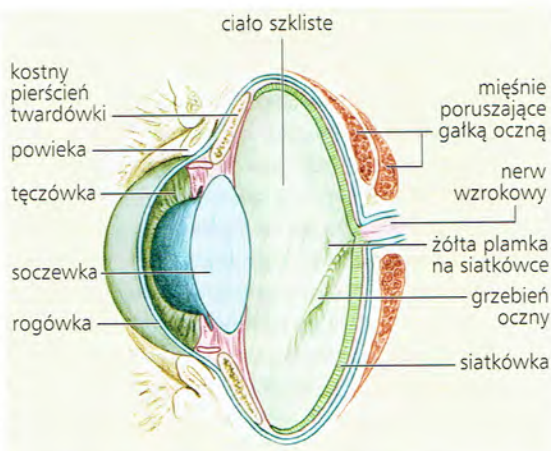
:: Ciekawostka

Podczas testów przeprowadzonych na jednym z nowozelandzkich uniwersytetów **kruki** wykazywały się inteligencją niespotykaną nawet u szympanсів. W poziomej rurze z przezroczystego tworzywa umieszczono pokarm. Rura miała od spodu dwa otwory z kłapkami. Jeden otwór był zamknięty podczas większości testów, a drugi był stale otwarty. Kruki wyciągały pożywienie z rury za pomocą patyka. Jeśli przesuwali je w niewłaściwym kierunku (nad otworem z otwartą kłapką), wpadało ono do niego i ptak nie mógł go zjeść. Trzy kruki radziły sobie z tym zadaniem, nawet gdy zmodyfikowano wygląd urządzenia. Wskazuje to, że kruki rozumiały, iż próba przeciągnięcia pokarmu nad dziurą powoduje jego utratę.

Narządy zmysłów

Najlepiej rozwiniętymi zmysłami ptaków są wzrok (pod tym względem przodują one wśród kręgowców) i słuch. Występuje u nich **podwójna akomodacja**. Polega ona na regulowaniu ostrości widzenia zarówno poprzez zmianę kształtu soczewki, jak i jej położenia względem siatkówki.

Ptaki drapieżne wyposażone są w wydłużoną gałkę oczną, działającą jak teleobiektyw. **160.8.1** Dzięki temu, krążąc wysoko nad ziemią, są w stanie dostrzec znajdujące się na niej obiekty. W oku ptaka występuje ponadto bogato unaczyniony **grzebień oczny**, który odpowiada za dotlenianie wnętrza gałki ocznej. Podobnie jak u ssaków, ptaki nocne



60.8. Schemat budowy oka ptaka

mają siatkówkę zbudowaną w głównej mierze z **pręcików**. Kosztem nieco gorzej rozpoznawanych barw potrafią doskonale wykryć ruchome obiekty nocą. Dla ptaków dziennych to barwy stanowią podstawowy bodziec wzrokowy, zatem w ich oczach siatkówka jest wyposażona w dużą ilość **czopków**. Również **słuch**, który kształtuje zachowania społeczne oraz godowe, jest u ptaków dość dobrze rozwinięty. Wystę-

puje u nich pojedyncza kostka słuchowa (**kolumienka**), brak też ucha zewnętrznego, podobnie jak u gadów. Ptaki posługujące się słuchem, zwłaszcza nocne (np. sowy), zaopatrzone są w tak zwane **szlary**. To pióra ułożone wokół oczu i dzioba w kształt czaszy anteny i funkcjonalnie odpowiadające małżowinie usznej. Węch u ptaków jest na ogół słabo rozwinięty i nie odgrywa znaczącej roli.

Budowa układu rozrodczego

W budowie układu rozrodczego ptaków widać wiele przystosowań do aktywnego lotu. U samców występują niewielkie, fasolowate, parzyste **jądra** zlokalizowane w sąsiedztwie nerek. Wychodzą z nich, również parzyste, nasieniowody tworzące tuż przed ujściem do steku niewielkich rozmiarów woreczek nasienny. Zewnętrzne narządy kopulacyjne u większości gatunków nie występują, u niektórych są dobrze wykształcone (np. kaczka i struś), a u innych (np. bociany, czaple) mają postać uwypuklenia części steku. Narządy rozrodcze samicy są zredukowane do jednego, przeważnie lewego **jajnika** (wyjątek stanowią kukułka czy błotniak), który nie jest bezpośrednio połączony z jajowodem. Za jajowodem znajdują się macica oraz pochwa mająca ujście w steku. Narządy rozrodcze samców

i samic powiększają się znacznie w okresie godów. Poza nim są mniejsze, a ich funkcja ustaje. Do zapłodnienia **komórki jajowej** dochodzi w jajowodzie, skąd przesuwają się one wzdłuż dróg wyprowadzających, ulegając licznym przekształceniom. Komórka jajowa zostaje otoczona białkiem i podskorupowymi błonami pergaminowymi. W macicy rozpoczyna się proces tworzenia skorupy zbudowanej z węglanu wapnia. **Jajo** przebywa w macicy nawet 20 godzin (np. u kur), a następnie przesuwa się do pochwy, gdzie na skorupce odkładane są barwniki oraz warstwa śluzu ochronnego. Proces tworzenia jaja (trwający w zależności od gatunku nawet 40 godzin) kończy się jego zniesieniem, czyli wydalaniem przez stek. Dalszy rozwój zarodka odbywa się poza organizmem samicy.

Sposoby lokomocji ptaków

Charakterystyczna dla ptaków jest przede wszystkim zdolność do lotu, ale niektóre gatunki tych zwierząt równie dobrze chodzą, pływają czy nurkują. Zwykle sprawność ruchowa jednego typu idzie w parze z upośledzeniem pozostałych sposobów lokomocji. Ptaki należące do grzebiących doskonale chodzą i słabo latają, ale nie pływają ani nie nurkują. Natomiast pingwiny świetnie pływają i nurkują, nie potrafią jednak latać, a ich chód jest wyjątkowo niezgrabny. Struś afrykański doskonale biega, nie pływa natomiast ani nie lata. Najmniejsze ptaki świata, kolibry, praktycznie całe życie spędzają w powietrzu, a ich krótkie nogi właściwie uniemożliwiają im chodzenie. Najbardziej typowym sposobem lokomocji ptaków jest jednak lot, do którego przystosowały się one na wiele

sposobów. Pierwszy z nich to niewielka masa ciała (blisko 85% ptaków waży nie więcej niż 2 kg). Najcięższe ptaki latające to dropie oraz łabędzie (o maksymalnej wadze od 17 do 22 kg). Ich masa uważana jest za **fizyczną granicę możliwości lotu** (ptaki cięższe niż 22 kg nie latają). Istotny jest także odpowiedni stosunek masy ciała do powierzchni skrzydeł. Początkowa faza lotu, zwana **startem**, wymaga od ptaka najwięcej wysiłku. Skrzydła wykonują największą pracę, dlatego duże ptaki pomagają sobie rozbiegiem i startują pod wiatr. Ostatnia faza lotu to **lądowanie**, w trakcie którego ptak ustawia skrzydła i sterówki ogona prostopadłe do kierunku lotu celem zmniejszenia prędkości. Wykonuje też kilka silnych uderzeń skrzydłami, co pozwala mu uniknąć zderzenia z podłożem.

Cztery zasadnicze typy lotu ptaków



Lot czynny furkoczący

W trakcie tego lotu skrzydła poruszają się niezmiernie szybko (do 60 uderzeń na sekundę). Umożliwia on zawisnięcie w powietrzu (np. kolibrom), jak również poruszanie się w określonym kierunku.



Lot ślizgowy

Jest to lot bierny, wykorzystujący energię prędkości uzyskaną podczas lotu czynnego; często poprzedza etap lądowania (zwłaszcza u ptaków wodnych).

Lot szybowcowy bierny

W jego trakcie ptak nie porusza skrzydłami, a wykorzystuje prądy ciepłego powietrza. Lot ten jest typowy dla wielu ptaków (jak sępy, myszolewy, bociany, morskie albatrosy oraz mewy).



Lot czynny zwykły

Charakterystyczny dla większości ptaków; polega na miarowym, niezbyt szybkim poruszaniu skrzydłami.



? Porównaj funkcje, jakie mogą pełnić u ptaków różne typy lotu.

Wędrowki ptaków

Wśród żadnej grupy zwierząt wędrownych zjawisko wędrowek nie osiągnęło takich rozmiarów i zasięgu, jak u ptaków. U jego podstawy leży przede wszystkim **zdolność lotu**, pozwalająca im pokonywać znacznie większe dystanse niż zwierzętom przemieszczającym się drogą lądową. Drugim czynnikiem, który przyczynia się do wędrowek ptaków, są **zmienne sezonowo warunki klimatyczne** na pewnych obszarach globu. Ptaki nie mogą sobie pozwolić na obniżenie tempa metabolizmu i zapadnięcie w sen zimowy (hibernację), co obserwuje się u innych zwierząt, gdy temperatura spada poniżej okre-

ślonego minimum. Wyjątkiem od tej reguły jest na przykład **lelek zimowy**, **[60.9.1]** jeden z nielicznych ptaków potrafiących na okres zimy obniżyć znacząco tempo metabolizmu.

W przeciwieństwie do ptaków **osiadłych** gątki **wędrowne** odbywają długie wędrowki do obszarów, gdzie łatwiej o zdobycie pokarmu, a niska temperatura nie wymaga wydatkowania energii na utrzymanie ciepłoty ciała na stałym poziomie. Sygnałem do rozpoczęcia wędrowki są zmiany hormonalne zachodzące w odpowiedzi na zmieniający się stosunek dnia do nocy. U ptaków żyjących w strefie umiarkowanej przygotowania do lotu mogą rozpoczynać się już w sierpniu, jak dzieje się to u **jerzyka**. **[60.9.1]**

Wędrowki ptaków odbywają się na mniej więcej stałych trasach wyznaczonych na linii północ – południe. W trakcie przelotu ptaki pokonują dziennie odległość równą w przybliżeniu dwukrotności dystansu pokonywanego dziennie w czasie karmienia młodych. Przelot jesienny (w kierunku południowym) trwa zwykle dłużej niż przelot wiosenny (w kierunku północnym). Ptaki w trakcie wędrowek poruszają się zazwyczaj w grupach (gęsi, bociany) lub pojedynczo (kukułka, dudek). Największe stada w trakcie



60.9. Jerzyk (*Apus* sp.)

przelotów tworzą gęsi i szpaki. Ptaki lecące w dużych grupach mogą przyjmować charakterystyczne **szyki**. Długość trasy wędrówek jest typowa dla gatunku (dla bociana białego wynosi ok. 10 tysięcy km w jedną stronę). Najdłuższą poznaną trasę z Arktyki do Antarktyki (licząc nawet 25 tysięcy km!) pokonuje **rybitwa popielata**. **160.10.1**

Mechanizm, dzięki któremu ptaki doskonale orientują się w terenie podczas przelotów, nie jest do końca wyjaśniony. Przypuszcza się, że wykorzystują one w nawigacji położenie gwiazd i Słońca oraz ziemskie pole magnetyczne, a także zapamiętują charakterystyczne punkty orientacyjne na trasie przelotu.



60.10. Rybitwa popielata (*Sterna paradisaea*)

PODSUMOWANIE

- Ptaki mają szkielet spneumatyzowany, w ich szczękach brak zębów, a czaszka łączy się z kręgosłupem za pomocą jednego kłykcia potylicznego.
- Kręgosłup ptaków składa się z odcinków: szyjnego, piersiowego, lędźwiowo-krzyżowego oraz ogonowego.
- Przetyk gołębi rozszerza się w wole, w którym pokarm jest magazynowany i rozmiękcza.
- Ptaki mięsożerne, ponieważ nie mogą strawić kości, włosów oraz zębów ofiar, wydają je jako wypluwki.
- Serce ptaków jest czterojamowe z całkowicie rozdzieloną przegrodą międzykomorową. Występuje prawy łuk aorty.
- W układzie oddechowym ptaków występują worki płucne umożliwiające podwójne oddychanie.
- Układ wydalniczy ptaków tworzą nerki ostateczne.
- U samic ptaków dochodzi przeważnie do redukcji prawego jajnika i jajowodu.
- Proces tworzenia jaja może trwać nawet 40 godzin i kończy się jego złożeniem. Do prawidłowego rozwoju zarodka konieczne jest jego wysiadywanie.
- W układzie nerwowym ptaków wyraźnie zaznacza się rozbudowany mózg, a w szczególności mózdzek.
- Fizyczną granicę możliwości lotu stanowi masa ciała powyżej 22 kilogramów.
- Wiele ptaków, zwłaszcza żyjących w strefie umiarkowanej, odbywa długie wędrówki do stref o cieplejszym klimacie.

ZADANIA

1. Omów anatomiczne, morfologiczne oraz fizjologiczne adaptacje ptaków do aktywnego lotu.
2. Opisz, na czym polega podwójne oddychanie u ptaków. Wykaż związek tego mechanizmu ze zdolnością ptaków do aktywnego lotu.
3. Określ, ile maksymalnie uderzeń na minutę może wykonać serce ptaka. Wymień grupę ptaków, których serca biją tak szybko.
4. Omów różne rodzaje lotu spotykane u ptaków.
5. Omów funkcję, jaką pełni wole (np. u gołębi).
6. Określ, w jakich kierunkach geograficznych odbywają się wędrówki ptaków.

BIBLIOGRAFIA

Ganeri A., *Wszystko o Ptakach*, Świat Papieru 2005.

61. Rozmnażanie i rozwój ptaków

Ptaki charakteryzuje olbrzymia różnorodność obyczajów związanych z rozrodem i nierzadko skomplikowane **rytuały godowe**. Wielkość ptaka decyduje o szybkości osiągnięcia dojrzałości płciowej oraz o częstotliwości lęgów. Małe ptaki stają się zdolne do rozrodu w ciągu roku po wylęgu i mogą mieć 2–3 lęgi rocznie (np. jaskółki). Duże ptaki natomiast osiągają dojrzałość do trzech lat po wylęgu i lęgą się raz rocznie (np. orzeł). Zachowanie rodziców ptaków obejmuje charakterystyczne etapy. Są to: **toki** i **zalatoty** (tańce godowe), łączenie się w pary, budowa gniazda, zniesienie, a następnie wysiadywanie jaj oraz opieka nad wykutym z nich potomstwem. W trakcie tańców godowych płęć jaskrawiej ubarwiona (zwykle są to samce) demonstruje przed płcią przeciwną upierzenie godowe oraz przyjmuje różne pozy. U niektórych gatunków ważną rolę odgrywa śpiew, jak również rytualne walki między samcami.



Żołna

Rozród ptaków

Zapłodnienie u ptaków jest wewnętrzne, jednak narządy kopulacyjne występują rzadko. Do zaplemnienia dochodzi najczęściej na skutek zetknięcia się kloakami. U gatunków budujących gniazda akt płciowy odbywa się w gnieździe lub jego pobliżu. W wyjątkowych wypadkach do zapłodnienia dochodzi w powietrzu w czasie lotu godowego (np. u jerzyków). Po zapłodnieniu plemniki żyją dość długo w drogach rodnych jajowych przez 8 do 10 dni. Po skojarzeniu większość ptaków buduje gniazdo, jednak nie wszystkie. **Pingwiny** zadowolają się trzymaniem jaj w specjalnym fałdzie skórny na brzuchu. **61.2.1** Maskonury zamieszkujące strome nadmorskie urwiska składają jaja bezpośrednio na skale. Niektóre drapieżniki (np. sokół, sowa jarzębata) wykorzystują gniazda opuszczone przez inne



61.1. Remiz (*Remiz sp.*) budujący misterne, podwieszane gniazdo

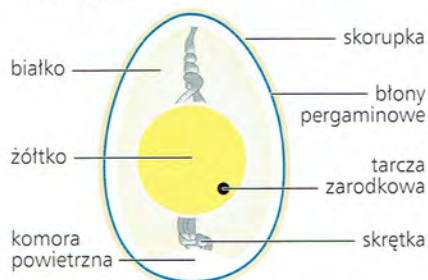
ptaki. Natomiast mistrzem w budowaniu gniazda jest **raniuszek**, który tworzy misterną konstrukcję (z ok. 2000 elementów) zespoloną za pomocą pajęczyny. Mistrzostwo należy się także **remizowi 61.1.1**, który buduje skomplikowane gniazdo przyłączone u spodu gałęzi. Z kolei powszechna w Polsce **jaskółka oknówka** tworzy gniazdo z błota,

co wymaga od niej odbycia nawet 1600 przelotów! Wszystkie bez wyjątku ptaki znoszą **jaja** otoczone twardą **wapienną skorupą** (to jedyna gromada kręgowców, u której nie wykształciła się żyworodność). **61.3.1** Niektóre gatunki (np. albatrosy) znoszą tylko jedno jajo, a inne nawet kilkanaście (np. raniuszki – do 11 jaj). Największe są jaja strusia (o wadze ok. 1,6 kg, co stanowi ok. 1% masy ciała osobnika dorosłego). Wymarły **struś madagaskarski** znosił jaja (największe w historii) o pojemności około 9 litrów.

61.2. Pingwin wysiadujący jajo



61.3. Budowa jaja



Najmniejsze jaja należą do kolibrów (ważą zaledwie 0,3 g, co i tak stanowi 1,5% masy dorosłego ptaka). Wewnątrz jaja znajduje się **żółtko** (bogate w tłuszcze), będące w istocie olbrzymią komórką i mające za zadanie odżywianie zarodka, który początkowo rozwija się na powierzchni kulki żółtkowej. Jest ona przymocowana do dwóch przeciwnych końców jaja za pomocą charakterystycznych białkowych **skrętek** zwanych **chalazami**. Rozwijający się zarodek zawieszony jest w płynnym ośrodku zwanym **białkiem**, którego zadaniem jest amortyzacja wstrząsów i zapewnienie zapasów wody. Charakterystyczne dla ptaków jest **wysiadywanie jaj**. Mogą w nim uczestniczyć oboje rodzice (np. u czapli), tylko samice (np. u kaczki) lub tylko samce (np. u kazuara). Czas wysiadywania waha się od 10 dni u małych wróblowatych aż do 80 dni u albatrosów. Młode przebijają skorupkę za pomocą **zęba jajowego** znajdującego się na końcu szczęki górnej. Pod względem stopnia rozwoju i samodzielności piskląt dzieli się ptaki na dwie grupy. Pierwsza to **gniazdowniki** (np. wróbel, dzięcioł, gołąb), których pisklęta są początkowo ślepe, głuche, niedołężne i muszą długi czas przeby-



61.4. Przykład opieki rodzicielskiej u ptaków

wać w gnieździe. Druga to **zagniazdowniki**, których pisklęta po wykluciu są stosunkowo dobrze rozwinięte i w krótkim czasie rozpoczynają mniej lub bardziej samodzielne życie. U ptaków rozwinęły się również różnorodne formy opieki nad potomstwem. Podstawowym jej przejawem jest instynkt karmienia. **61.4.1** Niektóre gatunki (np. perkoz) wysiadują pisklęta także po wykluciu, a gdy opuszczają gniazdo, przykrywają je resztkami roślinnymi, aby zabezpieczyć młode przed atakiem drapieżnika. Większość ptaków nie zbliża się do gniazda w obecności drapieżnika, aby nie wskazywać mu drogi. Samice licznych gatunków udają częściową niesprawność (kuleją lub symulują złamanie skrzydła), aby odciągnąć intruza z rejonu gniazda.

PODSUMOWANIE

- Kolejne etapy zachowań godowych ptaków to: tokowanie, tworzenie pary, budowa gniazda oraz złożenie i wysiedzenie jaj.
- Wszystkie ptaki znoszą jaja, u żadnego ze znanych gatunków nie wykształciła się żyworodność.
- Jajo ptaka zawiera żółtko będące materiałem zapasowym dla rozwijającego się zarodka.
- Młode przebijają skorupkę jaja za pomocą specjalnego zęba jajowego.
- Po złożeniu jaj ptaki przystępują do ich wysiadywania. Może to zajmować nawet 80 dni.
- Ze względu na stopień samodzielności piskląt po wylęgu ptaki dzielimy na gniazdowniki i zagniazdowniki.
- Ptaki wykazują wiele zachowań służących ochronie piskląt (np. maskowanie gniazda czy odciąganie uwagi drapieżnika).



ZADANIA

1. Wyjaśnij funkcję chalaz znajdujących się wewnątrz jaja ptaka.
2. Podaj nazwę zalotów i tańców godowych u ptaków. Określ role tych zachowań w procesie rozrodu.
3. Porównaj formy opieki nad potomstwem u gniazdowników i zagniazdowników.
4. Poszukaj w dostępnych źródłach informacji dotyczących wielkości terytoriów i zachowań związanych z ich ochroną oraz zaznaczaniem granic u dwóch dowolnie wybranych gatunków ptaków. Znalezione informacje przedstaw w postaci plakatu.



BIBLIOGRAFIA

Zawadzka D., *Ptaki Żyjące w Mieście*, Multico, Warszawa 2011.



62. Przegląd systematyczny i znaczenie ptaków

Klasyfikacja ptaków nie jest do końca ustalona i wciąż pozostaje kwestią sporną. Najnowsze systemy opierają się zarówno na analizach okazów kopalnych, jak i na dowodach dostarczanych przez biologię molekularną. Współcześnie żyjące ptaki zaliczane są do podgromady **ptaków właściwych** (*Neornithes*). W jej obrębie wyróżnić można dwa **nadrzędy**: **paleognatyczne** (*Paleognathae*), dawniej: bezgrzebieniowe, oraz **neognatyczne** (*Neognathae*), dawniej: grzebieniowe.

Paleognatyczne (*Paleognathae*)

Do tego nadzędu zaliczamy przede wszystkim ptaki pozbawione zdolności do lotu lub latające słabo. Ich skrzydła są na ogół mocno uwstecznione, a w mostku nie stwierdza się obecności grzebienia służącego jako miejsce przyczepu mięśni piersiowych. Do tej grupy ptaków należy współcześnie pięć rzędów.

Strusie (*Struthioniformes*)

Rząd ten obejmuje największego ptaka świata (o wysokości sięgającej 2,6 m i masie do 150 kg!) – **strusia afrykańskiego**. **62.1.1** Odżywia się on pokarmem roślinnym, w którego trawieniu pomagają kamienie znajdujące się w żołądku (może ich być nawet do 2 kg). Jest doskonałym biegaczem. Ze względu na dużą masę ciała strusie nie wykazują żadnych zdolności do lotu.



62.1. Struś afrykański (*Struthio camelus*)

Nandu (*Rheiformes*)

To ptaki (o wysokości do 1,5 metra i masie do 25 kg) żyjące w Argentynie, Brazylii oraz na obszarze Patagonii. W odróżnieniu od strusia umieją pływać. Wysiadywaniem jaj (trwającym do 40 dni) zajmuje się wyłącznie samiec. Przedstawicielem tego rzędu jest **nandu szare**. **62.2.1**



62.2. Nandu szare (*Rhea americana*)

Kazuarowe (*Casuariiformes*)

Należy tu **emu** **62.3.1**, który jest uważany za drugiego co do wielkości ptaka świata (mierzy do 1,9 m, a waży do 45 kg). Żyje w Australii, jest roślinożerny i, podobnie jak struś, bardzo szybko biega.



62.3. Emu (*Dromaius sp.*)

Kiwi (*Apterygiformes*)

To najmniejszy z bezgrzebieniowców (osiąga długość 55 cm przy masie maksymalnie 3,5 kg). Zamieszkuje lasy Nowej Zelandii. **162.4.1** Jest to nocny drapieżnik polujący na dżdżownice i pająki. Samica składa trzy olbrzymie jaja stanowiące 25% masy ciała. Wysiadywanie ich trwa do 84 dni.

Kusacze (*Tinamiformes*)

Są to ptaki blisko spokrewnione z nandui, nieco większe od kuropatwy. Latają bardzo słabo. Mają najmniejsze serca i płuca wśród ptaków (w porównaniu do ich wielkości). Samica składa do 10 jaj, których wysiadywanie i opiekę pozostawia samcowi. **162.5.1**



62.4. Kiwi
(*Apteryx* sp.)



62.5. Kusacz
(*Crypturellus* sp.)

Neognatyczne (*Neognathae*)

Do nadrzędu tego zaliczamy większość współcześnie żyjących ptaków. Na ogół mają one dobrze wykształcony grzebień na mostku i bardzo dobrze latają. Przedstawiciele ptaków neognatycznych pojawili się w górnej kredzie (ok. 65 mln lat temu), u schyłku epoki dinozaurów. W grupie tej wyodrębniono liczne rzędy cechujące się odmiennymi przystosowaniami do życia w różnych środowiskach.

Nury (*Gaviiformes*)

Należą tu ptaki wodne. Żywią się rybami i ślimakami. Samiec i samica odbywają gody na brzegu, po czym budują niewielkie gniazdo. Pomiędzy pazurami na kończynach dolnych rozpięta jest błona pławna. Przedstawicielem jest **nur rdzawoszyi**. **162.6.1**

Perkozy (*Podicipediformes*)

Przedstawicielem jest **perkoz dwuczuby**. **162.7.1** Występuje w pobliżu ujść rzek Europy, Afryki oraz Australii. Na głowie ma dwa charakterystyczne pierzaste czubki. Rodzice, gdy opuszczają gniazdo, przykrywają je dla zamaskowania liśćmi roślin wodnych.

Rurkonose (*Procellariiformes*)

Należą tu morskie ptaki wydalające nadmiar soli przez rurkowate nozdrza. Palce kończyn dolnych połączone są błoną pławną. Rurkonose poruszają się lotem szybowcowym. Przedstawicielem jest **albatros wędrowny**. **162.8.1**



62.6. Nur rdzawoszyi (*Gavia stellata*)

62.7. Perkoz dwuczuby (*Podiceps cristatus*)62.8. Albatros wędrowny (*Diomedea exulans*)

Drapieżne (*Falconiformes*)

Charakteryzują się ostrymi szponami i haczykowatym dziobem. Obserwuje się u nich wyraźny dymorfizm płciowy (samica jest większa od samca). Osiągają wielkość do 130 cm. Przedstawicielem jest **bielik**. 62.9.1

Stepówki (*Pteroclitiformes*)

Charakteryzują się krępy tułowiem i krótką szyją, ale długimi skrzydłami i ogonem (całkowita długość ciała wynosi 25–45 cm). Występuje u nich wyraźny dymorfizm płciowy. Zakładają gniazda na ziemi. Przedstawicielem jest **pustynnik zwyczajny**. 62.10.1

Pełnopłetwe (*Pelecaniformes*)

Rząd ten obejmuje ptaki prowadzące wodny tryb życia, które doskonale pływają i nurkują (kormorany nawet do 9 m głębokości). Odżywiają się głównie rybami. Palce kończyn tylnych są połączone błoną pławną, dzięki czemu funkcjonalnie przypominają wiosło. Pełnopłetwe mają dobrze rozwinięty gruczoł kuprowy, którego wydzielina zabezpiecza przed zawilgoceniem piór. Przedstawicielami są **kormorany**, 62.11.1 **głuptaki**, **pelikany**.

62.9. Belik (*Haliaeetus* sp.)62.10. Pustynnik zwyczajny (*Syrrhaptes paradoxus*)62.11. Kormoran czarny (*Phalacrocorax carbo*)

62.12. Łabędź niemy (*Cygnus olor*)62.13. Mewa śmieszka (*Larus ridibundus*)

Blaszkodziobe (*Anseriformes*)

Należą tu ptaki związane ze środowiskiem wodnym, mające dobrze rozwinięty gruczoł kuprowy oraz trzy przednie palce połączone błoną pławną. Potrafią nurkować, choć nie tak sprawnie jak kormorany. Żywią się głównie bezkręgowcami i roślinami, które odcedzają z wody za pomocą spłaszczonego dzioba działającego jak sito. Potrafią sprawnie poruszać się w powietrzu, choć nie posługują się lotem szybowcowym. Nie zawsze występuje wyraźny dymorfizm płciowy. Najmniejszym przedstawicielem tego rzędu jest **cyraneczka**, a największym – **łabędź niemy**. **62.12.1**

62.15. Bocian biały (*Ciconia ciconia*)62.16. Flaming chilijski (*Phoenicopterus chilensis*)

Siewkowe (*Charadriiformes*)

Do tego rzędu należą ptaki zamieszkujące brzegi morskie, ale również otwarte przestrzenie; zarówno gatunki osiadłe, jak i wędrowne. Spotykane są na całym świecie. Przedstawicielami siewkowych są **mewy 62.13.1** i **wydrzyki**.

Wróblowate (*Passeriformes*)

Rząd ten obejmuje blisko 5500 gatunków (ponad 50% wszystkich znanych ptaków). Wróblowate to najliczniejszy rząd ptaków, zróżnicowany pod względem wielkości i morfologii. Należą do niego ptaki w większości dobrze latające, żyjące na drzewach. Ich cechą charakterystyczną jest zdolność do śpiewania. Wróblowate występują na całej kuli ziemskiej z wyjątkiem Antarktydy. Nazwa grupy wywodzi się od **wróbla zwyczajnego 62.14.1**, zwanego domowym. Poza nim do rzędu należą również **gawrony, sroki, kruki, wrony, sójki, szpaki, jasiołuszki, sikory, kosy, skowronki i zięby**.

62.14. Wróbel zwyczajny (*Passer montanus*)

Brodzące (*Ciconiiformes*)

Rząd składa się z jednej rodziny – **bocianowatych (*Ciconiidae*)**. Wszystkie należące do niej gatunki są kosmopolityczne, w większości wędrowne. Posiadają długą, gładką szyję i nogi. Występują we wszystkich środowiskach poza strefami polarnymi. Poruszają się w płytkiej wodzie (brodzą). Żywią się rybami oraz niewielkimi kręgowcami. Niektóre (marabuty) są padlinożerne. Występującym w Polsce przedstawicielem tej rodziny jest **bocian biały. 62.15.1**

Flamingi (*Phoenicopteriformes*)

Rząd ten obejmuje gatunki brodzące występujące w strefie klimatów gorących oprócz obszaru Australii. Mają długą, węzowatą szyję, krótki ogon, oraz charakterystyczny gruby dziób, w połowie zagięty ku dołowi (osiągają wysokość do 170 cm). Upierzenie jest często białe do różowego. Przedstawicielem jest **flaming chilijski**. **162.16.1**

Sowy (*Strigiformes*)

To rząd obejmujący gatunki drapieżne zaadaptowane do nocnego trybu życia (nieliczne polują w dzień). Występują we wszystkich obszarach globu. Do najważniejszych cech sów należą: doskonały wzrok i słuch, ostre dzioby i szpony, a także zdolność widzenia stereoskopowego. Przedstawicielem jest **sowa uszata**. **162.17.1**



62.17. Sowa uszata (*Asio flammeus*)

Kukutkowe (*Cuculiformes*)

Rząd ten obejmuje ptaki żyjące głównie w lasach, zwykle osiadłe, choć znane są również gatunki wędrowne. Występują one na całym świecie poza regionami podbiegunowymi. Są to ptaki średniej wielkości (od 15 do 80 cm), których charakterystyczną cechą jest „podrzucanie” jaj do wysiadywania i karmienia ptakom innego gatunku. Przedstawicielem jest **kukutka czubata**. **162.18.1**

Dzięciotowe (*Piciformes*)

Rząd ten obejmuje leśne gatunki (o długości do 50 cm i masie rzadko przekraczającej 300 g) występujące poza strefami polarnymi, Australią, Madagaskarem oraz Nową Zelandią. U dzięciotów dymorfizm płciowy jest słabo zaznaczony. Należą tu gatunki zarówno mięsożerne, jak i roślinożerne. Przedstawicielem jest **dzięciół duży**. **162.19.1**



62.19. Dzięciół duży (*Dendrocopos major*)



62.18. Kukutka czubata (*Clamator glandarius*)

Żurawiowe (*Gruiformes*)

Rząd ptaków prowadzących naziemny tryb życia. Są spotykane na stepach, pustyniach oraz na sawannie. Przykładem są **żuraw** **62.20.1** i **koronnik szary**.

Grzebiące (*Galliformes*)

Rząd ten obejmuje gatunki lądowe, odżywiające się nasionami, owocami i niekiedy małymi zwierzętami. W tej grupie obserwuje się wyraźny dymorfizm płciowy (samce są większe i barwniejsze). Przedstawicielami są **kura domowa**, **cietrzew**, **głuszc** **62.21.1**, **kuropatwa**.

Gołębiowe (*Columbiformes*)

Przedstawiciele tego rzędu zamieszkują większość biotopów kuli ziemskiej poza Arktyką i Antarktyką. Należą tu ptaki średniej wielkości o krótkim i mocnym dziobie. Maksymalne rozmiary osiąga **gołąb groniec** (84 cm). Gołębiowate są dobrymi lotnikami, choć radzą sobie również na ziemi. Przedstawicielem jest **gołąb skalny** **62.22.1**.

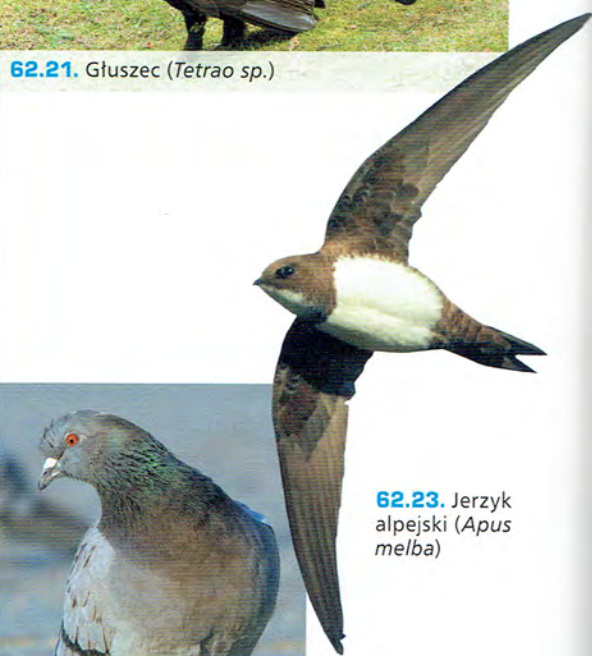
Jerzykowe (*Apodiformes*)

Rząd ten obejmuje gatunki zamieszkujące większość biotopów oprócz Antarktydy, Australii i Nowej Zelandii. Ptaki należące do jerzykowych doskonale latają, ale specyficzna budowa nóg uniemożliwia im sprawne poruszanie się po ziemi. Osiągają niewielkie rozmiary (do 30 cm długości). W zależności od regionu, z którego pochodzą, prowadzą osiadły tryb życia lub też odbywają coroczne wędrówki. Odżywiają się pokarmem mieszanym, złożonym głównie z owadów. Przedstawicielem jest **jerzyk alpejski** **62.23.1**.

62.20. Żuraw (*Grus sp.*)



62.21. Głuszc (*Tetrao sp.*)



62.23. Jerzyk alpejski (*Apus melba*)

62.22. Gołąb skalny (*Columba livia*)



Znaczenie ptaków w przyrodzie oraz gospodarce i życiu człowieka

Ptaki są największą grupą kręgowców lądowych. Wiele z nich to sprawne drapieżniki (np. sowy), które przyczyniają się do regulacji wielkości populacji owadów i gryzoni, powodujących często znaczne szkody w rolnictwie. Korzystne jest pozostawianie zadrzewień w okolicy pól uprawnych, stają się one bowiem miejscem osiedlania ptaków polujących na szkodniki. Uważa się także, że zbyt duża liczba ptaków na terenach rolniczych może przyczyniać się do strat w zasiewach (ptaki mogą zjadać ziarno zbóż). Praktyka jednak pokazuje, że o wiele większe straty powoduje niekontrolowany przyrost populacji gryzoni i owadów.

Niektóre gatunki ptaków, zwłaszcza małych (np. kolibrów), biorą czynny udział w procesie zapylania kwiatów. Dzięki zdolności do lotu furkoczącego mogą one zawisnąć w powietrzu i za pomocą długiego dzioba pobierać nektar z kwiatu. W tym samym czasie duża ilość pyłku osadza się na powierzchni dzioba i piór, a później zostaje przeniesiona na inny kwiat. Z kolei ptaki roślinożerne przyczyniają się do rozprzestrzeniania nasion: zjadają owoce, a niestrawione nasiona rozsiewają w znacznej odległości od rośliny macierzystej. Natomiast sępy żyjące na stepach Afryki są ptakami wyspecjalizowanymi w zjadaniu padliny. **62.24.1** W swoim środowisku pełnią więc ważną funkcję sanitarną, gdyż zjadają szczątki zwierząt (pozostawione np. przez lwy). Wiele gatunków ptaków podlega ochronie prawnej, w Polsce dotyczy to większości gatunków.

W gospodarce człowieka ptaki również odgrywają istotną rolę jako zwierzęta hodowlane, gdyż dostarczają mięsa, jaj i piór. Mowa tu nie tylko o kurach domowych, kaczkach czy gęsiach,



62.24. Sępy (*Gyps* sp.)

ale o coraz popularniejszych strusiach. W 1997 roku zostały one w Polsce zaliczone do drobiu użytkowego, a liczba hodowanych ptaków tego gatunku wynosi w naszym kraju obecnie kilkadziesiąt tysięcy sztuk.

Bardzo rozpowszechniona na świecie (również w Polsce) jest hodowla gołębi pocztowych. To odmiany gołębia skalnego, którego cechą jest zdolność powracania do macierzystego gołębnika nawet z olbrzymich odległości. Już niemal tysiąc lat temu w Chinach i na Bliskim Wschodzie gołębie pocztowe były wykorzystywane do roznoszenia niewielkich przesyłek i listów. Dziś przede wszystkim uczestniczą w zawodach polegających na jak najszybszym dotarciu do gołębnika z punktu znacznie od niego oddalonego (niepotwierdzony rekord mówi o gołębiu, który pokonał trasę długości 25 tysięcy km między Wiedniem a gołębnikiem w Wietnamie!). Standardowy dystans, na jakim organizowane są konkursy (wynoszący 1000 km), niektóre ptaki potrafią pokonać w czasie krótszym niż jeden dzień! Najszybsza zanotowana prędkość gołębia pocztowego to prawie 130 km na godzinę!

:: Ciekawostka

W latach 1958–1962 w Chińskiej Republice Ludowej, na wniosek ówczesnego przywódcy Mao Tse-tunga, prowadzono **kampanię zwalczania czterech plag**. Polegała ona na tępieniu szczerów, wróbli, komarów oraz much, czego celem miało być podniesienie poziomu higieny oraz zwiększenie wydajności upraw. Wróble uznano za szkodniki, ponieważ obwiniano je o wyjadanie ziarna na zasiewy. W wyniku masowego zwalczania populacja tych ptaków w krótkim czasie uległa załamaniu. Efekt był odwrotny od zamierzonego. Brak naturalnego wroga doprowadził do niekontrolowanego wzrostu populacji owadów (głównie szarańczy). Olbrzymia część plonów została zniszczona, co stało się przyczyną głębszego głodu, która pochłonęła wiele milionów ludzkich istnień.



62.25. Sokół wędrowny (*Falco peregrinus*)

Drapieżniki (np. sokoły wędrowne lub jastrzębie) wykorzystuje się do odstraszenia ptaków żerujących na obszarach lotnisk. **162.25.1** Nawet niewielkie ptaki (np. wróble), gdy dostaną się do wnętrza silnika samolotu, mogą stać się przyczyną katastrofy i spowodować duże straty materialne, a niekiedy – ofiary śmiertelne w ludziach. Dlatego na większości lotnisk (również na warszawskim Okęciu) pracują jednostki sokolników. Znajdujące się pod ich opieką ptaki regularnie patrolują teren, odstrasżając inne ptactwo.

Omawiając znaczenie ptaków, nie należy zapominać o ich negatywnym wpływie na życie człowieka. Przede wszystkim mogą one, zwłaszcza ptaki hodowlane, przyczyniać się do rozprzestrzeniania chorób (np. tzw. ptasiej grypy, która powstała z połączenia trzech różnych wersji wirusa – ptasiej, świńskiej i ludzkiej).

PODSUMOWANIE

- Wszystkie współcześnie żyjące ptaki zaliczane są do podgromady *Neornithes*, czyli ptaków właściwych, i stanowią największą grupę kręgowców lądowych.
- Ptaki właściwe dzielą się na dwa nadrzędy: *Paleognathae* oraz *Neognathae*.
- Do nadrzędu *Paleognathae* należą pozbawione zdolności lotu: strusie, nandu, kazuarowe, kiwi oraz kusace.
- Do *Neognathae* należą: pingwiny, nury, perkozy, rurkonose, drapieżne, stepówki, pełnopłetwe, blaszkodziobe, siewkowe, wróblowe, brodzące, flamingi, sowy, kukułkowe, kolibry, dzięciołowe, żurawiowe, grzebiące, gołębiowe oraz jerzykowe.
- Największym ptakiem świata jest struś afrykański (o wysokości do 2,6 m i masie do 150 kg).
- Do najmniejszych ptaków należą kolibry, osiągające największe tempo uderzeń serca i skrzydeł na minutę.
- Ptaki w przyrodzie mają głównie znaczenie pozytywne: regulują wielkość populacji gryzoni i owadów (drapieżniki), pełnią rolę sanitarną (padlinożerne, np. sępy), przyczyniają się do zapylania kwiatów (np. kolibry).
- Umiejętności ptaków są wykorzystywane przez człowieka (np. sokoły patrolują okolice lotnisk, a gołębie pocztowe dawniej roznosiły przesyłki).

ZADANIA

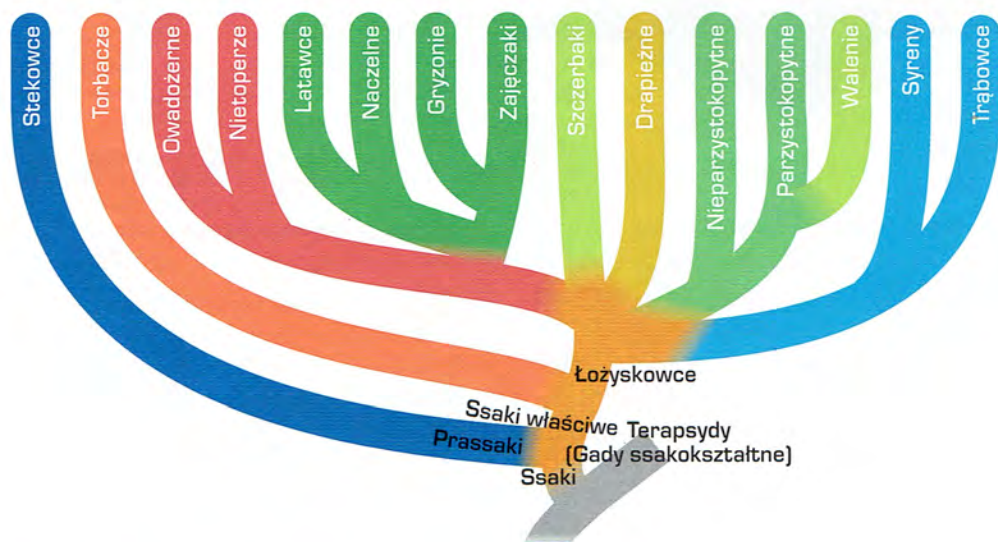
1. Wyjaśnij, dlaczego największy ptak świata – struś afrykański – jest nielotem. Wymień inne przystosowania, jakie wykształciły się u tego zwierzęcia w związku z odmiennym sposobem poruszania się.
2. Opisz, czym charakteryzują się ptaki należące do *Neognathae*, i podaj, w jakim okresie dziejów ziemi się pojawiły.
3. Scharakteryzuj pozytywne znaczenie ptaków w gospodarce człowieka.
4. Znajdź w materiałach źródłowych informacje dotyczące tego, jak dawniej wykorzystywano gołębie pocztowe. Przedstaw te wiadomości w formie plakatu.

BIBLIOGRAFIA

Grzędzicka E., *Ilustrowany atlas ptaków*, Buchmann Sp. z o.o., Warszawa 2011.

63. Filogeneza i budowa zewnętrzna ssaków

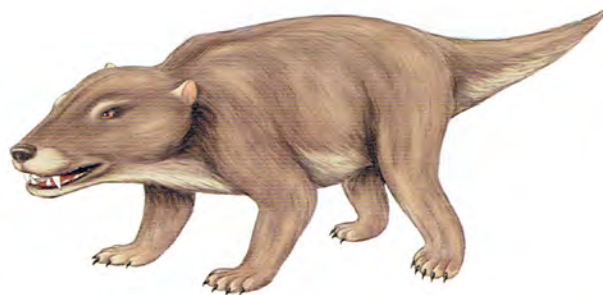
Według różnych źródeł obecnie żyje na świecie blisko **5500 gatunków ssaków** (*Mammalia*), z czego jedynie około 180 w Europie. Ta grupa zwierząt jest więc najmniej liczną gatunkowo gromadą kręgowców. Mimo to ssaki mogą poszczycić się niewątpliwym sukcesem ekologicznym, czego dowodem jest ich rozprzestrzenienie (występują w praktycznie wszystkich środowiskach: wodnym, lądowym, a nawet powietrznym). Cechami ssaków wyjątkowymi w świecie kręgowców są gruczoły mleczne samic oraz włosy pokrywające ciało (będące wytworem rogowaciejącego naskórka). Ssaki są razem z ptakami jedynymi kręgowcami, u których wykształciła się stałocieplność – większość gatunków utrzymuje temperaturę ciała na poziomie 35–40°C. Przeciętny ssak jest niewielkim stworzeniem, ale masa największego z nich, płetwala błękitnego, dochodzi do 180 ton i 30 metrów długości.



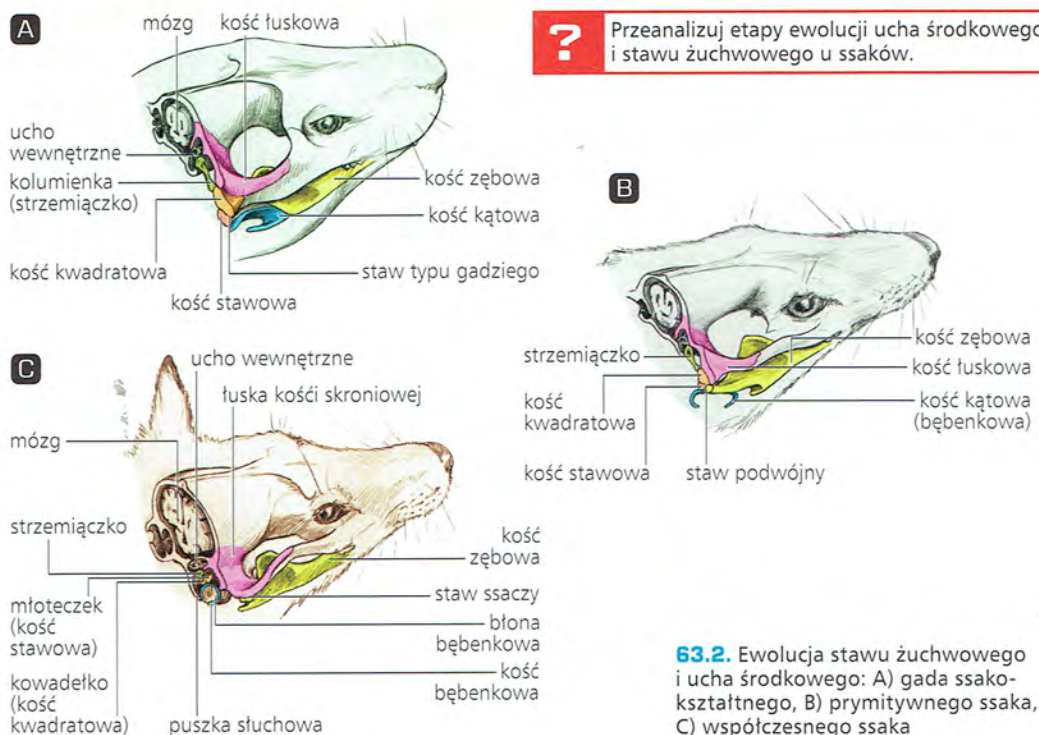
Filogeneza ssaków

Ssaki należą do linii rozwojowej owodniowców, która oddzieliła się od pozostałych już pod koniec **karbonu** (ok. 300 mln lat temu). Tworzyły ją tak zwane **synapsydy** (*Synapsida*, dawniej: gady ssakokształtne), które dominowały w permie i na początku triasu. W obrębie synapsydów wyróżnia się tradycyjnie dwa rzędy: **pelykozaury** oraz **terapsydy**. Z jednej z grup terapsydów wyodrębniły się w końcowym permie **cynodonty**. **63.1.1** Należały do nich zwierzęta uważane za bezpośrednich przodków ssaków, których pierwsi przedstawiciele pojawili się w późnym triasie.

Podczas analiz materiału paleontologicznego dużą trudność sprawia znalezienie kryterium



63.1. Przedstawiciel cynodontów – *Cynognathus sp.*



pozwalającego na jednoznaczne odróżnienie gadów i ssaków. Jednym z najważniejszych okazało się **kryterium żuchwy**. Staw żuchwowy gadów tworzą kości: **stawowa** (należąca do żuchwy) i **kwadratowa** (należąca do czaszki). Gdy obie te kości weszły w skład ucha środkowego po przekształceniu się w kostki słuchowe (**młoteczek** i **kowadełko**), zwierzęta utraciły typowo gadzi staw żuchwowy. **163.2.1** Nowe połączenie żuchwy z czaszką (charakterystyczne dla ssaków) opierało się na zestawieniu **kości zębowej** bezpośrednio z **łuską kości skroniowej**.

Mimo dominacji dinozaurów, już w mezozoiku wyodrębniły się dwie linie ewolucyjne ssaków: **torbacze** i **łożyskowce**. Wraz ze zniknięciem dinozaurów pod koniec mezozoiku nastąpiła gwałtowna ekspansja ssaków, które zaczęły zajmować nisze ekologiczne zwolnione przez wymarłe gady. W trzeciorzędzie powstały nietoperze (jedynie ssaki latające), a część gatunków przystosowała się wtórnie do życia w środowisku wodnym (walenie, a później syreny). Ze względu na geograficzną izolację Australii i Ameryki Południowej w tych regionach świata

doszło do specjalizacji populacji torbaczy. Mimo iż torbacze i łożyskowce rozwijały się jako grupy całkowicie odrębne, wykształciły zbliżone przystosowania do środowiska. Jest to tak zwana **konwergencja 163.3.1**, czyli występowanie podobnych cech morfologicznych i funkcjonalnych u organizmów bardzo daleko ze sobą spokrewnionych. Adaptacje te są odpowiedzią na podobne wymagania środowiskowe (typ środowiska lub sposób zdobywania pokarmu). Dobrym przykładem konwergencji są ryby oraz morskie ssaki (np. delfiny).

Do dzisiejszej dominacji ssaków niewątpliwie przyczyniło się wykształcenie **endotermii**, czyli stałocieplności. Stało się to możliwe dzięki znacznemu przyspieszeniu tempa metabolizmu i wykształceniu w pełni rozdzielonych obiegów krwi. Nie mniej ważne okazało się usprawnienie procesu oddychania w wyniku wytworzenia przepony gwarantującej sprawną wentylację płuc. Istotną okazała się też termoizolacyjna warstwa sierści i tłuszczowej tkanki podskórnej. W sytuacji grożącej przegrzaniem gruczoły potowe w sprawny sposób są w stanie obniżyć temperaturę ustroju do wartości optymalnych.



63.3. Konwergencja ewolucyjna łozyskowców i torbaczy: A) kret workowaty (*Notoryctes typhlops*), B) kret europejski (*Talpa europaea*), C) wilk workowaty (*Thylacinus cynocephalus*), D) wilk szary (*Canis lupus*)

Budowa zewnętrzna ssaków

Ssaki różnią się zasadniczo pokrojem od gadów. Kończyny ustawione pionowo pod tułowiem pozwalają ssakom na utrzymanie większej masy ciała kosztem mniejszej pracy mięśni. Umożliwiło to znaczne zwiększenie aktywności życiowej, tempa przemiany materii, a tym samym pozwoliło na wykształcenie stałocieplności. Większość ssaków to czworonogie zwierzęta naziemne, jednak wiele z nich przystosowało się do życia na drzewach, pod ziemią lub w środowisku wodnym. Dwunożność wykształciła się u nielicznych grup, jak kangurowate i naczelne.

Pokrycie ciała

Ciało ssaków pokrywa **skóra** zbudowana z trzech warstw: tkanki podskórnej, skóry właściwej oraz naskórka. Na ogół porasta ją **sierść** złożona z **włosów** – wytworów naskórka charakterystycznych dla tej grupy zwierząt. Chronią one skórę przed urazami mechanicznymi oraz pomagają utrzymać **stałą temperaturę ciała**, gdyż zapobiegają zarówno przegrzaniu, jak i utracie ciepła. Włosy u różnych gatunków znacznie różnią się budową i pełnionymi funkcjami. Mogą być miękkie i wełniste jak u owcy lub grube, sztywne i szczeciniaste jak u dzika. U niektórych gatun-

ków (np. jeż, kolczatka) włosy przekształciły się w kolce. Szczególnie ciekawym przykładem są **wibrysy**, czyli grube, proste i sztywne **włosy dotykowe**. Występują u kotów i gryzoni na policzkach i nad oczami. **163.4.1**

Dzięki licznym zakończeniom nerwowym znajdującym się u nasady wibrysów zwierzęta są w stanie precyzyjnie odbierać informacje dotykowe ze środowiska. Umożliwia to poruszanie się nawet w zupełnych ciemnościach. W skórze ssaków znajdują się także różne typy **gruczołów** o pochodzeniu naskórkowym: potowych, łojowych, mlecznych oraz zapachowych. **Gruczoły potowe** biorą udział w termoregulacji. Pot wydzielany na powierzchnię skóry rozlewa się po niej cienką warstwą i parując, odbiera ciepło z wnętrza ciała. **Gruczoły łojowe**, produkujące sebum (łój), uchodzą do mieszków włosowych. Ich wydzielina powoduje odpowiednie natłuszczenie włosa i otaczającej go skóry. **Gruczoły mleczne** występujące u samic ssaków są w rzeczywistości przekształconymi gruczołami potowymi. W okresie laktacji produkują mleko, czyli płynną mieszaninę białek, cukrów i tłuszczów w ilościach zbilansowanych, służącą jako podstawowy pokarm dla potomstwa. Szczególnym rodzajem gruczołów potowych są gruczoły

zapachowe uchodzące do wnętrza mieszka włosowego. Odpowiadają one za wydzielanie tak zwanego zapachu osobniczego, umożliwiającego rozpoznawanie poszczególnych osobników w stadzie czy oznaczanie terytorium. Odgrywają szczególną rolę, sygnalizując gotowość do kopulacji. Do innych wytworów naskórka ssaków należą **pazury**, **paznokcie** i **kopyta**. Wszystkie powstają w ściśle określonych miejscach ciała, najczęściej jako wytwór grzbietowej części dystalnych paliczków obu kończyn. Służą do podtrzymywania ciała (kopyta), ochrony (paznokcie) lub zdobywania pokarmu (pazury). U ssaków krętorogich (jak np. muflon, żubr, krowa, antylopa) występują charakterystyczne wytwory skóry właściwej zwane **rogami**. Podobnie jak paznokcie zbudowane są z twardego białka – **keratyny**. Rogi wyrastają na głowie z wyrostków kości czołowej zwanych **moździeniami**. Są obecne u obu płci, mogą mieć różną długość i strukturę, a co więcej – rosną przez całe życie. Z kolei u jeleniowatych na bazie moż-



63.4. Wibrysy kota domowego

dzeni wyrasta **poroże**, czyli twardy twór kostny złożony z pnia i odrostków odchodzących od niego. W odróżnieniu od rogów występuje ono wyłącznie u samców (wyjątek stanowią renifery) i może osiągać olbrzymie rozmiary. Służy do obrony i walki o samice w czasie godów. Pod względem strukturalnym składa się wyłącznie z tkanki kostnej (brak śladów substancji rogowej) i jest corocznie zrzucone.

PODSUMOWANIE

- Ssaki to najmniej liczna gatunkowo gromada kręgowców (jest ich ok. 5500 gatunków).
- Synapsydy (*Synapsida*) to linia ewolucyjna prowadząca do ssaków, która wyodrębniła się pod koniec karbonu (ok. 300 mln lat temu).
- Najważniejszym kryterium podziału gadów i ssaków jest budowa żuchwy.
- W mezozoiku, mimo presji ze strony dinozaurów, ssaki rozdzieliły się na dwie grupy: torbacze i łojyskowce.
- Ciało ssaków pokrywa skóra pełniąca funkcję ochronną i termoregulacyjną.
- Wytworami naskórka ssaków są: włosy (tworzące sierść), paznokcie, kopyta, gruczoły potowe, łojowe oraz zapachowe (odpowiadające za zapach osobniczy).

ZADANIA

1. Wymień dwie kości tworzące staw żuchwowy ssaków.
2. Nazwij wyrostki kości czołowej, z których u żubra wyrastają rogi.
3. Wymień wytwory naskórka ssaków oraz scharakteryzuj ich funkcje.
4. Opisz te cechy budowy anatomicznej, morfologicznej oraz fizjologicznej ssaków, które pomogły im w wykształceniu stałocieplności (endotermii).
5. Wyjaśnij różnice między rogami a porożem.
6. Porównaj pokrycie ciała ssaków z pokryciem ciała pozostałych gromad kręgowców.
7. Scharakteryzuj twory naskórka ssaków. Jakie funkcje pełnią te wytwory?

BIBLIOGRAFIA

Fraser J. A., Heitman J., *Chromosomal sex-determining regions in animals, plant and fungi*. Review article Current Opinion in Genetics & Development, Volume 15, Issue 6, December 2005, pages 645-651.

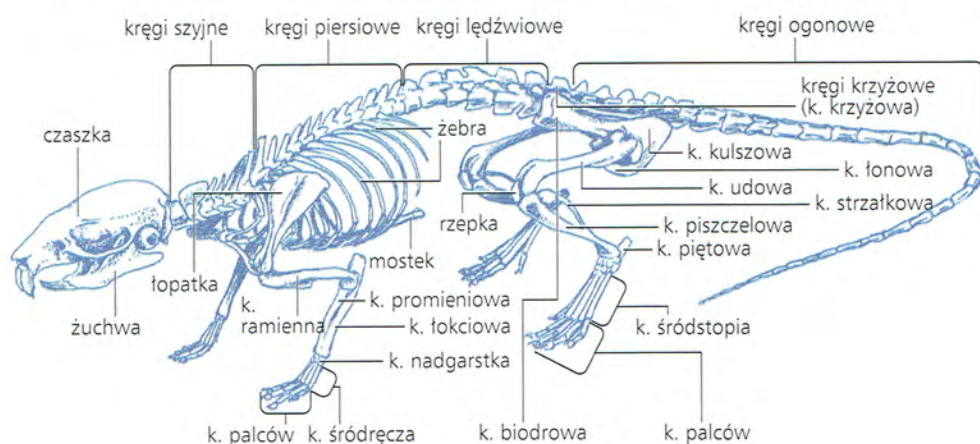
64. Budowa wewnętrzna i czynności życiowe ssaków

Budowa anatomiczna ssaków jest przejawem ich przystosowania do środowiska i trybu życia. Szkielet wewnętrzny nie tylko stanowi podporę dla mięśni, lecz także chroni kluczowe narządy wewnętrzne. Z kolei stałocieplność (najczęściej w zakresie 34–40°C) to konsekwencja czterojamowej budowy serca oraz wysokiego tempa metabolizmu. Długość i budowa układu pokarmowego są różne u mięsożerców i roślinożerców. Silnie rozbudowany, zwłaszcza u naczelnych, mózg pozwala na rozwinięcie wielu zachowań przystosowawczych (tworzenie stada, instynkt polowania, opieka nad potomstwem).

Budowa szkieletu

Szkielet ssaków jest masywny i całkowicie skostniały. **164.1.1** Wysklepioną czaszkę, w której wyróżnia się trzewioczaszkę oraz rozbudowaną mózgowiczaszkę, tworzą kości połączone szwami. Ich liczba jest mniejsza niż w czaszce gadów. Ruchomą część czaszki stanowi **żuchwa**, połączona stawowo z łuską kości skroniowej, u ssaków zbudowana z jednej tylko **kości zębowej**. W uchu środkowym zlokalizowane są trzy kostki słuchowe: **młoteczek**, **kowadełko** oraz **strzemiączko**. Dwie pierwsze to przekształcone kości (**stawowa** i **kwadratowa**) stawu żuchwowego gadów, natomiast strzemiączko zostało odziedziczone jeszcze po płazach. Czaszka jest połączona z pierwszym kręgiem kręgosłupa za pomocą **dwóch kłykcí potylicznych** (podobnie jak u płazów). Dzięki nim możliwe są jedynie ruchy potakujące (w zakresie góra–dół). Ruch

czaszki na boki i kręcenie głową (tzw. ruchy przeczące) są możliwe dzięki połączeniu między pierwszym (**atlasem**) a drugim (**obrotnikiem**) kręgiem kręgosłupa. **Kręgosłup** ssaków złożony jest z 5 odcinków. Pierwszy to **odcinek szyjny** połączony z czaszką, zbudowany na ogół z 7 kręgów (wyjątek stanowią leniwce mające 9 kręgów szyjnych i morskie ssaki syreny, których szyję tworzy 6 kręgów). U zdecydowanej większości ssaków długość szyi nie zależy jednak od liczby, ale od długości kręgów. **Kręgów piersiowych** jest zwykle od 12 do 15. Łączą się one z żebrami tworzącymi wraz z płaskim mostkiem klatkę piersiową, ochraniającą płuca i serce. Za odcinkiem piersiowym znajduje się **odcinek lędźwiowy**, złożony z 2 do 9 masywnych kręgów niepołączonych z żebrami i przystosowanych do przenoszenia dużych obciążeń. Znajdujący są za nim **odci-**



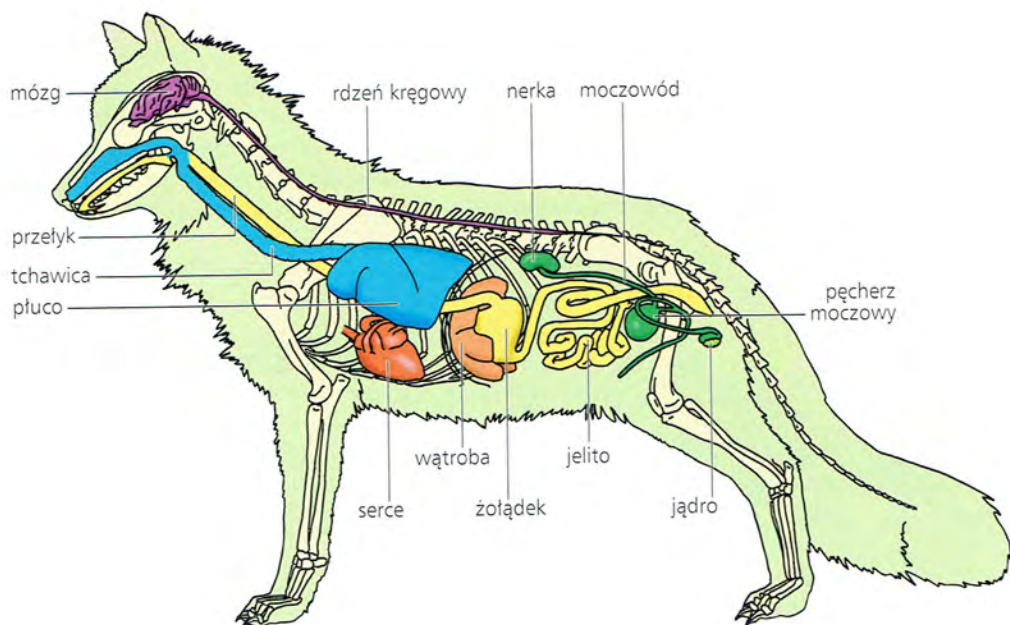
64.1. Budowa szkieletu ssaka na przykładzie szczura (k. – kość)

nek krzyżowy składa się z od 1 do 13 kręgów zróżnicowanych najczęściej w jedną **kość krzyżową** (połączone kości odcinka krzyżowego stanowią znacznie lepszą podporę dla pasa miednicowego, niż gdyby pozostawały rozdzielone). Ostatni **odcinek – ogonowy** – jest najbardziej zróżnicowany pod względem długości (liczba kręgów może wynosić od 3 nawet do 49!). U niektórych gatunków pełni on bardzo ważne funkcje narządu chwytanego lub stabilizatora w czasie skoków, u innych, jako całkowicie zbędny ze względu na tryb i środowisko życia, może ulegać zanikowi.

Kończyny ssaków w zależności od środowiska i trybu życia mogą mieć różną budowę. Wśród gatunków lądowych wyróżniamy **ssaki stopochodne** (np. człowiek, niedźwiedź brunatny) i **palcchodne** (np. koń, pies, tygrys). U nietoperzy, które jako jedyne ssaki posiadły zdolność do aktywnego lotu, palce kończyn przednich są znacznie wydłużone, a między nimi znajduje się błona lotna, zapewniająca powierzchnię lotną. U ssaków, które wtórnie przystosowały się do życia w środowisku wodnym (np. walenie, syreny), kończyny przekształciły się w płetwy.

Ze względu na konieczność utrzymania całego ciężaru ciała kończyny są połączone z kręgosłupem za pomocą dwóch pasów: **barkowego** (kończyny przednie) oraz **miednicowego** (kończyny tylne).

Podstawowym elementem **pasa barkowego** jest para płaskich łopatek oraz para obojczyków (u niektórych ssaków mogą one zanikać). Kości pasa barkowego łączą się z **kończyną przednią**, na którą składają się: kość ramieniowa, dwie kości przedramienia (łokciowa i promieniowa) oraz kości nadgarstka, śródręcza i palców tworzące dłoń. **Pas miednicowy** budowany jest przez trzy pary kości zrastających się ze sobą: biodrowe, łonowe oraz kulszowe. Jako całość stanowią one kość miedniczną (miednicę), która w części środkowej łączy się ze zróżnicowanymi kręgami krzyżowymi. W miejscu połączenia trzech kości tworzących miednicę powstaje staw zwany panewką stawu biodrowego. Łączy się on z główką kości udowej, dzięki czemu zapewnia ruchomość **kończyny tylnej**. Składa się ona, poza wspomnianą kością udową, także z kości podudzia (piszczelowej i strzałkowej) oraz kości stępu, śródstopia i palców tworzących stopę.



64.2. Schemat budowy wewnętrznej ssaka

Budowa układu pokarmowego i trawienie pokarmów

Jednym z warunków utrzymania stałocieplności jest intensywne tempo metabolizmu, w dużej mierze zapewniane przez sprawnie funkcjonujący układ pokarmowy. Przewód pokarmowy ssaków rozpoczyna się jamą gębową, w której zachodzi wstępna obróbka pokarmu. **164.2.1** Znaczącą rolę odgrywają w tym procesie zęby – ich kształt i liczba. Ssaki to jedyne kręgowce, u których występuje **heterodontyzm**, czyli zróżnicowanie uzębienia w zależności od funkcji i rodzaju spożywanego pokarmu. **164.3.1** Zęby ssaków osadzone są w **zębodołach** kości szczęki górnej i dolnej. Inaczej niż u gadów występują zazwyczaj w dwóch pokoleniach (difiodontyzm): **zęby mleczne** osobników młodocianych zostają z czasem zastąpione przez **uzębienie stałe** (liczniejsze i niezmiennące się do końca życia zwierzęcia). U ssaków spotykane są różne typy morfologiczne uzębienia: **siekacze**, **kły** oraz **zęby policzkowe: przedtrzonowe i trzonowe**. Zęby poszczególnych typów różnią się od siebie (niekiedy znacznie), na co wpływ ma rodzaj przyjmowanego pokarmu. Ssaki mięsożerne (np. pies) mają ostre korony zębów przedtrzonowych i trzonowych, które służą do jednoczesnego miażdżenia i cięcia ciała ofiary. U ssaków wszystkożernych (np. u świni) nie tak wyraźne korony zębów bocznych pokryte są licznymi guzkami. U roślinożerców (np. krowa) zęby przedtrzonowe i trzonowe są wyposażone w płaską powierzchnię żującą, służącą do rozcierania pokarmu.

U niektórych grup (gryzonie i kopytne) nie występują kły, a siekacze od zębów przedtrzonowych oddzielone są wyraźną przerwą (tzw. **diastemą**). U zwierząt, u których ze względu na rodzaj spożywanego pokarmu zęby są narażone

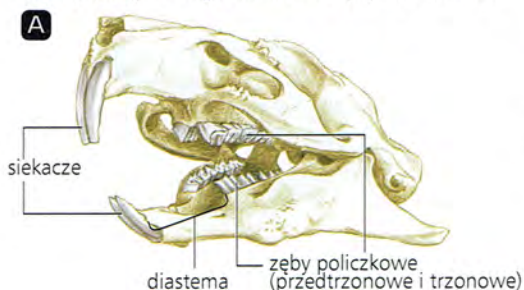
:: Ciekawostka

U niektórych gatunków określone typy zębów uległy daleko idącym przekształceniom. Przykładem może być **górna para siekaczy** stoni (niesłusznie nazywanych kłami) czy wyjątkowo długie kły spotykane u morsów (mające do 80 cm długości i masę ok. 5 kg).

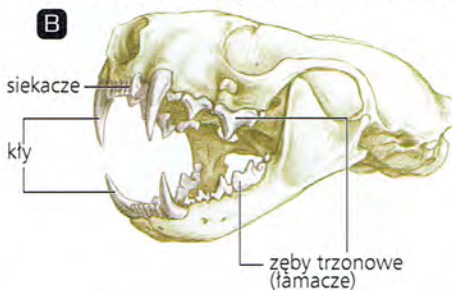
na ciągłe ścieranie, następuje stały ich przyrost od spodu (np. siekacze u gryzoni).

Poza zębami we wstępnej obróbce pożywienia uczestniczą również ślina wydzielana przez ślinianki oraz umięśniony język. Ślina zwilża pokarm oraz rozpoczyna proces trawienia dzięki obecności enzymu – **amylazy ślinowej**. W wyniku odruchu przełykania uformowany dzięki pomocy języka kęs pokarmu przesuwany jest przez gardziel i przełyk do **żołądka**. Budowa tego narządu zależy od rodzaju pobieranego pokarmu. Najprostszy żołądek mają zwierzęta mięsożerne – jest on jednoczęściowy i stosunkowo mały. Największy stopień skomplikowania osiąga żołądek przeżuwaczy. **164.4.1** Składa się on z czterech części: **żwacza**, **czepca**, **książ** i **trawieńca**. Trzy pierwsze odpowiadają za rozkład dużej części błonnika pokarmowego przez znajdującą się w nich florę bakteryjną i symbiotyczne pierwotniaki. U przeżuwaczy występuje mechanizm powtórnego przeżuwania pokarmu. Zalegający, częściowo przetrawiony pokarm przedostaje się ze żwacza do jamy ustnej, gdzie jest ponownie przeżuwany. Następnie trafia do pozostałych komór żołądka. Właściwe funkcje trawienne spełnia natomiast trawieniec.

Częściowo strawiony pokarm przesuwany jest następnie do **dwunastnicy**, gdzie zachodzi następny



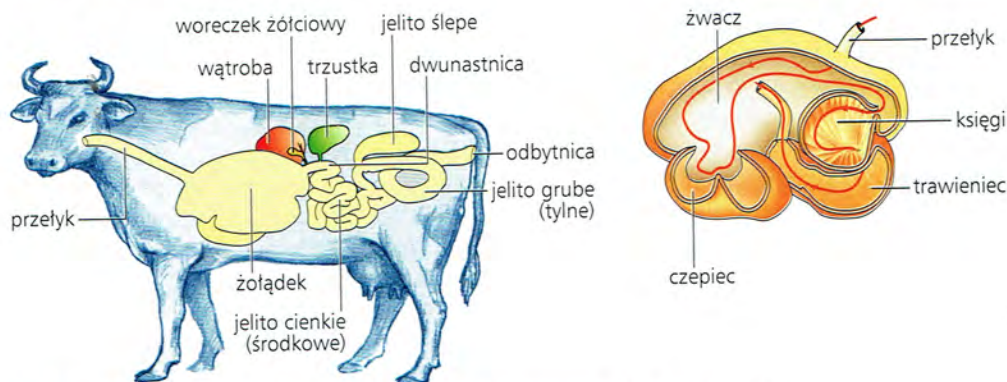
64.3. Zróżnicowanie uzębienia ssaków: A) roślinożerne (świnka morska), B) mięsożerne (norka amerykańska)



Porównaj rodzaj uzębienia u ssaków roślinożernych i mięsożernych.

etap trawienia z udziałem **soku trzustkowego** i **żółci** (wydzielanej przez wątrobę). Przedłużeniem dwunastnicy jest jelito cienkie (krótkie u mięsożerców, długie u zwierząt roślinożernych), gdzie następuje wchłanianie substancji pokarmowych. Zwiększenie powierzchni chłonnej jelita cienkiego zapewniają **kosmki jelitowe**. Na granicy jelita cienkiego i grubego znajduje się jelito ślepe (bar-

dzo długie u roślinożerców, zredukowane u mięsożerców), w którym dochodzi do dodatkowego trawienia błonnika przez symbiotyczne mikroorganizmy. Za jelitem cienkim znajduje się jelito grube, w którym następuje wchłanianie zwrotne wody i formowanie masy kałowej. Jelito grube kończy się otworem odbytowym, przez który kał usuwany jest poza organizm.



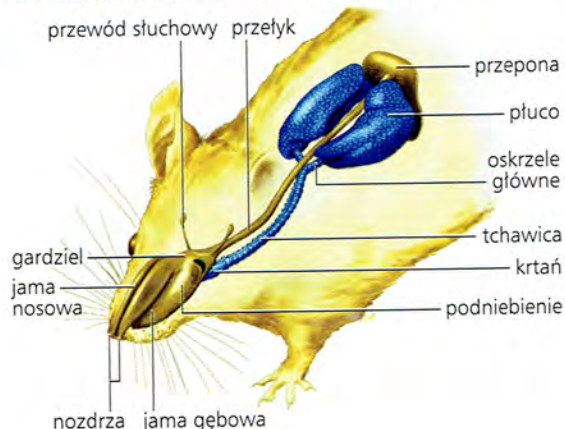
64.4. Schemat budowy: układu pokarmowego przeżuwaczy oraz ich żołądka

Układ oddechowy

Podstawowym narządem wymiany gazowej ssaków są **płuca**. **64.5.1** Powietrze dostaje się do nich przez nozdrza zewnętrzne, jamę nosową, nozdrza wewnętrzne, krtani, tchawicę oraz oskrzela. Płuca ssaków cechuje budowa pęcherzykowa, co powoduje, że całkowita powierzchnia wymiany gazowej wielokrotnie przekracza powierzchnię ciała. Ssaki wykształciły złożony mechanizm wentylacji płuc, w którym uczestni-

czą dwa zasadnicze elementy. Pierwszy to klatka piersiowa zbudowana z żeber połączonych w przedniej części mostkiem. Drugi to **przepona** oddzielająca klatkę piersiową od jamy brzusznej – duży, płaski mięsień występujący tylko u ssaków. Dzięki skurczom mięśni międzyżebrowych zmienia się objętość klatki piersiowej, co prowadzi do zassania porcji powietrza. Spłaszczając się na skutek skurczu, przepona przesuwają się w stronę jamy otrzewnej. Zwiększa się wówczas pojemność klatki piersiowej, a ciśnienie powietrza wewnątrz płuc spada. Dążąc do wyrównania go, powietrze atmosferyczne wypełnia płuca w procesie zwanym wdechem. W przeciwieństwie do niego wydech jest biernym etapem oddychania. W wyniku rozkurczu mięśni międzyżebrowych i przepony klatka piersiowa wraca do pierwotnego kształtu i wielkości, a płuca opróżniają się z zawartego w nich powietrza.

64.5. Budowa układu oddechowego ssaka



Układ krwionośny

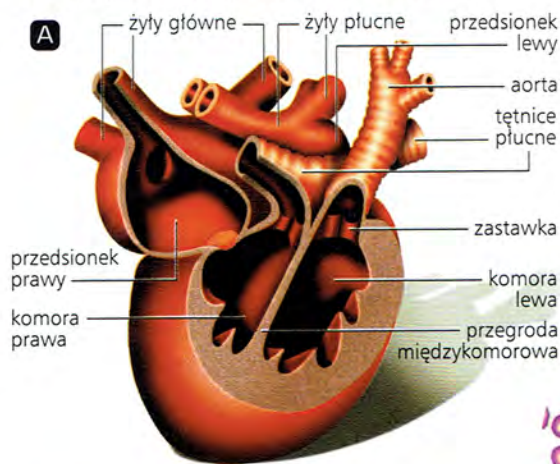
Budowa układu krwionośnego ssaków pozostaje w ścisłym związku ze stałocielnością. Wysokie zapotrzebowanie tkanek na tlen pociągnęło za sobą konieczność całkowitego rozdzielenia obiegu krwi, tak by uniknąć mieszania się krwi natlenowanej z odtlenowaną. Serce ssaków, podobnie jak u ptaków, jest czterojamowe i składa się z dwóch przedsionków i dwóch komór, pomiędzy którymi występuje pełna przegroda międzykomorowa. **164.6.1** Krew krąży w dwóch obiegach: małym (płucnym) oraz dużym (obwodowym). O tym, że układ krążenia ssaków powstał ewolucyjnie w sposób niezależny od układu krążenia ptaków, świadczy występujący u ssaków **lewý łuk aorty** (u gadów obecne były oba łuki, a u ptaków zachował się jedynie prawy łuk). Sprawność układu krwionośnego została również podniesiona przez utratę jądra komórkowego przez eryocyty. **164.7.1** Dzięki temu stały się one bardziej pojemne i mogły pomieścić więcej barwnika transportującego tlen, czyli **hemoglobiny**.

Termoregulacja

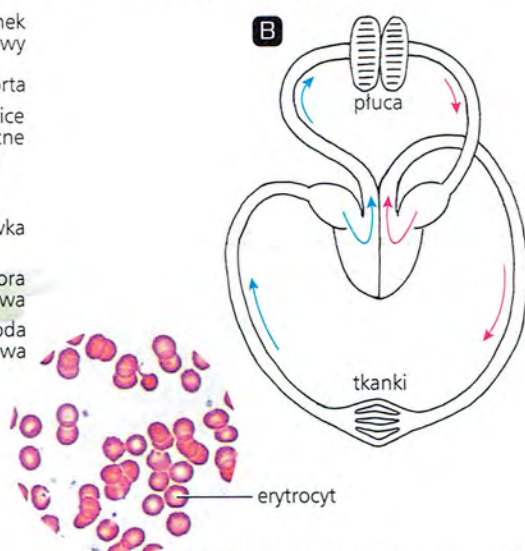
Aby możliwe było utrzymanie stałej temperatury ciała niezależnej od warunków środowiska, niezbędne stało się wykształcenie wielu cech budowy i fizjologii. Jedną z nich jest obecność warstwy izolacyjnej, którą u większości ssaków

stanowią bujne owłosienie oraz tkanka tłuszczowa zlokalizowana w warstwie podskórnej. U ssaków morskich, które całe życie spędzają w wodzie i utraciły owłosienie (jak np. delfiny), tłuszcz podskórny odgrywa najważniejszą rolę termozolacyjną. U tych, które okresowo wychodzą na ląd (jak np. fokii), konieczna jest obecność futra. Temperatura wody nie spada bowiem poniżej

-1,8°C, ale na lądzie możliwe są temperatury kilkanaście razy niższe. Ssakom grozi nie tylko utrata ciepła. Gatunki żyjące w gorącym klimacie są narażone na przegrzanie. Zapobiegają temu brak owłosienia oraz wydzielanie potu (niejednokrotnie olbrzymich ilości), który ma wysokie ciepło parowania, więc skutecznie chłodzi organizm. Najważniejszą rolę w termoregulacji odgrywa jednak u ssaków, niezależnie od środowiska życia, układ krwionośny. Centrami energetycznymi są mięśnie, mózg oraz wątroba. Ciepło wytworzone jako efekt uboczny intensywnego metabolizmu tlenowego w tych narządach jest rozprawdane po organizmie przez krew. W podwzgórze znajduje się skupisko neuronów termoczułych, które reagują na zmiany temperatury krwi poprzez regulowanie jej przepływu w naczyniach włosowatych skóry właściwej. Naczynia te kurczą się, gdy na zewnątrz jest zimno, i rozszerzają, gdy jest gorąco.



64.6. A) Budowa serca ssaka, B) schemat krążenia krwi



64.7. Morfologia eryocytów ssaków

Sen zimowy i organizmy hibernujące

U niektórych gatunków ssaków wykształcił się mechanizm pozwalający na przetrwanie niekorzystnych zimowych miesięcy. Mowa o zwierzętach hibernujących (np. niedźwiedzie, borsuki), które są w stanie obniżyć temperaturę ciała (maksymalnie

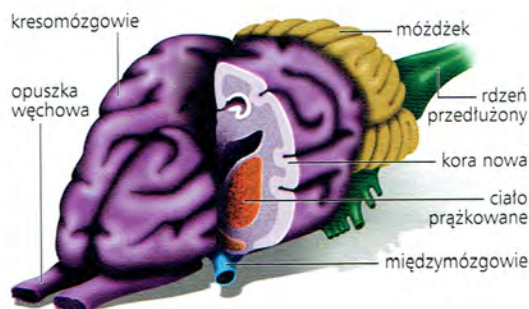
do ok. 6°C). Dzięki temu znacznie wolniej działają enzymy i spada tempo metabolizmu (np. tętno chomika może spaść z ok. 450 do czterech uderzeń na minutę!). W ten sposób zapasy tłuszczu zgromadzone przed zapadnięciem w sen zimowy wystarczają do przetrwania zimy.

❖ Ciekawostka

Optymalna temperatura ciała ssaków waha się od 36°C do 40°C (u człowieka wynosi ok. 37°C). W przebiegu niektórych chorób może jednak dochodzić do jej podwyższenia, czyli do wystąpienia **gorączki**. W odpowiedzi na obecne we krwi patogeny (wirusy, bakterie, grzyby) lub wydzielane przez nie substancje (tzw. **pirogeny**) ulega zmianie punkt nastawczy termoregulacji (ang. *set point*), decydujący o utrzymaniu określonej temperatury ciała. Podwyższenie temperatury w trakcie infekcji ma szczególne znaczenie. Zwiększa się bowiem tempo mnożenia limfocytów i produkcja przeciwciał (średnio o ok. 10% na 1°C). Jednocześnie w związku ze zmniejszeniem się rozpuszczalności żelaza i innych pierwiastków we krwi o wyższej temperaturze patogeny mają znacznie ograniczony do nich dostęp.

Układ nerwowy ssaków

Sprawność fizyczna i stopień przystosowania do warunków środowiska są w znacznej mierze wynikiem najlepszej wśród kręgowców organizacji układu nerwowego ssaków. Szczególnie widoczne jest to w budowie mózgu, który osiągnął u tej grupy zwierząt największe rozmiary w porównaniu z masą całego ciała. Najważniejszą jego częścią jest rozbudowane **kresomózgowie**. **164.8.1** Składa się ono z dwóch półkul na tyle dużych, że przykrywają one pozostałe części mózgowia. Każda z tych półkul pokryta jest pofałdowaną **korą mózgową**, zbudowaną z położnej zewnętrznie istoty szarej (tworzonej przez ciała neuronów). Warstwę podkorową tworzy położona wewnętrznie istota biała (utworzona przez wypustki komórek nerwowych). Dzięki obecności i stopniu rozbudowania kory mózgowej zdolność uczenia się jest u ssaków najlepiej rozwinięta wśród kręgowców. W kresomózgowiu znajdują się również ośrodki kojarzenia, dzięki czemu ssaki są jeszcze lepiej dostosowane do środowiska a u wielu rozwinęły się złożone zachowania społeczne. Śródmózgowie uległo znacznej redukcji, co wiąże się z przeniesieniem ośrodka wzroku do kresomózgowia. Drugą co do wielkości część mózgu ssaków stanowi mózdzek, złożony z dwóch rozbudowanych, pofałdowanych półkul. Odpowiada za koordynację wzrokowo-ru-



64.8. Schemat budowy mózgowia ssaków

chową i tym samym za złożoną lokomocję tej grupy zwierząt.

Narządy zmysłów

O przystosowaniu ssaków do środowisk, w których one żyją, świadczą doskonale rozwinięte narządy zmysłów. Najważniejszym z nich jest narząd węchu. Związki chemiczne znajdujące się w powietrzu są rozpoznawane przez wyspecjalizowane komórki receptorowe zlokalizowane w specjalnym polu węchowym w jamie nosowej. Innym zmysłem rozwiniętym u ssaków jest smak. Nie ma tak wielkiego znaczenia adaptacyjnego jak węch, ale odgrywa często rolę systemu ostrzegania przed toksycznymi substancjami, które mogłyby dostać się do organizmu drogą pokarmową. Receptorami odbierającymi

informacje na temat smaku pożywienia są kubki smakowe zlokalizowane na języku.

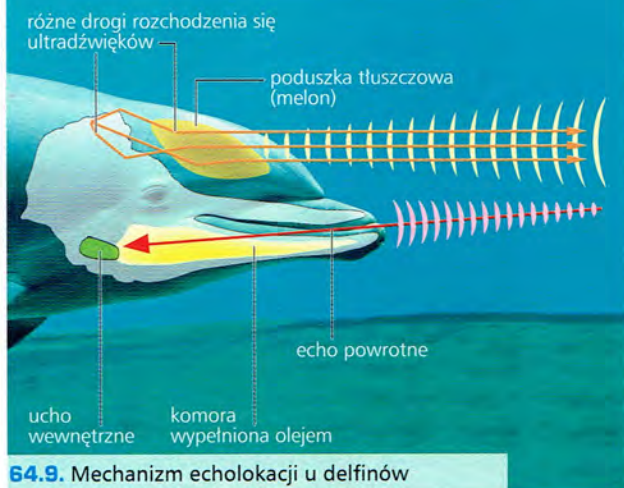
Kolejnym zmysłem dobrze rozwiniętym u większości ssaków jest słuch. Zwierzęta te wykształciły, w porównaniu do wcześniejszych ewolucyjnie gromad kręgowców, przystosowania mające na celu precyzyjniejszy odbiór wrażeń dźwiękowych. Przykładem jest małżowina uszna, u wielu gatunków (np. zajęcy) duża i ruchliwa. U nietoperzy oraz delfinów wykształciła się niezależnie zdolność **echolokacji**, dzięki której mogą one w bardzo precyzyjny sposób określić położenie obiektu (nawet w zupełnych ciemnościach lub mętnej wodzie).

164.9.1 Mechanizm ten bazuje na wydawaniu przez zwierzę dźwięków o wysokiej częstotliwości i odbieraniu powracającego echa po odbiciu go od przeszkody, napastnika lub zdobyczy.

Ssaki, których wzrok jest doskonale wykształcony (np. lemury, małpy i człowiek), odbierają za jego pośrednictwem aż 75% bodźców ze



Na podstawie rysunku opisz mechanizm echolokacji u delfinów.



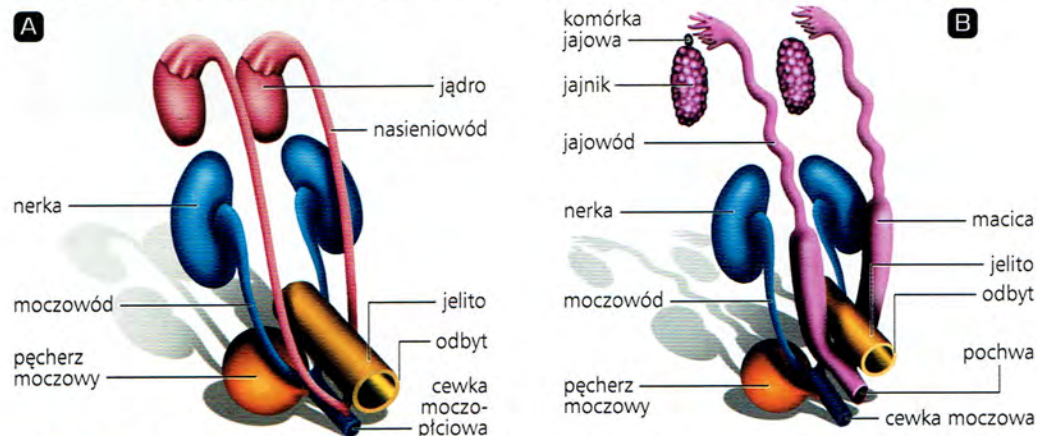
64.9. Mechanizm echolokacji u delfinów

świata zewnętrznego. U większości ssaków jednak wzrok nie jest najważniejszym zmysłem, a czasami (np. u kretów) oczy mogą być silnie uwstecznione.

Układ wydalniczy

Układ wydalniczy ssaków ma postać pary **nerek ostatecznych** produkujących mocz, który za pośrednictwem **moczowodów** trafia do **pęcherza moczowego**. **164.10.1** Pęcherz jest okresowo opróżnianym zbiornikiem. Mocz wydostaje się wówczas przez cewkę moczową na zewnątrz organizmu. Nerki mają kształt fasolowaty i zlokalizowane są po bocznych stronach lędźwiowego odcinka kręgosłupa. Składają się z zewnętrznej warstwy **korowej nerki** oraz z położonej wewnątrz **części rdzeniowej**. Podstawową

jednostką funkcjonalną nerki są **nefrony**. Każdy z nich składa się z **torebki Bowmana** zlokalizowanej w części korowej nerki. W torebce Bowmana następuje filtracja krwi, a powstały przesącz nazywany jest **moczem pierwotnym**. Jest on następnie zagęszczany w **kanalikach nerkowych**, które leżą w części rdzeniowej nerki. Powstaje wówczas **mocz ostateczny**, w którym zagęszczone są przede wszystkim produkty przemian i rozpadu związków azotowych w postaci **mocznika** (podobnie jak u płazów).



64.10. Układ wydalniczy i rozrodczy ssaków: A) samca i B) samicy

Rozmnażanie się i rozwój ssaków

U ssaków często występuje **dymorfizm płciowy**, przy czym u większości gatunków samce są znacznie większe od samic. **64.11.1** Podstawowym elementem **układu rozrodczego samca** są parzyste jądra, w których dochodzi do cyklicznej spermatogenezy (powstawania plemników). Znajdują się one w mosznie, czyli skórny worku zlokalizowanym poza jamą ciała. Wysunięcie jąder poza obręb ciała ma szczególnie znaczenie dla wydajnej produkcji plemników wymagających temperatury niższej o około 2°C niż temperatura ciała.

Plemniki powstałe w jądrach są następnie przemieszczane nasieniodowodami w kierunku prącia. Tam w wyniku kopulacji mają szansę zostać wprowadzone do dróg rodnych samicy w procesie zwanym zaplemnieniem.

Układ rozrodczy samicy składa się z parzystych jajników, jajowodów, macicy (u torbaczy i stekowców parzystej) oraz pochwy. Jajniki uwalniają komórki jajowe podczas pory godowej zwanej **rują**, która następuje sezonowo. Komórka jajowa wędruje następnie jajowodami (dzięki ruchom rzęsek nabłonka migawkowego) w kierunku macicy. Powstała podczas zapłodnienia zygota zagnieżdża się w błonie endometrium. Rozpoczyna się wówczas okres zwany **ciążą**, w trakcie którego rozwijający się zarodek jest połączony z organizmem matki za pomocą **łożyska**. Zaopatruje ono zarodek w niezbędne dla rozwoju tlen i substancje pokarmowe, jednocześnie za jego pośrednictwem usuwane są zbędne i toksyczne produkty przemiany materii. Rozwój wewnątrz ciała matki gwarantuje zarodkowi optymalne warunki termiczne.

Większość żyjących współcześnie ssaków jest **żyworodna**. Wyjątkiem są **stekowce**, do których należą dwie rodziny prymitywnych ssaków: **dziobakowate** i **kolczatkowate**. Ich samice, podobnie jak gady, znoszą jaja otoczone skórzastymi skorupkami. U kolczatek są one dodatkowo przechowywane w specjalnej torbie na brzuchu. Młode wylęgają się z jaj po około 10 dniach. Samica karmi je wydzieliną gruczołów mlecznych, którą zlizują one (ze względu na brak sutków) bezpośrednio z jej brzucha. **64.12.1**



64.11. Przykład dymorfizmu płciowego ssaków na przykładzie pary jeleni



64.12. Kolczatka australijska (*Tachyglossus aculeatus*)



64.13. Młody kangur w torbie lęgowej samicy

Samice **torbaczy** oprócz parzystych jajników i jajowodów mają również parzyste macice, do których prowadzą parzyste pochwy. Ciąża trwa u tych zwierząt krótko (maksymalnie do kilkudziesięciu dni). Młode rodzą się na bardzo wczesnym etapie rozwoju, którego ciąg dalszy przebiega w **torbie lęgowej** będącej fałdem skórny. **64.13.1** Przedostają się do niej o wła-

snych siłach, przytwierdzają do sutków matki i rozpoczynają ssanie mleka. Pozostają w torbie lęgowej nawet do kilku miesięcy.

Długość trwania ciąży u ssaków różni się znacznie w zależności od wielkości i trybu życia danego gatunku. Najkrótszym okresem ciąży charakteryzują się należące do torbaczy **jam-raje** (zaledwie 12 dni), najdłuższym natomiast **słonie** (około 22 miesięcy). Moment narodzin nie oznacza dla młodego ssaka uzyskania samodzielności. Nazwa gromady – „ssaki” – wskazuje na kolejny, kluczowy dla przetrwania młodych etap ich życia. W tym początkowym okresie rozwoju odżywiają się one, pijąc mleko wydzielane przez gruczoły mleczne matki. Po pewnym czasie zaczynają uzupełniać dietę mleczną innymi pokarmami. Pozostają związane z matką przez różny czas. Niektóre (np. sarna) są od momentu narodzin w dużej mierze samodzielne. Oddalają

✚ Ciekawostka

U większości gatunków podczas ssania mleka w jamie gębowej młodych wytwarza się wysokie podciśnienie, które sprawia, że pobieranie pokarmu odbywa się sprawnie i praktycznie bez strat. Jednak młode ssaków morskich (np. **waleń**), ze względu na budowę pyska, muszą radzić sobie inaczej. Matki regularnie wstrzykują mleko (skondensowane, aby nie uległo zbyt niemu rozcieńczeniu w wodzie) bezpośrednio do ich gardzieli pod dużym ciśnieniem.

się od opiekuna na niewielkie odległości i są zdolne do unikania niektórych zagrożeń. Inne (jak np. **człowiek**) przez długi czas pozostają niesamodzielne i uzależnione od osobników dorosłych.

PODSUMOWANIE

- U ssaków występują trzy kostki słuchowe: młoteczek, kowadełko, strzemiączko.
- U ssaków występuje uzębienie heterodontyczne.
- Żołądek przeżuwaczy składa się z czterech części: żwacza, czepca, ksiąg i trawieńca.
- Ośrodek termoregulacji ssaków znajduje się w podwzgórze.
- W układzie oddechowym ssaków występują płuca o budowie pęcherzykowej i przepona – mięsień odpowiedzialny za wentylację płuc.
- W układzie krwionośnym ssaków zachowuje się jeden (lewy) łuk aorty. Serce jest czterodziałowe z pełną przegrodą komorową.
- Układ wydalniczy ssaków stanowi para nerek ostatecznych, moczowody oraz pęcherz moczowy.
- W układzie nerwowym ssaków najbardziej charakterystycznym elementem jest rozbudowane mózgowie.
- U ssaków występują takie zmysły, jak: słuch, smak, węch oraz wzrok.
- Większość ssaków jest żyworodna (wyjątek stanowią dziobakowate i kolczatkowate).



ZADANIA

1. Wymień grupę ssaków charakteryzującą się posiadaniem tylko sześciu kręgów w odcinku szyjnym kręgosłupa.
2. Podaj nazwę typowego dla gryzoni odstępu między siekaczami a zębami przedtrzonowymi.
3. Określ, dlaczego ciało fok jest pokryte futrem jak u ssaków lądowych.
4. Podaj cechę budowy układu krwionośnego świadczącą o tym, że ptaki i ssaki niezależnie wyewoluowały z gadziego przodka.
5. Opisz mechanizm systemu orientacji w przestrzeni i wykrywania obiektów spotykany u delfinów i nietoperzy.



BIBLIOGRAFIA

Ssaki, oprac. zbiorowe, Agencja Wydawnicza Jerzy Mostowski, Janki 2006.



65. Przegląd systematyczny ssaków

Podstawowy podział żyjących współcześnie ssaków wyróżnia w tej grupie zwierząt dwie podgromady.

Gromada: *Mammalia* – ssaki

Podgromada: *Prototheria* – prassaki

Podgromada: *Theria* – ssaki właściwe

Prassaki (*Prototheria*)

Do prassaków należy tylko jeden rząd – **stekowce** (*Monotremata*). To grupa o charakterze reliktowym, w której jako jedynej wśród ssaków nie wykształciła się żyworodność. Cechą prymitywną jest obecność **steku** (kloaki). Stekowce mają ograniczoną sprawność regulacji temperatury. Podgromadę tę reprezentują współcześnie dwie rodziny: **kolczatkowate** (*Tachyglossidae*) oraz **dziobakowate** (*Ornithorhynchidae*). Do kolczatkowatych należą cztery gatunki z typowym przedstawicielem – **kolczatką australijską** (*Tachyglossus aculeatus*).

leatus). **65.1.1** Do dziobakowatych zaliczany jest obecnie jeden gatunek – **dziobak** (*Ornithorhynchus anatinus*). Wszystkie stekowce są niewielkimi zwierzętami **jajorodnymi**. Cechują je, podobnie jak gady, boczne rozstawienie kończyn oraz kości krucze w pasie barkowym łączące łopatkę z mostkiem (u pozostałych ssaków zlewają się one z łopatką). Do cech ssaczych zaliczyć należy obecność gruczołów mlecznych (samice), trzy kosteczki słuchowe oraz układ krwionośny z czterodzielnym sercem i lewym łukiem aorty.



65.1. Przedstawiciele stekowców: A) kolczatka australijska (*Tachyglossus aculeatus*), B) dziobak (*Ornithorhynchus sp.*)

Ssaki właściwe (*Theria*)

Ssaki niższe (*Metatheria*)

Do ssaków niższych zaliczamy jeden rząd – **torbacze** (*Marsupialia*), obejmujący 346 gatunków (należą tu m.in. kangury, koale i oposy). Jego przedstawiciele zamieszkują Australię oraz obie Ameryki. Torbacze cechują się krótkim okresem ciąży. Ich młode we wczesnym stadium rozwoju

W podgromadzie ssaków właściwych wyróżnia się dwa główne szczepy.

Podgromada: *Theria* – ssaki właściwe

Szczep: *Metatheria* – ssaki niższe

Szczep: *Eutheria* –łożyskowce

opuszczają drogi rodne samicy i dalej rozwijają się w torbie lęgowej.

Kangur olbrzymi 165.2.1 z rodziny kangurówatych (*Macropodidae*) osiąga wysokość do 140 centymetrów (nie licząc ogona), przy czym samce są większe od samic. Sierść jest szarobrunatna lub szaroruda, jaśniejsza na spodzie. Skaczą daleko, od dwóch do kilkunastu metrów. Żyją w dużych grupach, sięgających nawet do kilkudziesięciu osobników, przeważnie w gęstych zaroślach i lasach. Ich ciąża trwa przeciętnie 35 dni. Rodzą jedno młode. Zamieszkują wschodnią Australię oraz Tasmanię.

Koala 165.3.1 jest przedstawicielem rodziny koalowatych (*Phascolarctidae*), która obejmuje tylko jeden gatunek. Osiąga wysokość do 85 cm i wagę do 15 kg. Ma charakterystyczną, sporą głowę z dużymi uszami i wyraźnym, dużym nosem, a także szczątkowy ogon. Futro na grzbiecie jest szare, nieco jaśniejsze z przodu. Pazury są silne, pierwszy i drugi pozostają do siebie w pozycji przeciwstawnej. Koale prowadzą leniwy, nadrzewny tryb życia. Zazwyczaj żyją samotnie, rzadko w niewielkich grupach. Ich pokarm stanowią głównie liście eukaliptusa. Ciąża koali trwa do 30 dni, po niej rodzi się jedno młode. Do 6 miesiąca żyje w torbie, w której znajdują się dwa sutki. Po zakończonym okresie laktacji torba służy mu jako schronienie (nawet do 1. roku życia). W tym czasie matka żywi je własnym, przetrawionym pokarmem. Koala zamieszkuje lasy eukaliptusowe w całej Australii. Jest zwierzęciem bardzo rzadkim.

Opos 165.4.1 to ssak należący do rodziny dydelfowatych (*Didelphidae*), dawniej nazywanych szczurami workowatymi ze względu na kształt ciała. Długość ciała oposa nie przekracza 45 cm, a waga waha się od 2 do ponad 5 kg. Zabarwienie futra bywa czarne bądź rudawe, rzadziej białe. Długi ogon służy jako narząd chwytny. Zwierzę prowadzi samotny, nocny tryb życia. Spotykane jest głównie w zaroślach i lasach pomiędzy Kostaryką a południową Kanadą. Rozmnaża się 2–3 razy w roku. Ciąża oposa trwa 12–13 dni (najkrócej wśród ssaków). Na świat przychodzi od 8 do 18 młodych, wszystkie mieszczą się w obszernej torbie. Bytują w niej do 70 dni, później wędrują razem z matką przyczepione do jej sierści. Oposy to zwierzęta wszystkożerne, łowne.



65.2. Kangur olbrzymi (*Macropus giganteus*)



65.3. Koala (*Phascolarctos* sp.)



65.4. Opos północny (*Didelphis virginiana*)

Łożyskowce (*Eutheria*)

Jest to najliczniejsza klasa ssaków, do której należy około 5136 gatunków zwierząt (stan na koniec kwietnia 2011 roku) pogrupowanych w 17 rzędów. Ze względu na bardzo dużą liczbę zróżnicowanych morfologicznie rzędów w tym rozdziale zostaną omówione tylko najbardziej znaczące i charakterystyczne.

Gryzonie (*Rodentia*)

Są na ogół niewielkich rozmiarów. Wyjątek stanowi kapibara (*Hydrochoerus hydrochaeris*), która może osiągać metr długości i masę do 65 kg! Charakterystyczną cechą gryzoni są siekacze o stałym wzroście (jedna para w szczęcie, druga – w żuchwie) i brak kłów, w miejscu których pojawia się diastema. Większość stanowią gatunki roślinożerne (rzadko wszystkożerne) żywiące się korzeniami, ziarnem lub owocami. Gryzonie żyją przeważnie w wybudowanych przez siebie gniazdach lub norach w ziemi, gdzie niekiedy przechowują zapasy na zimę. Cechuje je znaczna rozrodność: 5 do 6 razy w roku rodzą po kilka, kilkanaście młodych (do gryzoni należą m.in.: **wiewiórki, świstaki, bobry, szynszyle, chomiki, jeżozwierze, myszy, nutrie oraz koszatniczki**). **165.5.1**

Szczep: *Eutheria* – łożyskowce

Rząd: *Macroscelidea* – ryjkonosy

Rząd: *Afrosericea*

Rząd: *Hyracoidea* – góralki

Rząd: *Proboscidea* – trąbowce

Rząd: *Sirenia* – syreny

Rząd: *Pilosa* – szczerbaki

Rząd: *Lagomorpha* – zającaki

Rząd: *Rodentia* – gryzonie

Rząd: *Scadentia* – wiewióreczniki

Rząd: *Dermoptera* – latawce

Rząd: *Primates* – naczelnie

Rząd: *Chiroptera* – nietoperze

Rząd: *Eulipotyphla* – owadożerne

Rząd: *Perissodactyla* – nieparzystokopytne

Rząd: *Cetacea* – walenie

Rząd: *Ruminantia* – przeżuwacze

Rząd: *Carnivora* – drapieżne

Rząd: *Pholidota* – łuskowce

65.5. Zróżnicowanie świata gryzoni: A) wiewiórka pospolita (*Sciurus vulgaris*), B) świstak (*Marmota* sp.), C) bóbr europejski (*Castor fiber*), D) mysz polna (*Apodemus agrarius*), E) koszatka (*Dryomys* sp.)





65.6. Przedstawiciele nietoperzy: A) spotykany w całej Polsce gacek wielkouch (*Plecotus auritus*), B) najmniejszy na świecie *Craseonycteris thonglongyai*, C) największa na świecie rudawka malajska (*Pteropus vampyrus*)

Nietoperze (*Chiroptera*)

Gatunki zaliczane do tego rzędu to jedyni przedstawiciele ssaków, którzy opanowali zdolność do aktywnego lotu (najszybciej lata *Lasiurus cinereus* – 96 km/h!). Skrzydła nietoperzy powstały z bardzo wydłużonych palców kończyny przedniej, kości ramienia i przedramienia oraz rozpiętej pomiędzy nimi błony lotnej. Charakterystyczną cechą morfologiczną nietoperzy są wydutne uszy, niezbędne przy echolokacji wykorzystywanej podczas omijania przeszkód i polowania. Oczy większości gatunków są niewielkie, wyjątek stanowią rudawkowate o słabiej rozwiniętej echolokacji. Inną cechą nietoperzy jest zdolność do zwisania głową w dół, którą zawdzięczają unikatowemu połączeniu kości. Pozycja ta nie wymaga żadnych nakładów energii i pozwala zwierzęciu wypoczywać, a nawet przesypiać

okres zimy. Nietoperze dzielimy na owocożerne i owadożerne. Najmniejszym nietoperzem jest żyjący w Tajlandii *Craseonycteris thonglongyai* (o rozpiętości skrzydeł ok. 10 cm i masie 2 g). Największy natomiast to **rudawka malajska** (*Pteropus vampyrus*) należąca do rudawkowatych (o rozpiętości skrzydeł 1,7 m i masie bliskiej 1,5 kg). **165.6.1**

Owadożerne (*Eulipotyphla*)

To dość liczna grupa ssaków (obejmuje ok. 450 gatunków), których podstawowym pożywieniem, jak wskazuje nazwa, są owady. Ssaki te wykazują wiele cech prymitywnych (jak niewielka mózgoczaszka i gładkie półkule kresomózgowia). Do tego rzędu zaliczane są takie gatunki, jak: żyjący pod ziemią **kret europejski** (*Talpa europaea*), **jeż wschodnioeuropejski** (*Erinaceus concolor*) **165.7.1** czy najmniejszy ssak Polski – **ryjówka malutka** (*Sorex minutus*).

65.7. Przedstawiciele ssaków owadożernych: A) kret europejski (*Talpa europaea*), B) jeż wschodnioeuropejski (*Erinaceus concolor*)



Naczelnne (Primates)

Do naczelnnych zaliczamy ssaki pierwotnie nadrzewne, wyposażone w chwytne kończyny. Chwytywanie umożliwia im przeciwstawny kciuk lub paluch. Dystalne paliczki pięciopalczastych kończyn pokrywają paznokcie będące wytworem naskórka. Najważniejszą cechą naczelnnych jest najlepiej wśród kręgowców rozwinięty mózg, złożony z dwóch półkul o dobrze wykształconej korze mózgowej. Wyraźnemu rozwojowi podlegają także ośrodki kojarzeniowe. Dzięki rozbudowaniu ośrodków wzrokowych w potylicznej części mózgu i przesunięciu oczu do przodu pojawia się trójwymiarowe, dwuoczne widzenie pozwalające na lepszą orientację w przestrzeni. Samice naczelnnych rodzą najczęściej jedno młode (rzadziej dwa). Opieka nad potomstwem jest długa i często trwa aż do osiągnięcia przez nie dojrzałości płciowej. Do naczelnnych zaliczamy między innymi: małpki, małpy szerokonose i małpy wąskonose.

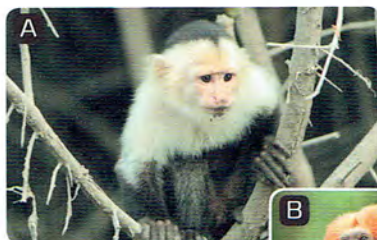
Małpki występują głównie na Madagaskarze (wiele z nich to gatunki endemiczne), w Azji Południowo-Wschodniej i Afryce (galago). Należą do nich między innymi: lemury, lemurki, indrissy, palczaki, galago i wyraki. **[65.8.1]**

Małpy szerokonose występują w Ameryce Południowej. Przykładami są kapucynka, pigmejka i marmozeta. **[65.9.1]**

Małpy wąskonose występują w Azji i Afryce. Należą tutaj pawian, gibbon, orangutan, goryl, szympanś oraz człowiek. **[65.10.1]**



65.8. Przedstawiciele małpiek: A) lemur katta (*Lemur catta*), B) wyrak upiór (*Tarsius tarsier*)



65.9. Przedstawiciele małp szerokonosych: A) kapucynka czarnobiała (*Cebus capucinus*), B) marmozeta lwia (*Leontopithecus rosalia*)

65.10. Przedstawiciele małp wąskonosych: A) orangutan borneański (*Pongo pygmaeus*), B) szympanś zwyczajny (*Pan troglodytes*)



Walenie (Cetacea)

Walenie to ssaki żyjące w morzu. Do wodnego trybu życia są one dobrze przystosowane. Przednie kończyny przekształciły się w płetwy, kończyny tylnych brak. Charakteryzują się opływowym kształtem ciała, a głównym narządem napędowym jest pozioma płetwa na ogonie. Również układ oddechowy u walenii został zmodyfikowany do życia w wodzie: ssaki te mają nozdrza cofnięte na wierzchołek głowy, dzięki czemu mają dostęp do powietrza nawet przy niemal całkowitym zanurzeniu. Niektóre walenie wykorzystują **echolokację** (sonar) – wysyłają dźwięki, których echo informuje zwierzę o niebezpieczeństwie, przeszkodach lub pożywieniu. Walenie dzielą się



65.11. Delfin (*Delphinus sp.*)

na **zębowce** – morświny, delfiny **65.11.1**, kaszaloty, orki – oraz **fiszbinowce**. Przedstawicielem tej ostatniej grupy jest płetwał błękitny – największe zwierzę żyjące obecnie na ziemi.

PODSUMOWANIE

- Podstawowy podział taksonomiczny wyróżnia w gromadzie ssaków dwie podgromady: prassaki (*Prototheria*) oraz ssaki właściwe (*Theria*).
- Do prassaków należą stekowce obejmujące dwie rodziny: dziobakowate (1 gatunek) i kolczatkowate (4 gatunki).
- U stekowców nie wykształciła się funkcjonalna żyworodność – są jedynymi ssakami jajorodnymi.
- Wśród ssaków właściwych wyróżniamy dwie klasy: ssaki niższe (*Metatheria*) oraz łożyskowce (*Eutheria*).
- Ssaki niższe obejmują tylko jedną podklasę – torbacze (*Marsupialia*), do których należy 346 gatunków.
- Torbacze obecnie zamieszkują trzy kontynenty: Australię oraz obie Ameryki.
- Typowymi przedstawicielami torbaczy są: kangur olbrzymi, kangur rudy oraz koala.
- Do łożyskowców należy 5136 gatunków (stan na koniec kwietnia 2011 roku) zgrupowanych w 17 rzędów.
- Najliczniejszym rzędem w obrębie łożyskowców są gryzonie (2255 gatunków), do których należą zarówno zwierzęta wielkości myszy, jak i kapibary (ważące do 65 kg).
- Jedynymi latającymi ssakami są nietoperze prowadzące często nocny tryb życia i posługujące się echolokacją.
- Człowieka (*Homo sapiens*) zaliczamy do rzędu naczelnych (*Primates*) obok gibona, orangutana, szympansa oraz goryla.

ZADANIA

1. Wymień gady i cechę szkieletu typową dla należących do stekowców dziobaków i kolczatek.
2. W jakich regionach świata (na których kontynentach) żyją w warunkach naturalnych torbacze?
3. Scharakteryzuj największego przedstawiciela rzędu gryzoni.
4. U których nietoperzy słabo rozwinął się zmysł echolokacji? Postaw tezę, dlaczego tak się stało.
5. Określ pozycję systematyczną grupy ssaków, do której zaliczamy człowieka (*Homo sapiens*).

BIBLIOGRAFIA

Ciechanowski M., Sachanowicz K., *Nietoperze Polski*, Multico, Warszawa 2008.



66. Znaczenie i ochrona ssaków

Omawiając znaczenie ssaków, należy pamiętać, że wiele z tych zwierząt można uznać zarówno za **szkodliwe**, jak i **pożyteczne** (np. zwierzęta hodowlane i łowne mogą być jednocześnie rezerwuarem chorób, pasożytów lub w stanie dzikim zagrażać człowiekowi).

Pozytywne znaczenie ssaków

Ssaki nie są najliczniejszą gromadą zwierząt, ale wysoki stopień adaptacji do środowiska i liczebność powodują, że ich rola w ekosystemach naturalnych jest olbrzymia. Wiele z nich to sprawni drapieżcy kontrolujący liczebność gatunków, na które polują. Ssaki modyfikują również zajmowane siedliska. Przykładem są bobry budujące tamy, czym mogą przyczyniać się do zalewania dość dużych terenów. Powoduje to daleko idące zmiany w składzie flory i fauny na danym obszarze. Gatunkiem mającym duży wpływ na ekosystem (polny lub leśny), w którym żyje, jest również dzik. Ryjąc w poszukiwaniu pokarmu, zdziera zewnętrzne warstwy gleby i ją spulchnia, a odżywiając się owadami (często szkodnikami lasów), przyczynia się do utrzymania równowagi ekologicznej na zajmowanym terenie. Z kolei niektóre ssaki (np. nietoperze, gryzonie) przyczyniają się do zapylania kwiatów lub rozsiewania nasion wielu roślin. Spośród ssaków dziko żyjących do sprzymierzeńców człowieka zaliczamy gatunki drapieżne (głównie łasice i lisy) oraz owadożerne (jak np. jeże, nietoperze). Ich rola polega głównie na niszczeniu gryzoni i owadów mogących powodować straty ekonomiczne (np. dorosły lis zjada rocznie do 2500 niszczących uprawy norników). Nie mniejsze zasługi na tym polu oddają człowiekowi gronostaje (*Mustella erminea*) i łasice (*Mustella nivalis*).



66.1. Łoś
(*Alces alces*)

Działem gospodarki odgrywającym współcześnie minimalną rolę, choć dawniej istotnym, jest łowiectwo. Polowania nie są obecnie sposobem na dostarczanie dużych ilości mięsa (na skutek wprowadzenia wydajnych metod hodowlanych), niemniej wciąż umożliwiają zdobycie skór na potrzeby przemysłu odzieżowego. Prawo łowieckie dokładnie określa, na jakie zwierzęta i o jakiej porze roku można polować. Typowymi ssakami łownymi na terytorium Polski są między innymi: **łoś** (*Alces alces*) **166.1.1**, **jeleń** (*Cervus elaphus*), **dzik** (*Sus scrofa*), **zając szarak** (*Lepus capensis*), **królik** (*Oryctolagus cuniculus*), **lis** (*Vulpes vulpes*) **166.3.1**, **jenot** (*Nyctereutes procyonoides*). **166.2.1**

66.2. Jenot (*Nyctereutes procyonoides*)



66.3. Lis (*Vulpes vulpes*)



Ssaki są też często wykorzystywane jako zwierzęta laboratoryjne, gdyż ze względów etycznych większości badań nie przeprowadza się bezpośrednio na człowieku. Najpowszechniej stosowanym w tej roli zwierzęciem jest mysz domowa (*Mus musculus*). Jej cechy fizjologiczne są podobne do ludzkich (np. zbliżony standardowy poziom cukru we krwi), poza tym łatwo się ją hoduje i rozmnaża. Wiele środków czystości i kosmetyków zawiera składniki pochodzenia zwierzęcego. Są to na przykład: **adrenalina** (uzyskiwana z nadnerczy świni i owiec) czy **kwas hialuronowy** (pozyskiwany z pępowiny i mazi stawowej ssaków). Koncerny kosmetyczne przeprowadzają eksperymenty na zwierzętach celem określenia wpływu wytwarzanych produktów na ludzi. Z etycznego i praktycznego punktu widzenia badania tego typu są w dużej mierze bezzasadne. Reakcje tkanek człowieka można bowiem prześledzić, wykorzystując hodowle komórkowe lub tkanekowe. Jest to jednak o wiele droższe, co tłumaczy brak powszechności takich rozwiązań. Produkty nietestowane i niezawierające substancji pochodzenia zwierzęcego (tzw. *cruelty-free*) są wymienione na stronie międzynarodowej organizacji PETA (www.peta.org), zajmującej się walką o prawa zwierząt.

Zwierzęta udomowione i domestykacja

Większość zwierząt hodowanych w typowym gospodarstwie rolnym to udomowione ssaki (najczęściej są to krowy, konie, kozy, owce). Proces domestykacji (udomowienia) jest zjawiskiem korzystnym zarówno dla ludzi, jak i zwierząt (wiąże się ze zwiększeniem liczebności i zasięgu występowania zwierząt w zakresie niemożliwym do osiągnięcia w populacjach dzikich). Celem domestykacji jest uzyskanie przez człowieka określonych korzyści (np. mięsa, mleka, wełny oraz skóry), a także umiejętności zwierząt. Pierwsze udomowione zwierzę – pies – to doskonały stróż, niezwykle oddany człowiekowi. Na początku procesu domestykacji człowiek izoluje pewną grupę zwierząt z populacji dzikiej, karmi je, pielęgnuje oraz kontroluje ich rozród (selekcja sztuczna). Po nieprzerwanej hodowli trwającej kilkanaście pokoleń możemy mówić o pełnym udomowieniu. Dzięki opiece i ochronie zwierzęta zostają wyłączone spod działania większości czynników doboru naturalnego, choć choroby zakaźne lub pasożyty nadal mogą odgrywać rolę w selekcji osobników najsilniejszych. Brak doboru naturalnego sprawia również, że w populacji zaczynają się ujawniać znaczne fenotypowe zmienności (np. inne od maskujących barwy sierści).

Negatywne znaczenie ssaków

Najbardziej niekorzystnym przejawem wpływu innych ssaków na człowieka i jego gospodarkę są przenoszone przez nie choroby. Jeśli są one przenoszone bezpośrednio ze zwierząt na człowieka, nazywa się je **chorobami odzwierzęcymi** lub **antropozoonozami**. W wypadku przeniesienia choroby ze zwierzęcia żyjącego w stanie dzikim na zwierzęta gospodarskie mówi się o **zoonozach** (są to np.: **wąglik**, **gruźlica bydlęca** i **ptasia, wścieklizna, kleszczowe zapalenie mózgu**). Choroby odzwierzęce mogą być przenoszone bezpośrednio (w wyniku ukąszenia, ugryzienia) lub za pomocą wektorów, którymi najczęściej są krwionośne stawonogi (np. komary, kleszcze, roztocza). Szkodliwość ssaków polega również na niszczeniu upraw (nawet 80–90%) na polach. W tej



66.4. Badyłarka (*Micromys minutus*)

dzielinie prym wiodą gryzonie, między innymi: nornik północny (*Microtus oeconomus*), mysz polna (*Apodemus agrarius*), badyłarka (*Microtus minutus*) **166.4.1**, chomik europejski (*Crictus cricetus*). Gryzonie mogą też wyrządzać duże szkody w przechowywanych zapasach zboża, zwłaszcza szczur wędrowny (*Rattus norvegicus*) i mysz domowa (*Mus musculus*). Z kolei

szkodliwość dzikich gatunków drapieżnych jest znikoma. Straty powodowane przez lisy czy łasice (np. porywające ptactwo domowe) są minimalne, drapieżniki te żywią się bowiem przede wszystkim drobnymi gryzoniami.

Ochrona ssaków

Obecnie większość gatunków żyjących na wolności ssaków jest w mniejszym lub większym stopniu zagrożona ze strony człowieka. Wielu gatunkom grozi wyginięcie, czego przykładem może być panda wielka. Mimo wielu wysiłków kolejne próby rozmnożenia pand w niewoli się nie powiodły. W środowisku naturalnym zagrożone wyginięciem są małpy należące do hominidów, lemury żyjące na Madagaskarze, niektóre gatunki wielorybów oraz wielkie, drapieżne koty. W celu zachowania

różnorodności biologicznej na całym świecie zakładane są parki narodowe (w Polsce jest ich 23) i rezerваты przyrody. Ingerencja człowieka w te naturalne ekosystemy jest w założeniach znikoma lub żadna. Są one jednak nadzorowane przez odpowiednie służby, aby zapobiegać kłusownictwu czy chwytaniu zwierząt objętych ochroną gatunkową. Zakres ochrony gatunków zagrożonych regulują przepisy międzynarodowe i krajowe (obowiązujące na terytorium danego kraju).

Przykłady ssaków podlegających na terytorium Polski ścisłej ochronie gatunkowej

- jeże (np. jeż wschodni – *Erinaceus concolor*)
- krety (*Erinaceus* sp.) (poza zasiedlającymi zamknięte ogrody, szkółki i tereny lotnisk)
- ryjówki (np. ryjówka górska – *Sorex alpinus*)
- nietoperze (np. nocek rudy – *Myotis daubentonii*, gacek szary – *Plecotus austriacus*)
- wiewiórka ruda – *Sciurus vulgaris*
- świstak alpejski – *Marmota marmota*
- susły (np. susł pętelkowany – *Spermophilus suslicus*)
- kozatka – *Dryomys nitedula*
- morświn – *Phocoena phocoena*
- niedźwiedź brunatny – *Ursus arctos*
- wilk szary – *Canis lupus*
- gronostaj – *Mustela erminea*
- żbik europejski – *Felis silvestris*
- foka pospolita – *Phoca vitulina*
- kozica północna – *Rupicapra rupicapra*
- żubr – *Bison bonasus*



66.5. Ryjówka aksamitna (*Sorex araneus*)



66.6. Podkowiec większy (*Rhinolophus ferrumequinum*)



66.7. Popielica (*Glis* sp.)



66.8. Gronostaj (*Mustela* sp.)



66.9. Żbik (*Felis* sp.)

:: Ciekawostka

Żubr jest największym ssakiem żyjącym w Europie. W XIX wieku na wolności spotykany był jedynie w Puszczy Białowieskiej (rasa białowieska) i na Kaukazie (rasa kaukaska). W 1795 roku w Puszczy Białowieskiej żyło około 700 żubrów. Później liczebność żubra zaczęła gwałtownie spadać. Na początku pierwszej wojny światowej w Puszczy Białowieskiej żyło 785 żubrów, lecz w wyniku działań wojennych i kłusownictwa do roku 1917 przetrwało jedynie 121 osobników. Objęcie żubra ścisłą ochroną gatunkową i udane próby rozmnażania w niewoli uchroniły gatunek przed zupełnym wyginięciem. Obecnie żubry żyją na wolności, w rezerwatach hodowlanych i zagrodach pokazowych.



PODSUMOWANIE

- Negatywne oddziaływanie ssaków przejawia się w postaci odzwierzęcych chorób (zoonoz).
- Do zoonoz bakteryjnych należą: gruźlica bydłęca i ptasia, bruceloza, wąglik, nosaczyna, leptospirozy.
- Do zoonoz wirusowych należą: kleszczowe zapalenie mózgu i wścieklizna.
- Niektóre gatunki gryzoni uważane są za szkodniki.
- Dzikie zwierzęta drapieżne cechują się znikomą szkodliwością dla gospodarki człowieka, a niektóre (np. lis, kuna) przynoszą wiele korzyści, gdyż zjadają groźne szkodniki upraw.
- Wiele ssaków wykorzystuje się w charakterze zwierząt laboratoryjnych.
- Proces udomawiania jest korzystny dla człowieka i zwierząt, gdyż pozwala na zwiększenie ich liczebności i zasięgu występowania w zakresie niemożliwym do osiągnięcia w populacjach dzikich.
- Wiele gatunków ssaków jest zagrożonych ze względu na bezpośrednią działalność człowieka lub też jego rabunkową gospodarkę przyczyniającą się do niszczenia naturalnych siedlisk.
- Człowiek może prowadzić skuteczną ochronę ssaków zagrożonych wyginięciem, czego przykładem jest restytucja żubra białowieskiego.

ZADANIA

1. Określ, jakie szkody w uprawach mogą powodować gryzonie żyjące na polu.
2. Który ze ssaków jest najczęściej wykorzystywany jako zwierzę laboratoryjne? Jak sądzisz, dlaczego?
3. Wymień zwierzę towarzyszące człowiekowi, które zostało udomowione najwcześniej. Podaj jego nazwę łacińską.
4. Na podstawie własnej wiedzy i informacji z dostępnych źródeł ustal, jakim symbolem są oznaczone kosmetyki, które nie były testowane na zwierzętach.

W INTERNECIE

- <http://atlas-zwierzat.pl/ssaki>
- <http://zzknafle.republika.pl>
- <http://ssakibaltyckie.wwf.pl>
- <http://www.zubry.com/historia/h05res.html>



Zadanie 1. (2 pkt)

Wody morskie dzięki dużej ilości soli w nich rozpuszczonych są roztworem hipertonicznym względem ciała ryby.

Opisz mechanizmy, jakie ryby chrzęstnoszkieletowe i kostnoszkieletowe wykorzystują, aby zapobiec ucieczce wody z organizmu (odwodnieniu).

Ryby chrzęstnoszkieletowe:

Ryby kostnoszkieletowe:

Zadanie 2. (1 pkt)

Wskaż zdania w sposób nieprawidłowy opisujące adaptacje ryb do życia w środowisku wodnym.

- A. Ciało ryb ma kształt opływowy, co zmniejsza opory środowiska wodnego w trakcie poruszania się.
- B. Ciało ryb pokrywają łuski będące wytworem naskórka.
- C. U ryb chrzęstnoszkieletowych występuje narząd hydrostatyczny w postaci pęcherza pławnego.
- D. Mózgoczaszka jest połączona sztywno z kręgosłupem.
- E. Ciało ryby pokrywa śluz dodatkowo zmniejszający opory środowiska wodnego przy poruszaniu się.
- F. U ryb kostnoszkieletowych pierwsza szczelina skrzelowa jest silnie zredukowana i nosi nazwę tryskawki.

Zadanie 3. (2 pkt)

Wyjaśnij różnice pomiędzy rybami anadromicznymi a katadromicznymi oraz podaj przykład każdej z nich.

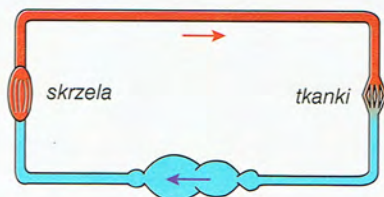
Ryby anadromiczne:

Ryby katadromiczne:

Zadanie 4. (1 pkt)

Rysunek obok przedstawia schemat budowy zamkniętego układu krwionośnego ryb.

Na podstawie analizy rysunku wytłumacz, dlaczego serce ryb nazywane jest sercem żylnym.

**Zadanie 5. (2 pkt)**

Wskaż dwa zdania błędnie charakteryzujące przystosowania płazów do życia na lądzie.

- A. Szkielet kończyn jest zawieszony na tak zwanych pasach połączonych ze szkieletem osiowym (kręgosłupem).
- B. W tylnej części czaszki znajduje się jeden kłykiec potyliczny, łączący ją z kręgosłupem.
- C. Narządem wymiany gazowej są workowate płuca pokryte siecią naczyń włosowatych.
- D. U wielu płazów znaczącą rolę w wymianie gazowej odgrywa również bogato unaczyniona skóra.
- E. W układzie krwionośnym występuje jedynie lewy łuk aorty.

Zadanie 6. (2 pkt)

Przyporządkuj wybranym elementom budowy ciała płazów (1–3) odpowiadające im funkcje (A–D).

1. zastawka spiralna
2. mięsień rzęskowy
3. narząd Jacobsona

- A. odpowiedzialny za rozpoznawanie zapachów jedzonych pokarmów
- B. element anatomiczny odpowiedzialny za wysuwanie soczewki
- C. element budowy serca oddzielający częściowo od siebie dwie komory serca
- D. element stożka tętniczego odpowiedzialny za rozdzielenie obiegów krwi

1. 2. 3.

Zadanie 7. (3 pkt)

Przyporządkuj wymienionych przedstawicieli płazów do odpowiadających im rzędów wymienionych w tabeli.

kumak nizinny, marszczelec, kumak górski, odmieniec jaskiniowy, traszka zwyczajna, grzebiuszka ziemna, salamandra plamista, żaba wodna

Bezogonowe	
Ogoniaste	
Beznogie	

Zadanie 8. (3 pkt)

Jednym z kryteriów, na którym opiera się podział gadów zarówno żyjących współcześnie, jak i wymarłych, jest budowa czaszki.

Korzystając z zamieszczonej tabeli, dokonaj porównania pomiędzy czaszką: anapsydową, diapsydową i synapsydową.

	czaszka anapsydowa	czaszka diapsydowa	czaszka synapsydowa
ilość okien skroniowych w czaszce			
grupa, w której występuje			

Zadanie 9. (2 pkt)

Wskaż dwa zdania zawierające błędną informację dotyczącą gadów.

- A. Gady są pierwszymi kręgowcami, które w pełni zaadaptowały się do życia na lądzie.
- B. Podobnie jak u płazów, niedoskonałe jeszcze płuca gadów muszą być wspomagane przez oddychanie skórne.
- C. Liczba kręgów odcinka ogonowego gadów może wahać się od kilkunastu do nawet 400 kręgów (u węży).
- D. Uzębienie gadów jest heterodontyczne, co oznacza, że zęby mają jednakowy kształt niezależnie od położenia.
- E. U przedstawicieli żółwi i węży doszło do całkowitego rozdzielenia komór serca pełną przegrodą międzykomorową.

Zadanie 10. (2 pkt)

Wyjaśnij, jaka jest różnica pomiędzy szczęką akinetyczną a kinetyczną spotykaną u gadów.

szczeka akinetyczna:

szczeka kinetyczna:

Zadanie 11. (2 pkt)

Wskaż, u której grupy gadów żyjących współcześnie zachowało się tak zwane trzecie oko ciemieniowe oraz wyjaśnij, jakiemu ono uległo przekształceniu w toku ewolucji kręgowców?

Grupa gadów wyposażona w oko ciemieniowe:

Narząd powstały z trzeciego oka ciemieniowego:

Zadanie 12. (1 pkt)

Jedna z teorii mówiących o wykształceniu zdolności do lotu spotykanej u ptaków zakłada, że lot wykształcił się u naziemnych drapieżników, jako mechanizm pomagający utrzymywać równowagę podczas biegu i skoków. Opływowy kształt zmniejszał opory powietrza podczas pościgu za ofiarą, a pióra oraz powierzchnie aerodynamiczne skrzydeł i ogona pozwalały na sprawniejsze manewry. Bogate upierzenie umożliwiało pozorne zwiększenie wielkości ciała, co miało duże znaczenie w odstraszaniu potencjalnego wroga.

Jaką nazwę nosi teoria przedstawiona powyżej?

Zadanie 13. (2 pkt)

Wskaż dwa zdania, które w sposób nieprawidłowy charakteryzują przystosowania ptaków do lotu.

- A. Większość powierzchni ciała pokrywają pióra będące wytworem pochodzenia naskórkowego.
- B. Masa szkieletu jest niewielka, dzięki pneumatycznym kościom.
- C. Czaszka połączona jest z kręgosłupem za pomocą dwóch kłykci potylicznych.
- D. Mostek występujący w klatce piersiowej ptaków sprawnie latających ma silnie zredukowany grzebień.
- E. Dzięki obecności dziewięciu worków powietrznych u ptaków występuje zjawisko podwójnego oddychania.
- F. Narządy rozrodcze samicy zostają zredukowane do jednego jajnika, przeważnie lewego.

Zadanie 14. (3 pkt)

Przyporządkuj wybranym elementom budowy ciała ptaków (1–5) odpowiadające im funkcje (A–F)

- | | |
|------------------------|---|
| 1. szlara | A. miejsce produkcji wydzielających przeciwciała limfocytów B |
| 2. kaletka Fabrycjusza | B. miejsce produkcji lepkiej substancji chroniącej pióra przed wilgocią |
| 3. pygostyl | C. elementy mocujące kulę żółtka do przeciwnych końców jaja |
| 4. gruczoł kuprowy | D. zrośnięte kręgi odcinka ogonowego, do których przytwierdzone są pióra sterówki |
| 5. chalaza | E. pióra układające się w kształt funkcjonalnie odpowiadający małżowinie usznej |
| | F. niestrawione resztki pokarmu usuwane przez otwór gębowy |

1. 2. 3. 4. 5.

Zadanie 15. (2 pkt)

Przyporządkuj podanym poniżej hasłom (A–E) odpowiadające im definicje (1–6).

- | | |
|-------------|---|
| A. wibrysy | 1. odstęp oddzielający kły i zęby przedtrzonowe u gryzoni |
| B. atlas | 2. substancje wywołujące podwyższenie temperatury |
| C. diastema | 3. włosy czuciowe odbierające bodźce dotykowe ze środowiska |
| D. pirogeny | 4. pierwszy kręg odcinka szyjnego kręgosłupa ssaków |
| E. nefron | 5. pierwszy kręg odcinka piersiowego kręgosłupa ssaków |
| | 6. podstawowy element funkcjonalny nerki |

A. B. C. D. E.

Zadanie 16. (2 pkt)

Uzupełnij tabelę, w której porównasz budowę układu pokarmowego zwierząt roślinożernych i mięsożernych.

Budowa układu pokarmowego	Roślinożerne (krowa)	Mięsożerne (pies)
całkowita długość przewodu pokarmowego		
liczba części żołądka		
obecność jelita cienkiego		
obecność jelita ślepego		
obecność jelita grubego		

Zadanie 17. (1 pkt)

Spśród podanych poniżej gatunków ssaków wypisz te, które zaliczane są do rzędu gryzoni (Rodentia).

świszak, koszatka, rudawka malajska, palczak madagaskarski, wiewiórka pospolita, ryjówka malutka, wyrak upiór, mysz polna, marmozeta lwia, bóbr europejski

Zadanie 18. (4 pkt)

Na rysunku obok przedstawiono schemat budowy układu krwionośnego ssaków.

A) Zaznacz strzałkami na rysunku w odpowiednich naczyniach kierunek przepływu krwi: linią ciągłą – krew odtlenowaną, linią przerywaną – krew utlenowaną.

B) Wskaż na rysunku elementy wymienione poniżej: aorta, płuca, tętnica płucna, naczynia włosowate ciała, lewy przedsionek, prawy przedsionek, lewa komora, prawa komora, żyła główna.

C) Nazwij element, który spowodował pełne rozdzielanie dwóch obiegów krwi.

Element:

